

УДК 692.88

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Сазонов С.Е.

к.т.н., доцент

Севастопольский государственный университет

Севастополь, Россия

Ревенко Д.В.

старший преподаватель

Севастопольский государственный университет

Севастополь, Россия

Аннотация

В статье рассматриваются ключевые аспекты влияния различных факторов на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий. Проведен комплексный анализ основных параметров, определяющих энергоэффективность современных строительных конструкций.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплотехнические характеристики, энергоэффективность, теплопроводность, теплоизоляция, теплозащита, строительные материалы, теплотехнические расчеты.

THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF ENCLOSING STRUCTURES

Sazonov S.E.

PhD, Associate Professor,

Sevastopol State University

Sevastopol, Russia

Revenko D.V.

senior lecturer,

Sevastopol State University

Sevastopol, Russia

Abstract

The article discusses the key aspects of the influence of various factors on the thermal engineering characteristics of building enclosing structures. A comprehensive analysis of the main parameters determining the energy efficiency of modern building structures has been carried out.

Keywords: enclosing structures, thermal engineering characteristics, energy efficiency, thermal conductivity, thermal insulation, thermal protection, building materials, thermal engineering calculations.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения теплозащиты зданий в условиях растущих требований к энергосбережению и экологичности строительства. Особое внимание уделяется изучению влияния конструкционных особенностей, материалов и технологических решений на теплотехнические показатели.

В статье анализируются следующие основные факторы:

- Теплофизические свойства применяемых материалов
- Конструктивные решения ограждений
- Климатические условия эксплуатации
- Технологические особенности монтажа
- Воздействие эксплуатационных нагрузок

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании энергоэффективных ограждающих конструкций. Предложены рекомендации по оптимизации теплотехнических характеристик на этапе проектирования.

Результаты исследования могут быть полезны специалистам в области строительного проектирования, теплотехники и энергоэффективного строительства.

Фасад здания — это не просто его "лицо", но и ключевая часть ограждающей конструкции, представляющая собой физический барьер между внутренним микроклиматом и внешней средой. Теплотехнический расчет фасада - это инженерный анализ процессов тепло- и массообмена (влагопереноса) через эту ограждающую конструкцию. С научной точки зрения его важность сегодня обусловлена рядом фундаментальных принципов и современных вызовов:

1. Управление энергопотреблением и снижение тепловпотерь (закон сохранения энергии и теплопередача):

Физический принцип: теплообмен между средами с разной температурой происходит всегда, стремясь к термодинамическому равновесию. Через фасад здание теряет тепло зимой (изнутри наружу) и приобретает тепло летом (снаружи внутрь, включая солнечную радиацию). Основные механизмы теплопередачи: теплопроводность (через материалы), конвекция (движение воздуха у поверхностей и в прослойках) и излучение (между поверхностями и от солнца) [2, 165].

Актуальность сегодня: энергия, используемая для отопления и охлаждения зданий, составляет значительную долю (до 40%) от общемирового энергопотребления. Точный расчет позволяет минимизировать эти нежелательные тепловпотери/теплопритоки, подбирая оптимальную толщину и тип изоляции, исключая или минимизируя "тепловые мосты" (участки с повышенной теплопроводностью). Это напрямую приводит к снижению потребности в ископаемом топливе, сокращению выбросов парниковых газов (CO₂) и, как следствие, к замедлению изменения климата. С точки зрения науки, мы оптимизируем энергетический баланс здания.

2. Обеспечение комфортного микроклимата (Термодинамика и физиология человека):

Физический принцип: комфортное состояние человека зависит не только от температуры воздуха, но и от температуры окружающих поверхностей (радиационный теплообмен), влажности воздуха и его движения. Холодные поверхности фасада вызывают ощущение дискомфорта даже при нормальной температуре воздуха из-за интенсивного излучения тепла от тела человека к холодной стене. Низкая температура поверхности также может приводить к конвективному движению холодного воздуха (сквозняки) [3, 200].

Актуальность сегодня: Современные стандарты строительства ставят высокие требования к качеству внутреннего микроклимата. Точный теплотехнический расчет позволяет прогнозировать температуру внутренней поверхности ограждения в различных условиях, гарантируя, что она будет достаточно высокой для обеспечения теплового комфорта и отсутствия ощущения "холодных стен". Это важный аспект здоровой и продуктивной среды обитания/работы.

3. Предотвращение конденсации влаги и повышение долговечности конструкций (Термодинамика, массообмен и теория переноса влаги):

Физический принцип: водяной пар, содержащийся в воздухе помещений, стремится переместиться в зону с меньшим парциальным давлением (как правило, наружу зимой). При этом он может конденсироваться как на поверхности (поверхностная конденсация), так и внутри толщи конструкции (внутрислойная или интерстициальная конденсация), если температура в этой точке опускается ниже точки росы для данного парциального давления пара. Точка росы зависит от температуры и влажности воздуха. Расчет позволяет определить температурно-влажностное поле внутри стены и выявить потенциальные зоны конденсации [4,305].

Актуальность сегодня: конденсация влаги - одна из основных причин преждевременного разрушения строительных материалов (гниение дерева, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

коррозия металла, снижение теплоизолирующих свойств утеплителей при увлажнении, разрушение кладки при замерзании влаги), появления плесени и грибка (что негативно сказывается на здоровье). Научный расчет дает возможность спроектировать "пирог" стены таким образом (подбирая слои с определенной паропроницаемостью и размещая пароизоляцию/ветрозащиту в нужных местах), чтобы избежать или минимизировать накопление влаги в конструкции за годичный цикл эксплуатации, обеспечивая тем самым ее долговечность и надежность.

4. Соответствие строительным нормам и стандартам (Нормативная база и стандартизация):

Научный принцип: строительные нормы и правила (СП, СНиП и международные стандарты) [1, 30] базируются на многолетних научных исследованиях в области строительной физики, теплотехники и безопасности. Они устанавливают минимально допустимые значения сопротивления теплопередаче фасадов (R -фактор или U -значение), требования к предотвращению конденсации и учету тепловых мостов. Эти нормы постоянно ужесточаются в ответ на глобальные вызовы (энергосбережение, экология).

Актуальность сегодня: Теплотехнический расчет является обязательной частью проектной документации для большинства типов зданий во многих странах. Он служит доказательством соответствия проекта действующим нормам, без чего невозможно получить разрешение на строительство. Расчет формализует и проверяет инженерные решения на соответствие научно обоснованным требованиям к энергоэффективности и долговечности.

5. Оптимизация проектных решений и экономическая эффективность (Инженерная оптимизация и анализ жизненного цикла):

Научный принцип: существует множество комбинаций материалов, толщин и конструктивных решений для фасада. Расчет позволяет численно сравнить их теплотехническую эффективность. Инженерная оптимизация направлена на поиск наилучшего решения, учитывающего различные критерии

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

(теплозащита, стоимость материалов, трудоемкость монтажа, долговечность). Анализ жизненного цикла включает оценку затрат (начальных инвестиций и эксплуатационных расходов на энергию) и выгод на протяжении всего срока службы здания [5, 188].

Актуальность сегодня: с ростом цен на энергоносители и увеличением требований к энергоэффективности, начальные инвестиции в более качественную теплоизоляцию окупаются быстрее за счет снижения эксплуатационных расходов. Точный расчет позволяет найти оптимальный баланс между стоимостью строительства и будущими затратами на энергию, а также избежать перерасхода материалов, выбирая минимально достаточную толщину утеплителя, соответствующую нормам и целям энергоэффективности.

В заключение, с научной точки зрения, теплотехнический расчет фасада сегодня - это не просто упражнение, а фундаментальный инструмент строительной физики, позволяющий количественно оценить и прогнозировать поведение ограждающей конструкции с точки зрения тепло- и влагообмена. Он критически важен для проектирования зданий, которые будут энергоэффективными, комфортными, долговечными, безопасными для здоровья и соответствующими современным экологическим и экономическим вызовам. Недооценка или некорректное выполнение такого расчета ведут к значительным эксплуатационным проблемам, перерасходу ресурсов и негативному воздействию на окружающую среду.

Для обучающихся и начинающих специалистов в отрасли, а также для проведения анализа строящихся малоэтажных зданий целесообразно использовать стационарный теплотехнический расчет фасада здания.

Характеристики метода расчета.

1. Основное допущение (Стационарность).

Главный принцип стационарного расчета заключается в том, что температуры на внутренней и наружной поверхностях ограждающей

конструкции (фасада), а также внутри ее толщи, не меняются во времени. Тепловой поток через конструкцию также считается постоянным [6, 256].

Это допущение значительно упрощает анализ, позволяя использовать относительно простые математические модели, основанные на законах теплопередачи при установившемся режиме. Реальные условия, конечно, динамичны (температура наружного воздуха колеблется, меняется интенсивность солнечной радиации, включаются/выключаются системы отопления), но стационарный расчет является мощным инструментом для оценки средних или наихудших (расчетных) тепловых характеристик.

2. Физическая основа (Законы теплопередачи).

Метод базируется на базовых законах теплопередачи:

Теплопроводность: тепло передается через сам материал стены за счет колебаний молекул [7, 162]. В стационарном состоянии для однородного материала тепловой поток (Q) пропорционален площади (A), разности температур (ΔT) и обратно пропорционален толщине (d). Закон Фурье описывает это:

$$Q = -\lambda \times A \times \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, $\frac{\partial T}{\partial x}$ - градиент температуры.

Конвекция: тепло передается движущимся воздухом или другой средой. Происходит у внутренней и наружной поверхностей фасада. Интенсивность конвективного теплообмена зависит от разности температур, скорости и характера движения воздуха (ламинарное/турбулентное) [8, 95]. Описывается законом Ньютона-Рихмана:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha * A * \Delta T, \quad (2)$$

где α — коэффициент конвективной теплоотдачи.

Излучение: тепло передается электромагнитными волнами между поверхностями и от/к солнцу. Происходит также у поверхностей и в воздушных

прослойках. Интенсивность зависит от температуры поверхностей и их излучательной способности (эмиссивности). Описывается законом Стефана-Больцмана. В стационарном расчете конвекция и излучение на поверхностях объединяются в единый коэффициент теплоотдачи (α) для внутренней (α_v) и наружной (α_n) поверхностей [9, 457].

3. Ключевые параметры расчета.

Стационарный расчет оперирует следующими основными параметрами:

Коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м·°C)): свойство материала проводить тепло. Считается постоянным при заданных условиях. Коэффициент теплоотдачи у поверхности (α , Вт/(м²·°C)): Описывает интенсивность теплообмена у поверхности за счет конвекции и излучения [10, 348]. Значения α_v и α_n обычно принимаются по нормативным документам для стандартных условий (например, для внутренней поверхности $\alpha_v \approx 8.7$ Вт/(м²·°C), для наружной в холодный период $\alpha_n \approx 23$ Вт/(м²·°C)).

Термическое сопротивление (R , м²·°C/Вт): Мера сопротивления материала или слоя тепловому потоку. Для однородного слоя толщиной d : $R_{\text{слой}} = d / \lambda$. Для поверхностей: $R_{\text{поверхности}} = 1 / \alpha$. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (R_o , м²·°C/Вт): Суммарное термическое сопротивление всех слоев конструкции и теплоотдаче у поверхностей. Является основным показателем теплозащитных свойств фасада в стационарном режиме.

4. Методика расчета (одномерная модель).

Для плоской многослойной стены без учета тепловых мостов (простейший случай) стационарный расчет основывается на принципе суммирования термических сопротивлений слоев, расположенных последовательно по пути теплового потока [11, 171]. Это аналогично суммированию электрических сопротивлений в последовательной цепи.

Полное сопротивление теплопередаче R_o рассчитывается как:

$$R_o = R_v + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_n, \quad (3)$$

где:

$R_b = 1/\alpha_b$ - сопротивление теплоотдаче у внутренней поверхности;

$R_i = d_i / \lambda_i$ сопротивление i -го слоя материала толщиной d_i и теплопроводностью λ_i ;

$R_n = 1 / \alpha_n$ - сопротивление теплоотдаче у наружной поверхности.

Для воздушных прослоек термическое сопротивление $R_{возд}$ обычно принимается из нормативных таблиц, так как теплопередача в них включает сложную комбинацию конвекции и излучения.

Коэффициент теплопередачи (U-значение, Вт/(м²·°C)) — величина, обратная сопротивлению теплопередаче, часто используемая в международных стандартах: $U = 1 / R_o$

Расчет теплового потока (Q) через единицу площади (A=1 м²) или заданную площадь [12, 240].

При известной разнице расчетных температур внутреннего (T_b) и наружного (T_n) воздуха:

$$Q = \frac{(T_b - T_n)}{R_o} * A = U * A * (T_b - T_n), \quad (4)$$

Расчет температуры на границе слоев или внутренней поверхности:

Стационарный расчет позволяет определить температуру в любой точке внутри конструкции или на ее поверхности. Поскольку тепловой поток постоянен, падение температуры (ΔT) через любой слой пропорционально его термическому сопротивлению и общему падению температуры через всю конструкцию:

$$\Delta T_{\text{слоя}} = (T_b - T_n) * (R_{\text{слоя}} / R_o) \quad (5)$$

Температура на внутренней поверхности ($T_{b_пов}$) рассчитывается как:

$$T_{b_пов} = T_b - (T_b - T_n) * (R_b / R_o), \quad (6)$$

5. Учет тепловых мостов (более сложные модели в рамках стационарности).

В реальных фасадах есть неоднородности (стыки, углы, элементы крепления) — так называемые "тепловые мосты", через которые теплопотери идут интенсивнее. Стационарный расчет может учитывать их, но требует более сложных моделей.

Одномерный расчет с поправками: для типовых тепловых мостов (например, крепеж через утеплитель) используются нормативные поправочные коэффициенты или эквивалентная теплопроводность. Для линейных тепловых мостов (стыки панелей, оконные откосы) используются линейные коэффициенты теплопередачи (Ψ , Вт/(м·°C)), а для точечных (крепеж) - точечные коэффициенты теплопередачи (χ , Вт/°C), которые добавляются к общему тепловому потоку, рассчитанному по одномерной модели [13, 170].

Многомерный (2D или 3D) стационарный расчет: для детального анализа тепловых мостов применяют численные методы (например, метод конечных элементов или конечных разностей), которые решают двумерное или трехмерное стационарное уравнение теплопроводности (уравнение Лапласа) с соответствующими граничными условиями. Эти расчеты позволяют визуализировать температурные поля (изотермы), определить общий тепловой поток через неоднородный узел и вычислить Ψ или χ -коэффициенты для последующего использования в общем расчете здания.

6. Цели и применение стационарного расчета:

Оценка соответствия нормам: главное применение - проверка расчетного сопротивления теплопередаче R_0 на соответствие минимальным требованиям действующих строительных норм (например, СП "Тепловая защита зданий").

Выбор материалов и определение толщины изоляции: позволяет определить, какая толщина утеплителя необходима для достижения, требуемого R_0 .

Ориентировочная оценка годовых теплопотерь: используется как база для расчета теплопотерь здания за отопительный период (хотя и с допущениями из-за не стационарности реальных условий).

Проверка на возможность поверхностной конденсации: Расчет температуры внутренней поверхности $T_{в\text{пов}}$ позволяет сравнить ее с температурой точки росы для воздуха помещения при заданных условиях. Если $T_{в\text{пов}}$ ниже точки росы, есть риск конденсации [14, 252].

Расчет температурного поля для оценки внутрислойной конденсации: Позволяет увидеть, как распределяется температура по толщине стены, что является первым шагом в анализе внутрислойной конденсации (хотя полный анализ влажностного режима требует нестационарного расчета).

7. Ограничения метода.

Несмотря на свою важность, стационарный расчет имеет ограничения, вытекающие из его основного допущения:

Игнорирование динамики: не учитывает суточные и сезонные колебания температур, влияние солнечной радиации в разное время суток, работу систем отопления/охлаждения по графику. Игнорирование термической массы: не учитывает способность материалов накапливать и отдавать тепло (тепловую инерцию), которая важна для сглаживания температурных колебаний [15, 308].

Упрощенный учет влагопереноса: хотя используется для оценки риска конденсации в расчетных условиях, он не моделирует динамические процессы увлажнения и высыхания конструкции в течение года. Зависимость от расчетных условий: результаты сильно зависят от корректности выбора расчетных температур внутреннего и наружного воздуха, коэффициентов теплоотдачи.

На рисунках 1 и 2 приведен пример теплотехнического расчета фасада здания, расчет выполнялся при помощи онлайн - калькулятора.

Главная | Все расчеты | Сортамент | Материалы | Контакты

Ещё онлайн расчеты:

Расчет балки:

Расчет выполнить согласно:

☐ СНиП 23-02-2003 и СНиП 23-01-99*

☒ СП 50.13330.2012 и СП 131.13330.2020 (действует с 25 июня 2021г.)

Населенный пункт: (автозаполнение)

Севастополь

Тип зданий и помещений

Общественные, кроме жилых, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ, интернатов. ▾

Вид ограждающей конструкции

Наружные стены. ▾

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания $t_{вн}$ [°C] 20

Относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{вн}$ [%] 55

Коэффициент теплофизической однородности g [°C] 0.92

Опции расчета:

☒ Выполнен расчет по нормируемому удельному показателю расхода тепловой энергии[?]

☒ Расчет сопротивления паропрооницанию

☒ Расчет точки росы

№	Название материала(от наружного слоя к внутреннему)	δ , мм	λ_A Вт/(м·°C)	λ_B Вт/(м·°C)	μ мг/(м·ч·Па)			
1	Алюминий (ГОСТ 22233, ГОСТ 24767)	1	221	221	0	DEL	✓	+
2	Воздушная прослойка 5-10см	50	0.556	0.556	0	DEL	✓	+
3	Пенополистирол ГОСТ 15588 ($\rho=100$ кг/м.куб)	100	0.041	0.052	0.05	DEL	✓	+
4	Железобетон (ГОСТ 26633)	30	1.92	2.04	0.03	DEL	✓	+
5	Выбрать					DEL	✓	+
6	Выбрать					DEL	✓	+
7	Выбрать					DEL	✓	+

Рис. 1 — Ввод исходных данных для расчета (Ссылка на источник: <https://rascheta.net/>)

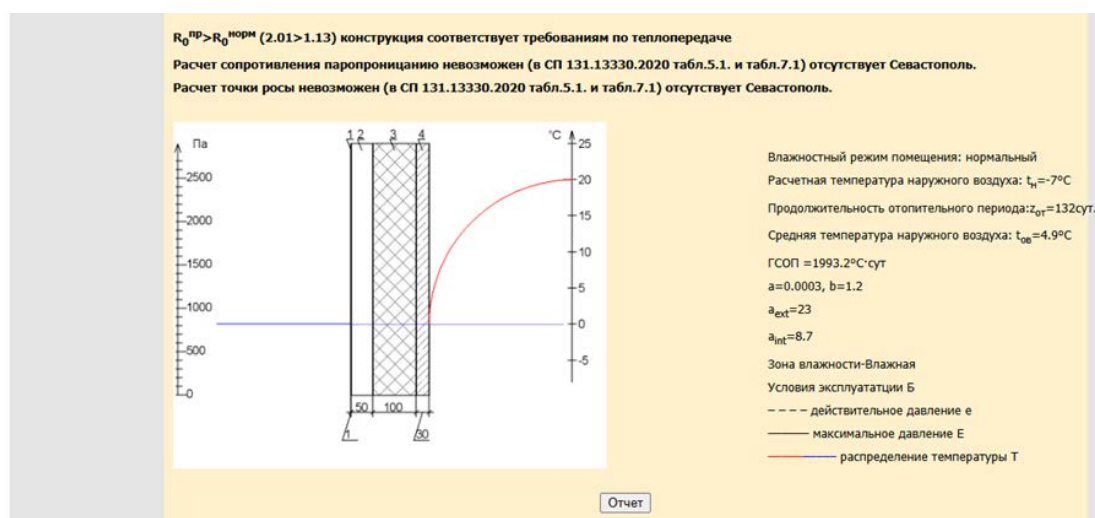


Рис. 2 — Проверка принятых решений (Ссылка на источник: <https://rascheta.net/>)

В итоге, стационарный теплотехнический расчет фасада — это необходимый первый шаг и базовый инструмент в тепловой оценке ограждающих конструкций. Он позволяет быстро получить основные характеристики теплозащиты (R_0 , U), проверить их соответствие нормам,

подобрать толщину утеплителя и оценить риск поверхностной конденсации в наиболее неблагоприятных (расчетных) условиях. Хотя он не дает полной картины поведения фасада в реальных динамических условиях (для чего требуются нестационарные и влажностные расчеты), его простота и информативность делают его неотъемлемой частью процесса проектирования энергоэффективных и долговечных зданий.

Библиографический список:

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Москва : Минрегион России, 2012. – 141 с.
2. Богословский, В. Н. Теплофизика зданий / В. Н. Богословский, Н. Н. Шилкин. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2019. – 320 с.
3. Величко, В. С. Энергосбережение в строительстве / В. С. Величко, В. И. Лисовский. – Москва : Стройиздат, 2020. – 288 с.
4. Грабовый, П. Г. Управление энергоэффективностью в строительстве / П. Г. Грабовый, А. Г. Мокроусов. – Москва : РУСАВИА, 2018. – 344 с.
5. Еремьянц, Р. Э. Тепловые процессы в ограждающих конструкциях зданий / Р. Э. Еремьянц, В. Г. Гагарин. – Москва : АСВ, 2019. – 256 с.
6. Ильичёв, В. А. Теплозащита и энергосбережение в строительстве / В. А. Ильичёв. – Москва : Стройиздат, 2021. – 368 с.
7. Копылов, Н. А. Теплофизические основы энергосбережения в строительстве / Н. А. Копылов, А. Н. Копылов. – Москва : АСВ, 2020. – 224 с.
8. Куликов, А. Ю. Теплотехнические расчёты в строительстве / А. Ю. Куликов. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – 192 с.
9. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва : Дрофа, 2018. – 600 с.

10. Перцов, Л. В. Современные строительные материалы и конструкции / Л. В. Перцов, В. Ф. Завадский. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – 416 с.
11. Сомов, В. Е. Теплозащита зданий и сооружений / В. Е. Сомов, А. В. Баранов. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – 240 с.
12. Ушков, А. В. Энергоэффективные ограждающие конструкции / А. В. Ушков, С. А. Сычёв. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 320 с.
13. Федотов, М. В. Тепловые процессы в строительных конструкциях / М. В. Федотов. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – 288 с.
14. Шиллер, Ю. И. Теплотехнические исследования в строительстве / Ю. И. Шиллер. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – 304 с.
15. Явленский, Е. С. Строительная теплофизика / Е. С. Явленский. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 400 с.

Оригинальность 80%