

Влияние толщины утеплителя на стоимость строительства и экономию тепла

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Приходько Себастьян Николаевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методики расчёта и определение влияния толщины утеплителя на стоимость строительных работ и экономию тепловой энергии. В ходе работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования. Выполнен теплотехнический расчёт стены жилого здания при различных толщинах утеплителя, определены теплопотери, годовая экономия тепла, ориентировочные затраты на устройство утепления и срок окупаемости. В результате установлено, что увеличение толщины утеплителя снижает теплопотери, однако после определённого значения прирост экономии становится менее значительным.

Ключевые слова: толщина утеплителя, теплопотери, экономия тепла, стоимость строительства, срок окупаемости.

The influence of insulation thickness on construction cost and heat savings

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Prikhodko Sebastian Nikolayevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to describe a calculation method and determine the influence of insulation thickness on construction cost and heat savings. Exploratory, analytical and computational research methods were used. A thermal calculation of a residential building wall was performed for several insulation thicknesses. Heat losses, annual heat savings, estimated construction costs and payback period were determined. The results show that increasing the insulation thickness reduces heat losses; however, after a certain value, the additional heat saving becomes less significant.

Keywords: insulation thickness, heat loss, heat savings, construction cost, payback period.

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена тем, что наружные ограждающие конструкции являются одним из основных путей потерь тепла в жилых зданиях. Недостаточная теплоизоляция приводит к увеличению расходов на отопление, снижению температурного комфорта и росту эксплуатационных затрат. В то же время чрезмерное увеличение толщины утеплителя повышает стоимость строительства и не всегда даёт пропорциональный экономический эффект. При проектировании важно не только снизить теплопотери, но и определить рациональную толщину утеплителя, при которой достигается заметная экономия тепла при приемлемых строительных затратах. Такой подход позволяет связать теплотехнические расчёты с экономической оценкой принимаемого конструктивного решения.

1.2 Обзор исследований

В статье Н. И. Даниловой [1] рассматриваются эффективные способы теплоизоляции стен зданий и влияние утепления фасадов на энергосбережение. Автор подчёркивает значение наружной теплоизоляции и устранения участков повышенных теплопотерь. Рассмотрены энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций. Отмечается, что правильный выбор теплоизоляционного материала влияет на эксплуатационные характеристики здания и уровень тепловых потерь в работе Е. Ю. Чакиной [2]. Исследование С. В. Клокова [3] посвящено экономическому обоснованию утепления фасадов. В работе рассматривается целесообразность применения фасадных теплоизоляционных изделий и оценка эффекта от снижения теплопотерь. В статье П. В. Русских [4] рассмотрена возможность снижения потерь тепла в учебном помещении за счёт увеличения толщины теплоизоляционного слоя и замены окон на энергосберегающие. Автором выполнен расчёт теплопотерь через наружные ограждающие конструкции, определена годовая экономия тепловой энергии и проведено сравнение эффективности рассматриваемых мероприятий. В работе А. П. Афанасьевой [5] рассматривается оптимальное планирование инвестиций в энергосберегающие мероприятия. Такой подход применим при сравнении затрат на утепление и будущей экономии тепловой энергии.

1.3 Цель исследования

Целью исследования является расчёт влияния толщины утеплителя на стоимость строительства и экономию тепла для наружной стены жилого здания.

2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается наружная стена условного жилого здания. Расчёт выполняется для кирпичной стены с наружным утеплением минераловатными плитами. В качестве нормативной основы используется общий теплотехнический подход, применяемый при расчёте сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по СП 50.13330.2012. [6].

Методика исследования включает определение термического сопротивления конструкции, коэффициента теплопередачи, расчёт теплопотерь при заданной разнице температур, оценку годовой потребности в тепле через рассматриваемую стену, а также расчёт стоимости утепления и срока окупаемости.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

Параметр	Значение
Площадь рассматриваемой стены	100 м ²
Внутренняя температура	+22 °С
Расчётная наружная температура	-10 °С
Средняя наружная температура отопительного периода	-1 °С
Продолжительность отопительного периода	216 суток
Теплопроводность минеральной ваты	0,04 Вт/(м·К)
Стоимость минеральной ваты	8000 руб./м ³
Монтаж, крепёж и защитный фасадный слой	1400 руб./м ²
Стоимость тепловой энергии	6 руб./кВт·ч

Для расчёта принята следующая конструкция стены: внутренняя штукатурка 20 мм, кирпич 250 мм, наружный слой утеплителя переменной толщины, наружный защитный слой. Толщина утеплителя изменяется от 0 до 200 мм с шагом 50 мм.

3 Результаты и обсуждение

Теплопотери через наружную стену определяются по формуле

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

где

Q – теплопотери, Вт.

U – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

A – площадь стены, м².

ΔT – разница температур внутри и снаружи, °С.

Коэффициент теплопередачи определяется через общее термическое сопротивление конструкции

$$U = \frac{1}{R}$$

Общее термическое сопротивление рассчитывается как сумма сопротивлений отдельных слоёв и поверхностных сопротивлений

$$R = R_{\text{вн}} + \sum (d / \lambda) + R_{\text{нар}}$$

где

d – толщина слоя, м.

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

$R_{\text{вн}}$ и $R_{\text{нар}}$ – сопротивления внутренней и наружной поверхностей.

Сначала определим сопротивление стены без учёта утеплителя. Для штукатурки принято $\lambda = 0,70$ Вт/(м·К), для кирпича $\lambda = 0,81$ Вт/(м·К).

$$R_{\text{осн}} = 0,13 + 0,02 / 0,70 + 0,25 / 0,81 + 0,02 / 0,70 + 0,04$$

$$R_{\text{осн}} = 0.536 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

Для каждого варианта утепления сопротивление слоя минеральной ваты определяется по формуле

$$R_{\text{ут}} = \frac{d_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}}$$

Таблица 2 – Расчёт термического сопротивления стены при различной толщине утеплителя

Толщина утеплителя, мм	$R_{\text{ут}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	$R_{\text{общ}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	$U, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$
0	0.00	0.536	1.866
50	1.25	1.786	0.560
100	2.50	3.036	0.329
150	3.75	4.286	0.233
200	5.00	5.536	0.181

Из таблицы видно, что при увеличении толщины утеплителя общее термическое сопротивление стены возрастает, а коэффициент теплопередачи уменьшается. Это означает снижение интенсивности теплового потока через наружную стену.

Далее определим максимальные теплотери при расчётной разнице температур. Для рассматриваемого примера внутренняя температура составляет $+22$ °С, наружная температура -10 °С, поэтому

$$\Delta T = 22 - (-10) = 32 \text{ °С}$$

Таблица 3 – Зависимость теплопотерь от толщины утеплителя

Толщина утеплителя, мм	U, Вт/(м ² ·К)	Теплопотери Q, кВт	Снижение теплопотерь, %
0	1.866	5.97	0.0
50	0.560	1.79	70.0
100	0.329	1.05	82.4
150	0.233	0.75	87.5
200	0.181	0.58	90.3

Без утепления теплопотери через рассматриваемую стену составляют около 5,97 кВт. При толщине утеплителя 100 мм теплопотери уменьшаются до 1,05 кВт, то есть более чем на 80 %. Однако дальнейшее увеличение толщины утеплителя даёт всё меньший дополнительный эффект.

Для оценки годовой экономии используется упрощённая формула расхода тепловой энергии за отопительный период

$$E = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{ср}} \cdot t / 1000$$

где

E – расход тепловой энергии, кВт·ч.

$\Delta T_{\text{ср}}$ – средняя разница температур за отопительный период.

t – продолжительность отопительного периода, ч.

$$t = 216 \cdot 24 = 5184 \text{ ч}$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = 22 - (-1) = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Таблица 4 – Годовая экономия тепловой энергии

Толщина утеплителя, мм	Расход тепла, кВт·ч/год	Экономия, кВт·ч/год	Экономия, руб./год
0	22254	0	0
50	6677	15577	93462
100	3928	18326	109957
150	2782	19472	116830
200	2154	20100	120599

В варианте без утепления годовой расход тепла через рассматриваемую стену составляет примерно 22254 кВт·ч. Устройство слоя минеральной ваты толщиной 100 мм снижает этот показатель до 3928 кВт·ч в год. Денежная экономия по сравнению с базовым вариантом составляет около 109957 руб./год при принятой стоимости тепловой энергии 6 руб./кВт·ч.

Стоимость утепления определяется как сумма стоимости материала и стоимости монтажных работ

$$C = A \cdot (C_{\text{монт}} + d_{\text{ут}} \cdot C_{\text{м}^3})$$

где

C – стоимость утепления, руб.

C_{монт} – стоимость монтажных работ и фасадного слоя, руб./м².

$\delta_{ут}$ – толщина утеплителя, м.

$C_{м^3}$ – стоимость утеплителя, руб./м³.

Таблица 5 – Ориентировочная стоимость устройства утепления

Толщина утеплителя, мм	Стоимость 1 м ² , руб.	Общая стоимость, руб.
0	0	0
50	1800	180000
100	2200	220000
150	2600	260000
200	3000	300000

Экономическая эффективность определяется через простой срок окупаемости

$$T_{ок} = \frac{C}{\Delta_{год}}$$

где

$T_{ок}$ – срок окупаемости, лет.

C – стоимость утепления, руб.

$\Delta_{год}$ – годовая денежная экономия, руб./год.

Таблица 6 – Расчёт срока окупаемости утепления

Толщина утеплителя, мм	Стоимость утепления, руб.	Экономия, руб./год	Срок окупаемости, лет
50	180000	93462	1.93
100	220000	109957	2.00
150	260000	116830	2.23
200	300000	120599	2.49

Сравнение показывает, что слой утеплителя 50 мм имеет самый короткий срок окупаемости, однако при толщине 100 мм достигается значительно большее снижение теплопотерь при практически сопоставимом сроке окупаемости. Поэтому вариант 100 мм можно считать более рациональным для рассматриваемого примера.

Таблица 7 – Дополнительный эффект от увеличения толщины утеплителя

Переход, мм	Доп. экономия, кВт·ч/год	Доп. экономия, руб./год	Доп. затраты, руб.
0–50	15577	93462	180000
50–100	2749	16495	40000
100–150	1146	6873	40000
150–200	628	3769	40000

Предельный анализ показывает, что переход от 0 до 50 мм даёт основную часть экономии. Переход от 50 до 100 мм также остаётся экономически оправданным. При увеличении толщины с 100 до 150 мм дополнительная окупаемость возрастает, а переход с 150 до 200 мм становится менее рациональным, так как дополнительная экономия тепла уже невелика.

4 Выводы

В ходе работы выполнен расчёт влияния толщины утеплителя на стоимость строительства и экономию тепловой энергии. Установлено, что увеличение толщины теплоизоляционного слоя приводит к росту термического сопротивления стены и снижению коэффициента теплопередачи.

Для рассматриваемой стены площадью 100 м² теплопотери без утепления составляют около 5,97 кВт. При применении минеральной ваты толщиной 100 мм теплопотери снижаются до 1,05 кВт, а годовой расход тепла уменьшается примерно с 22254 до 3928 кВт·ч. Расчёт показал, что увеличение толщины утеплителя до 100 мм является рациональным вариантом: достигается значительная экономия тепла при сроке окупаемости около 2 лет. Дальнейшее увеличение толщины до 150–200 мм дополнительно снижает теплопотери, но экономический эффект растёт уже не пропорционально затратам.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования представленной методики расчёта при выборе оптимальной толщины утеплителя для наружных ограждающих конструкций здания. Полученные расчёты позволяют оценить, как увеличение толщины теплоизоляционного слоя влияет на снижение теплопотерь, годовую экономию тепловой энергии и общую стоимость строительных работ.

Библиографический список

1. Нагирная Я. А. Эффективные способы теплоизоляции стен зданий // Актуальные вопросы научных исследований в условиях формирования многополярного мира: Сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 27 августа 2025 года. Уфа: ООО "Омега сайнс", 2025. С. 20-22. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82825098> (дата обращения: 23.06.2026).
2. Чакин Е. Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 9-18. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48034150> (дата обращения: 23.06.2026).
3. Клоков С. В. Кузнецов А. А. Миндров К. А. Экономическое обоснование утепления наружных стен зданий // Оригинальные исследования. 2021. Т. 11, №. 4. С. 219-224. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46161328> (дата обращения: 23.06.2026).
4. Русских П. В. Исследование возможности снижения потерь тепла в ЛГТУ

- // Конкурс лучших студенческих работ: Сборник статей XIII Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 27 июля 2022 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. С. 46-49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49238888> (дата обращения: 23.06.2026).
5. Афанасьева А. П. Оптимальное планирование инвестиций в энергосберегающие мероприятия для большого количества объектов // Энергетические системы. 2021. №. 1. С. 59-69. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48502152> (дата обращения: 23.06.2026).
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.