

УДК 001.57: 699.86

Моделирование теплотерь при проектировании тепловой защиты здания

Середа С.Н., Середа А.В.

В статье рассматривается проблема энергоэффективности зданий через анализ теплотерь. Введён показатель удельных термических теплотерь, как интегральная характеристика теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций здания, который можно использовать для оценки теплотерь в динамике с учетом изменения температуры наружного воздуха. Основное внимание уделяется математическому моделированию процесса передачи тепла через наружные ограждающие конструкции. Авторами разработана компьютерная S-модель для оценки теплотехнических характеристик ограждений и расчета теплотерь в соответствии с нормативной методикой. На примере одноэтажного кирпичного дома проведен морфологический анализ структуры теплотерь и смоделированы различные варианты утепления. Результаты показывают, что наибольший эффект (снижение на 70–75%) достигается при теплоизоляции наружных стен. Модель позволяет оперативно сравнивать проектные решения на этапе разработки тепловой защиты здания.

Ключевые слова: теплотери, тепловая защита, сопротивление теплопередаче, наружные ограждения, математическое моделирование.

Введение

Параметры внутреннего микроклимата — ключевой фактор, формирующий среду обитания человека в зданиях различного назначения: жилых, общественных и производственных. Нормативная база [1, 2] устанавливает границы оптимальных и допустимых значений для таких показателей, как температурно-влажностный режим помещения, скорость воздушных потоков.

Значимое воздействие на микроклимат в жилых пространствах оказывают тепловые потери, происходящие через внешние ограждающие конструкции. Данный параметр служит одним из ключевых индикаторов энергетической эффективности сооружений. Обеспечение теплозащиты и энергоэффективности закладывается на стадии проектирования посредством выполнения специализированных теплотехнических расчётов для ограждающих конструкций. Эти расчёты опираются на нормативные положения, регламентирующие как саму методику проектирования, так и критерии энергоэффективности для принимаемых решений.

Важным шагом в процессе создания проектной документации в части теплозащиты зданий выступает оценка теплотехнических свойств наружных ограждающих конструкций. Проектировщики в своей работе применяют расчётные методики, зафиксированные

в действующих сводах правил [3, 4, 5], с обязательной поправкой на климатическую специфику региона строительства [6].

Ключевым параметром, определяющим величину теплотерь через внешние ограждения, выступает сопротивление теплопередаче. Порядок его вычисления регламентирован соответствующим стандартом [7]. В случаях, когда конструкция содержит теплотехнические неоднородности (обусловленные стыками материалов с разными геометрическими и теплофизическими свойствами), выполняется расчёт приведенного сопротивления теплопередаче [8, 9, 10].

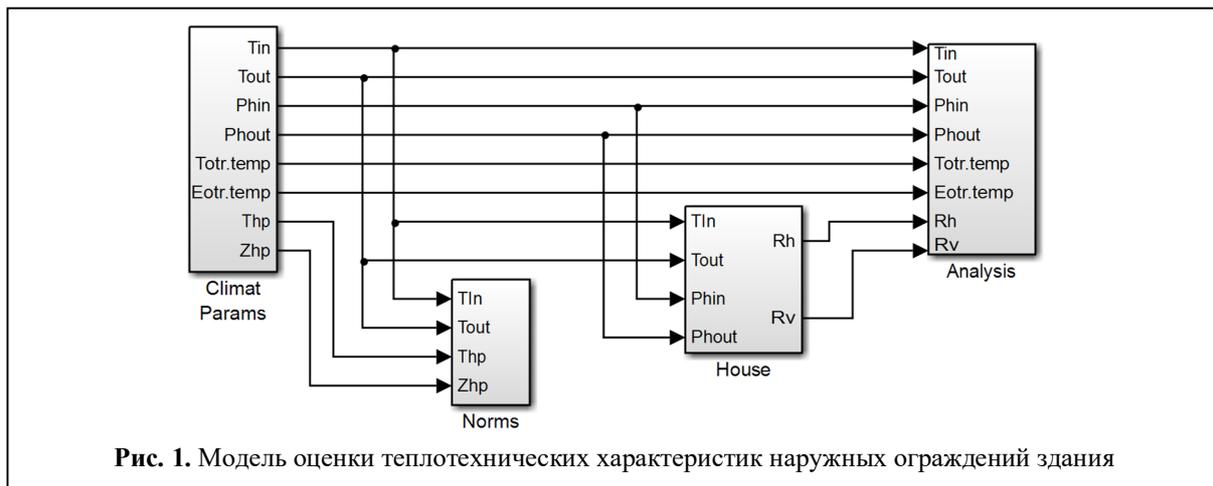
В свете высокой актуальности задачи повышения энергоэффективности объектов строительства, настоящее исследование направлено на проведение анализа теплофизических свойств и объёмов теплотерь, осуществляемых через наружные ограждающие конструкции зданий.

1. Методика расчета теплотерь здания

Оценка теплотерь наружных ограждений $Q_{огр}$ (Вт) проводится по формуле:

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

где k - коэффициент теплопередачи наружного ограждения, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; A - площадь ограждения, м^2 ;



n – коэффициент положения наружного ограждения; t_b, t_n – температура внутреннего и наружного воздуха соответственно, °C; $\sum \beta$ – сумма коэффициентов, учитывающих добавочные теплопотери [11, с.89].

При изменении температуры наружного воздуха формула (1) определяет линейную зависимость теплопотерь от температуры. Следовательно, эту формулу можно представить так:

$$Q_{огр} = Q_{ТП} \cdot (t_b - t_n), \quad (2)$$

где $Q_{ТП}$ – удельные термические теплопотери, Вт/°C, проходящие через всю площадь наружного ограждения.

В отношении всего здания удельные термические теплопотери $Q_{зд}$ могут служить в качестве показателя энергоэффективности:

$$Q_{зд} = (t_b - t_n) \cdot \sum_i Q_{ТПi}, \quad (3)$$

2. Моделирование теплопотерь здания

Моделирование на этапе проектирования позволяет проанализировать различные варианты реализации строительных конструкций и инженерных систем и в конечном итоге решать задачи оптимизации. В работе [12] предложен метод энергетического моделирования объектов строительства с расчетом энергетических показателей тепловых потоков на основе S-моделей в программе MATLAB Simulink. Заметим, что для указанной платформы моделирования существуют российские программы – аналоги, например, Engee или SimInTech, а в программе Scilab возможен импорт моделей, созданных в MATLAB.

В настоящей работе предложена компьютерная S-модель расчета теплотехнических характеристик наружных ограждений и теплопотерь здания [13] согласно методике свода правил [8]. Внешний вид модели показан на рисунке 1.

Модель построена по модульному принципу и состоит из нескольких модулей (подсистем):

- Climat Params – модуль задания исходных данных климатических параметров района строительства;
- Norms – модуль расчета нормативных и требуемых значений сопротивлений наружных ограждений в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами и требованиями энергоэффективности;
- House – модуль расчета фактических значений теплотехнических характеристик наружных ограждений, включая теплопотери здания (Вт), структура модуля показана на рис.2;
- Analysis – модуль анализа теплотехнических характеристик наружных ограждений, включая расчет профиля температур, профилей давления и упругости насыщенного водяного пара, оценки местоположения плоскости максимального увлажнения в сечении наружной стены.

В качестве объекта моделирования был взят одноэтажный кирпичный дом с мансардой площадью этажа $6 \times 6 \text{ м}^2$ и высотой 3 м. Пол по грунту на лагах без подпола. Крыша двухскатная. Наружные стены толщиной в один кирпич не утеплены.

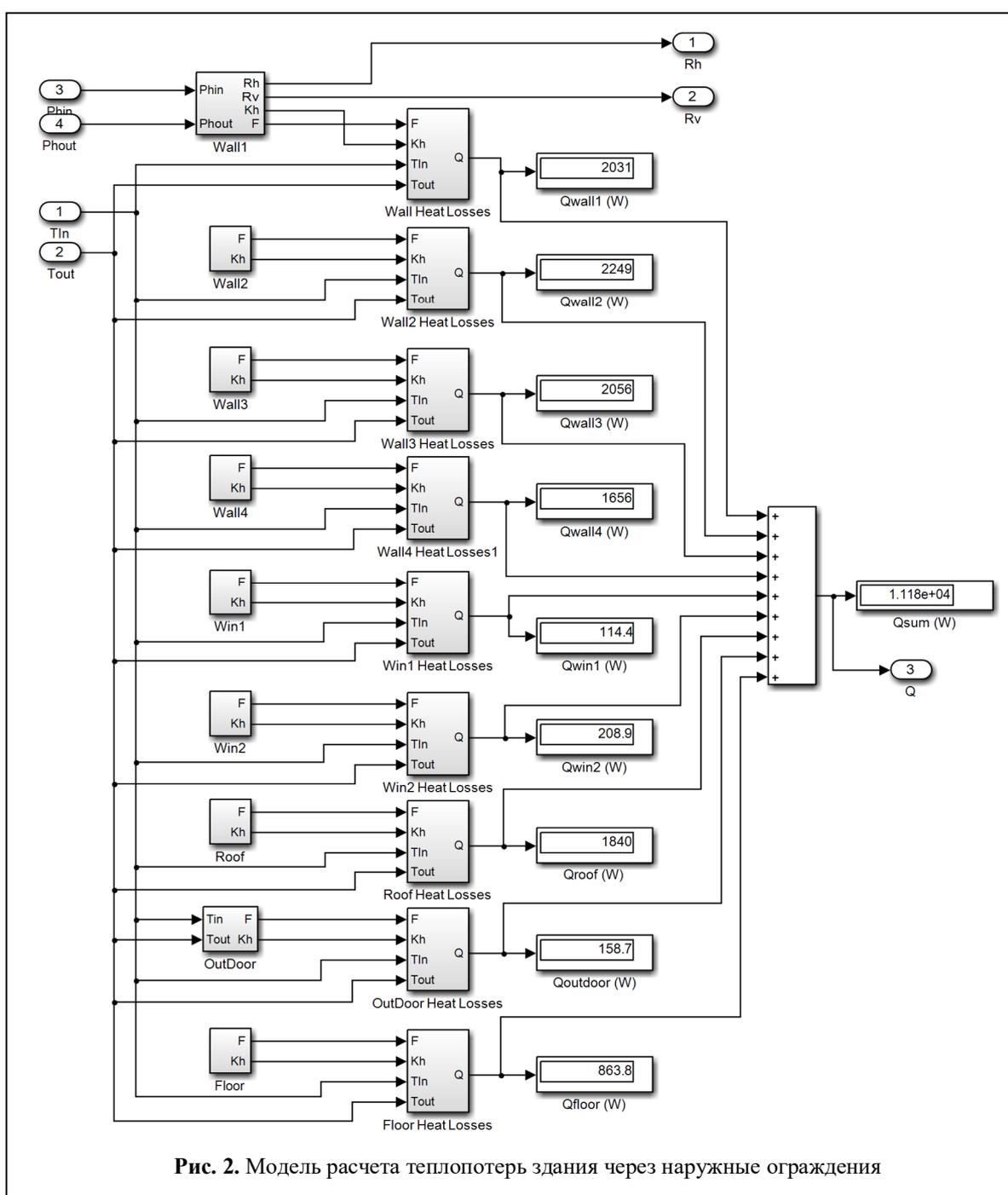


Рис. 2. Модель расчета теплотерь здания через наружные ограждения

Результаты морфологического анализа структуры теплотерь показаны на рис. 3.

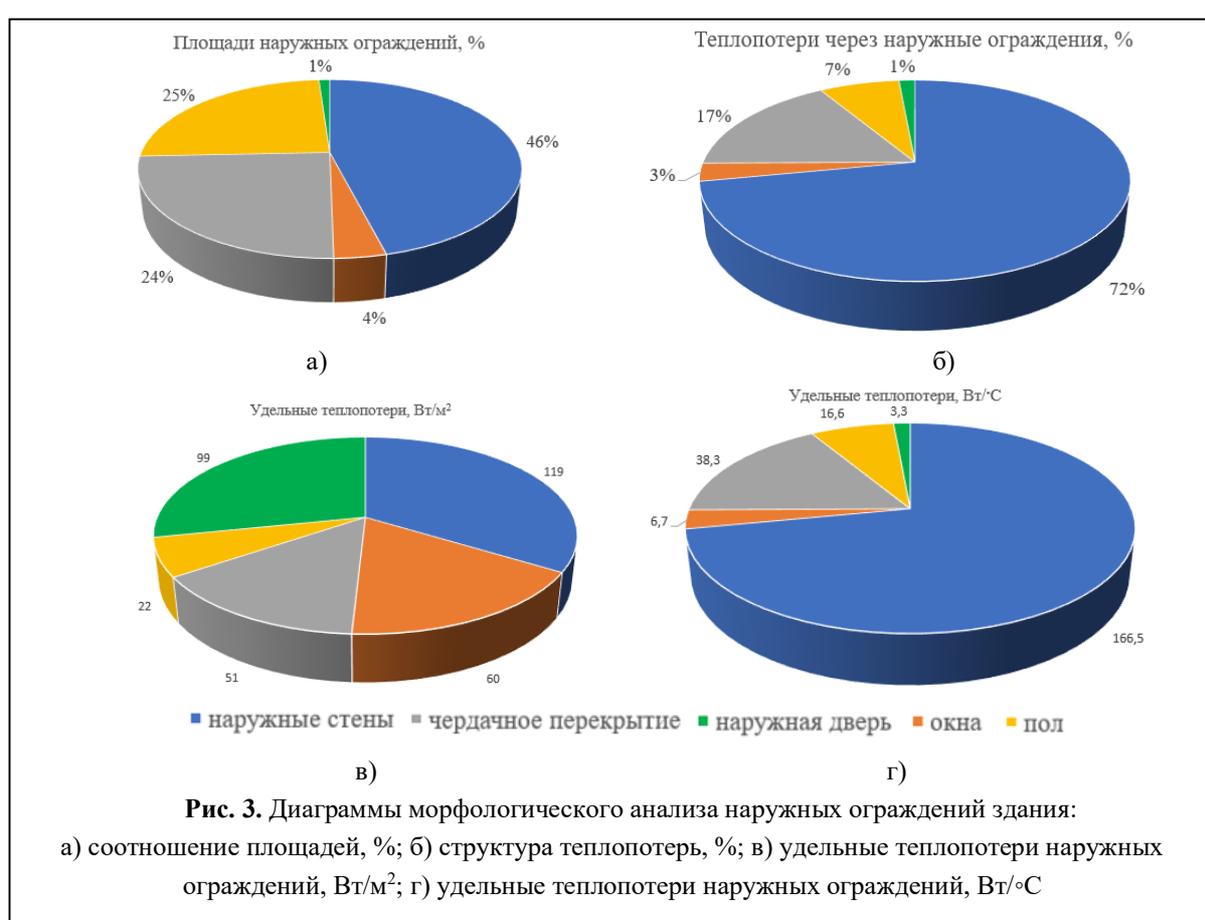
По результатам расчета можно сделать выводы:

- наибольшие теплотери (72%) приходятся на наружные стены, поскольку стены составляют порядка половины общей площади здания (46%), учитываемой при расчете теплотерь;

- значительные теплотери происходят через чердачное перекрытие,

составляющее порядка четверти (24%) от общей площади, что объяснимо также конвективным тепловым потоком внутреннего воздуха в отапливаемых помещениях;

- теплотери через пол при равной площади с чердачным перекрытием существенно ниже ввиду учета в расчетной формуле теплотерь коэффициента положения ограждения относительно наружного воздуха, $n=0,6$ [3, табл. 6; 11, табл.16], однако в

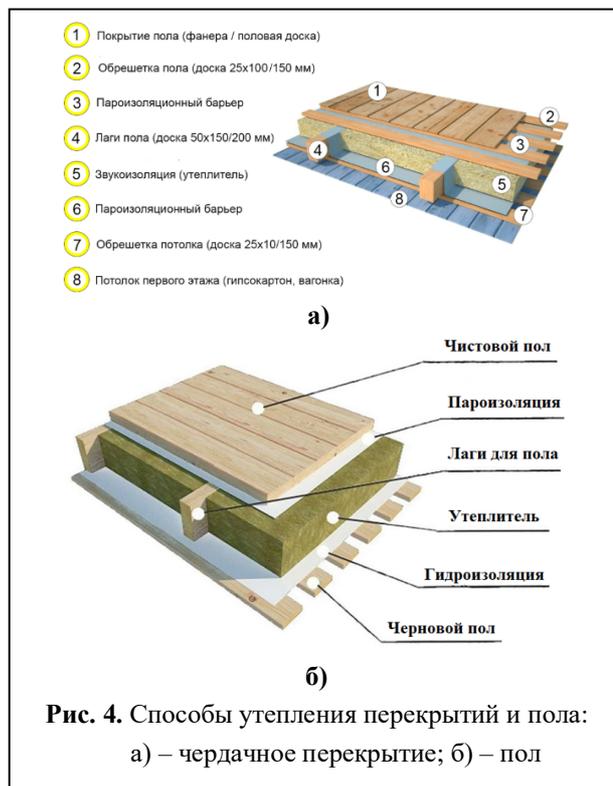


случае отсутствия утепления пола температура на его внутренней поверхности будет не соответствовать нормируемому температурному перепаду [5, табл.5];

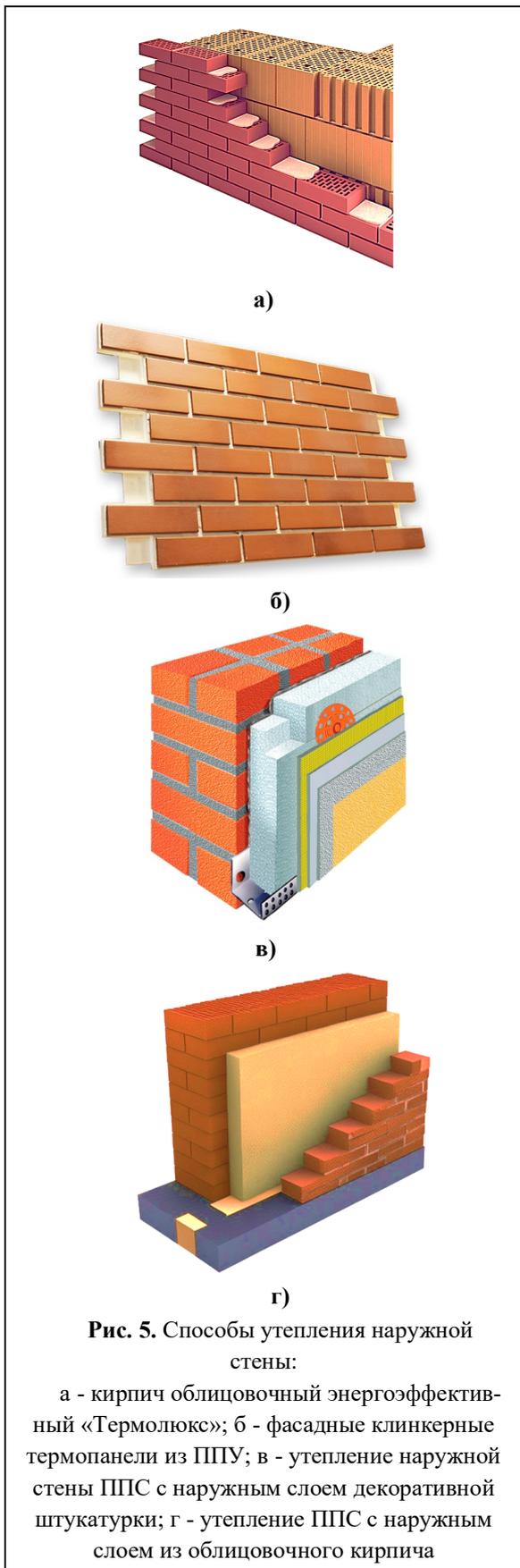
- окна и наружная дверь имеют значительные удельные теплопотери на единицу площади, поскольку обладают меньшими термическими сопротивлениями по сравнению с другими ограждениями, и в тоже время наименьшие удельные термические теплопотери при изменении температуры воздуха на один градус из-за своих малых площадей.

Таким образом, для улучшения теплозащитных свойств наружных ограждений жилого дома, а следовательно снижения теплопотерь и затрат тепловой энергии от системы отопления, предлагается модернизация ограждающих конструкций путем их утепления, как показано на рисунках 4 и 5. Благодаря компьютерной модели пересчет теплопотерь для различных вариантов не требует много времени.

Анализ теплозащитных свойств здания проводился для следующих расчетных вариантов:



1) здание без утепления (базовый вариант);



2) утепление только чердачного перекрытия, материал ППЭ толщиной 0,1 м;

3) утепление чердачного перекрытия и пола, материал ППЭ толщиной 0,1 м;

4) увеличение толщины наружной стены в 1,5 кирпича + утепление ЧП и пола (см.выше);

5) утепление наружной стены клинкерными термопанелями ППУ толщиной 0,05 м;

6) утепление наружной стены, наружный слой ППЭ и защитная штукатурка фасада 0,1 м;

7) утепление наружной стены материалом ППЭ толщиной 0,1 м и наружным слоем облицовочного энергоэффективного кирпича толщиной 0,12 м.

Результаты расчета снижения теплотерь здания при теплоизоляции ограждений согласно описанным выше способам представлены на рисунке 6.

Как видно из рис. 6 утепление только чердачного перекрытия и пола снижает теплотери здания лишь на 15%. Дополнительное увеличение толщины наружных стен приводит к снижению теплотерь на треть по сравнению с базовым вариантом. Наибольший эффект снижения теплотерь на 70 – 75% можно достичь за счет утепления наружных стен. Выбор способа утепления наружных стен требует дальнейшего анализа экономических затрат и учета предпочтений потребителей.

Заключение

Таким образом, в данном исследовании введен показатель удельных термических



теплопотерь, как интегральная характеристика теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций здания, который можно использовать для оценки теплопотерь в динамике с учетом изменения температуры наружного воздуха. Была построена компьютерная S-модель оценки теплозащитных характеристик и теплопотерь через наружные ограждения здания в соответствии с методикой, описанной в нормативных документах. Проведен анализ различных вариантов улучшения теплозащитных свойств здания и дана оценка их эффективности. Результаты исследования могут быть полезны при разработке проектной документации в строительстве в части проектирования тепловой защиты зданий, а также для проведения научно-практических исследований влияния параметров конструкций на тепловой режим здания.

Литература

- ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
- СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека фактов среды обитания.
- СП 23-102-2004. Проектирование тепловой защиты. – Введ. 2004-06-01. – М.: Стройиздат, 2004. – 136 с.
- СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты. – Введ. 2018-05-15. – М.: Стандартинформ, 2018. – 51 с.
- СП 50.13330.2024 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 2024-06-16. – М.: Стандартинформ, 2024. – 93 с.
- СП 131.13330.2025. “СНиП 23-01-99* Строительная климатология”. – Введ.2025-09-09. – М.: Стандартинформ, 2025. – 238 с.
- ГОСТ Р 57356-2016/EN ISO 6946:2007 Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Метод расчета сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 24 с.
- Методические рекомендации по расчету теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче элементов здания, контактирующих с его основанием. – М.: Минстрой РФ, 2019. – 84 с.
- СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с Изменениями N 1, 2) – Введ. 2015-04-30. – М.: Стройиздат, 2015. – 93 с.
- Садыков Р.А. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий: Учебно-методическое пособие к выполнению самостоятельной работы для студентов направления подготовки «Строительство» (бакалавриат и магистратура) /Р.А. Садыков, В.Н. Куприянов, Д.В. Крайнов, И.Ш. Сафин, А.И. Иванцов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018. – 55 с.
- Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.
- Волков А.А. Энергетическое моделирование объектов строительства: монография / А.А. Волков, А.В. Седов, П.Д. Чельшков. – М.: МГСУ, 2014. – 120 с.
13. Sereda, S. N. Some features of assessing the humidity conditions of premises / S. N. Sereda, A. V. Sereda // Joint innovation - joint development : Themed collection of papers from Foreign international scientific conference, Harbin (China), 25.09.2025. – Harbin (China): HNRI "National development", 2025. – P. 114-118.

Поступила 10 сентября 2025 г.

The article addresses the issue of building energy efficiency through the analysis of heat losses. The indicator of specific thermal heat losses is introduced as an integral characteristic of the thermal protection properties of a building's external envelopes, which can be used to assess heat losses dynamically, taking into account changes in outdoor air temperature. The main focus is on the mathematical modeling of the heat transfer process through external building envelopes. The authors have developed a computer S-model for assessing the thermal performance of enclosures and calculating heat losses in accordance with the normative methodology. Using the example of a one-story brick house, a morphological analysis of the heat loss structure was carried out and various insulation options were simulated. The results show that the greatest effect (a reduction of 70–75%) is achieved by insulating the external walls. The model allows for a rapid comparison of design solutions at the stage of developing a building's thermal protection.

Key words: heat loss, thermal protection, heat transfer resistance, external enclosures, mathematical modeling.

Серда Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

e-mail: sereda-2010@mail.ru

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Серда Алексей Вадимович – студент третьего курса направления подготовки 08.03.01 Строительство. Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

e-mail: delovoyalexey11@gmail.com

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.