



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

В статье представлен подход к определению вероятности отказа многослойной конструкции стены из кирпича по критерию тепловых потерь. На основе предложенного подхода можно выполнить подбор толщины слоя эффективного утеплителя на нормативное значение тепловых потерь. В качестве метода оценки вероятности отказа используется метод Монте-Карло, численная реализация которого может быть выполнена на базе простых программ.

Теплопроводность, вероятностное проектирование, кирпичная стена, вероятность отказа, тепловые потери.

Энергосбережение и повышение энергоэффективности продолжают играть ключевую роль в жизни населения. Наиболее перспективным направлением в области рационального использования и экономии энергоресурсов считается энергосбережение в разных секторах экономики. Более четверти потенциала энергосбережения приходится на сферу ЖКХ, а в строительстве и промышленности этот показатель превышает одну треть [1].

Береговой А.М. в своей статье «Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену», на основании физико-математической модели экономайзерного эффекта в наружной стене получил приближенную оценку экономии тепловой энергии в помещении, за счет уменьшения объема холодного приточного воздуха и количества тепла на его подогрев [2].

Также Береговой А.М. в статье «Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения» разработал расчетную модель с приближенной оценкой тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через перекрытие холодного чердака для различных вариантов пористого и плитного утеплителя [3].

В результате обзора научных работ отечественных ученых было установлено, что не смотря на то, что вопросами энергоэффективности и энергосбережения занимаются на протяжении не одного десятилетия, еще остаются аспекты, оказывающие негативное влияние на тепловой баланс зданий, не рассмотренные на должном уровне. В данной статье с помощью функции распределения вероятности представлен расчет, по результатам которого можно существенно сократить потери тепловой энергии. Нормативные значения теплотерь через строительные конструкции, такие как кирпичные стены, регулируются строительными нормами и правилами. В России эти нормы устанавливаются в соответствии с требованиями к тепловой защите зданий. Один из ключе-

вых показателей – это коэффициент теплопроводности материала (λ), а также толщина стены.

Для кирпичных стен нормативное значение теплотерь зависит от нескольких факторов:

1. Коэффициент теплопроводности.
2. Толщина стены.
3. Климатический район.
4. Требования к сопротивлению теплопередаче.

Как отмечается в работах [4–6], актуальным и современным методом для обоснования расчетных характеристик являются вероятностные методы.

Рассмотрим кирпичную стену с размерами 2,54 м. на 3,1 м. конструкция стены приведена на рисунке 1. Теплотери можно вычислить по формуле:

$$Q = 1/R * (t_1 - t_2) * A. \quad (1)$$

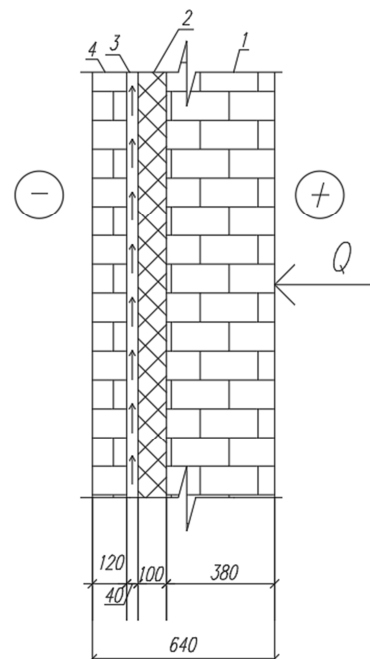


Рис. 1. Конструкция стены: 1 – внутренняя верста, 2 – утеплитель, 3 – вентилируемая воздушная прослойка, 4 – наружная верста

Расчет будет производиться на глухой стене при температуре $t_1 = +22\text{ }^{\circ}\text{C}$ внутри помещения и $t_2 = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$ снаружи. Площадь стены $A = 7,87\text{ м}^2$. R – сопротивление толщии наружного ограждения передаче тепла $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Формула для определения сопротивления теплопередаче выглядит следующим образом:

$$R = d / \lambda,$$

где d – толщина конструкции или материала, λ – коэффициент теплопроводности материала. Также в расчете учитываются теплопотери через узлы соединений, по результатам тепловизонного обследования данная величина равна $1300\text{ Вт}/\text{м}^2$. Нормативное значение потери тепловой энергии по СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» 2024 не должно превышать $2500\text{ Вт}/\text{м}^2$. Статические параметры величин в математической модели приведены в таблице.

Коэффициенты теплопроводности взяты с равномерным распределением 0,01 и 0,02, так как теплопроводность материала существенно зависит от его влажности. Когда материал впитывает влагу, вода заполняет поры и капилляры, изменяя его физические свойства, включая теплопроводность. Вода обладает гораздо большей теплопроводностью, чем воздух, поэтому увеличение содержания воды в материале ведет к повышению его общей теплопроводности, вследствие этого для корректного расчета необходимо применение равномерного распределения.

По результатам генерации 100 000 значений по указанным в таблице параметрам можно получить функцию распределения для потери тепловой энергии через толщю наружной конструкции ограждения (рис. 2).

Таблица

Статистические параметры величин в математической модели

Параметр	Распределение	Параметры	Примечание
Коэффициент теплопроводности 1	Равномерное	[0,74; 0,78] $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
Коэффициент теплопроводности 2	Равномерное	[0,37; 0,39] $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
Коэффициент теплопроводности 3	Равномерное	[0,01; 0,03] $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
Коэффициент теплопроводности 4	Равномерное	[0,74; 0,78] $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$	-
Площадь	Постоянная	7,87 м^2	-
Температура в помещении	Постоянная	+22 $^{\circ}\text{C}$	-
Температура на улице	Постоянная	-35 $^{\circ}\text{C}$	-

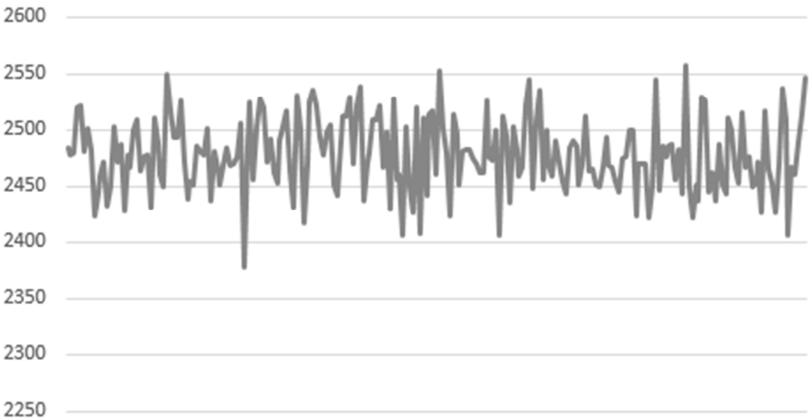


Рис. 2. Функция распределения вероятностей для потери тепловой энергии Q как случайной величины по результатам генерации данных, с утеплением в 100 мм

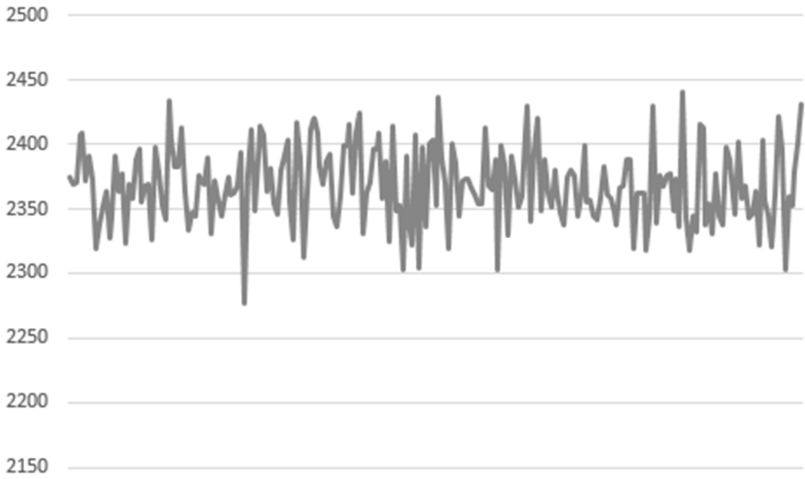


Рис. 3. Функция распределения вероятностей для потери тепловой энергии Q как случайной величины по результатам генерации данных, с утеплением в 150 мм

Исходя из значений, представленных в графике (рис. 2), можно сделать вывод, что утепление в 100 мм недостаточно, так как в 24,39 % случаев нормативное значение потери тепловой энергии превышено. Для сокращения процента превышения нормативного значения необходимо увеличить толщину утеплителя.

После увеличения толщины утеплителя в исследуемой конструкции функция распределения для тепловой энергии примет вид как на рисунке 3.

Исходя из значений, представленных в графике (рис. 3), можно сделать вывод, что утепление в 150 мм удовлетворяет нормативному значению потери тепловой энергии, процент превышения нормативного значения равен 0,004 %.

Применяя функцию распределения вероятностей, возможно значительно повысить энергоэффективность зданий и сооружений.

Литература

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный Закон от 23 ноября 2009г. № 261-ФЗ // Российская газета. – 2009. – 27 ноября.
2. Береговой, А. М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А. М. Береговой, А. В. Мальцев, М. А. Дерина, А. В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 140–144.
3. Береговой, А. М. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения / А. М. Береговой, М. А. Дерина,

В. А. Береговой, А. В. Мальцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 79–83.

4. Соловьев, С. А. Метод вероятностного анализа надежности элементов конструкций на основе граничных функций распределения / С. А. Соловьев, А. А. Соловьева // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 10. – С. 1545–1555.

5. Шевцов, Л. С. Вероятностный подход в проектировании изгибаемых элементов из армированного арболита / Л. С. Шевцов, А. А. Соловьева, С. А. Соловьев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 2(20). – С. 15–17.

6. Соловьева, А. А. Вероятностные модели случайных величин в строительном проектировании / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2024. – 144 с.

7. Соловьева, А. А. Исследование прочностных показателей арболита при повышенной влажности / А. А. Соловьева, Л. С. Шевцов, С. А. Соловьев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 1(19). – С. 33–35.

8. Solovev, S. A. Probabilistic Design of Flexural Cross-Laminated Timber Structural Elements / S. A. Solovev, V. M. Puchkov, A. A. Soloveva // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20, № 2. – P. 99–108.

9. Анализ надежности конструкций стальных покрытий с использованием теории свидетельств / С. А. Соловьев, А. Э. Иньков, А. А. Соловьева, В. А. Смирнов // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 8. – С. 1274–1284.

N.A. Kharev

Vologda State University

STUDY OF HEAT ENGINEERING PROCESSES IN ENCLOSING STRUCTURES

The article presents an approach to determining the probability of failure of a multilayer brick wall structure based on the criterion of heat loss. Based on the proposed approach, it is possible to select the thickness of the effective insulation layer on the standard value of heat loss. The Monte Carlo method is used as a method for assessing the probability of failure, the numerical implementation of which can be performed on the basis of simple programs.

Thermal conductivity, probabilistic design, brick wall, probability of failure, heat loss.