

## **Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома**

**Горшков А.С.**, кандидат технических наук, директор Учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

**Керник А.Г.**, руководитель группы технической поддержки продаж ООО «УРСА Евразия»

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** индивидуальный жилой дом, наружные стены, деревянный каркас, фасады, теплоизоляция, дополнительное утепление, энергосбережение, энергетическая эффективность, инвестиции, окупаемость.

**АННОТАЦИЯ:** В статье рассмотрены вопросы целесообразности утепления наружных стен каркасного дома, предназначенного для постоянного проживания. Выполнен расчет сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи наружных стен при различной толщине утеплителя. Толщина утеплителя принята равной 50, 100, 150 и 200 мм. При расчете сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи наружных стен учтено влияние теплопроводных включений. Рассчитаны капитальные затраты на утепление при различной толщине дополнительного слоя теплоизоляции. Произведена оценка прогнозируемого срока окупаемости дополнительных инвестиций, рассчитанных с учетом роста тарифов на энергоносители и дисконтирования будущих денежных потоков. На основании выполненных расчетов рассчитана оптимальная толщина слоя утеплителя, соответствующая минимуму срока окупаемости дополнительных инвестиций.

## **Введение**

Каркасные дома представляют один из наиболее распространенных вариантов строительства загородного дома. Каркасные технологии строительства известны уже более 5 веков и в настоящее время являются основным типом малоэтажного строительства в странах Скандинавии, США и Канады. Популярность каркасного домостроения возрастает с каждым годом и в нашей стране.

Современные технологии строительства и применяемые при строительстве материалы позволяют строить каркасные дома, которые не уступают каменным домам по долговечности и надежности. Основными преимуществами каркасного домостроения являются: быстровозводимость, относительно низкая стоимость, всесезонность строительных работ и практически полное отсутствие мокрых процессов при возведении коробки дома. Большинство энергоэффективных зданий в настоящее время возводится по каркасной технологии.

Стены каркасных зданий состоят из несущего каркаса, который может быть выполнен из деревянного бруса, бруса из клееного шпона (ЛВЛ) или тонкостенных профилей из оцинкованной стали (ЛСТК) с заполнением пространства между стойками каркаса плитами из эффективного утеплителя (теплоизоляции). Изнутри и снаружи каркас закрывается отделочными изделиями, перечень которых широк и разнообразен.

Утеплитель (теплоизоляция) служит для уменьшения потерь тепловой энергии на отопление. Чем толще слой теплоизоляции, тем меньшими оказываются потери тепла и, следовательно, в здание требует меньшего расхода энергоресурсов (топливо).

Чем меньше потери тепла в здании, тем меньшее количество тепловой энергии требуется подвести к зданию от источника тепла.

Таким образом, утепление ограждающих конструкций приводит к уменьшению потребляемой в здании энергии и, следовательно, к сокращению эксплуатационных затрат на отопление.

Однако, чем толще слой утеплителя, тем большими оказываются капитальные затраты. Таким образом, еще на этапе проектирования следует произвести экономическую оценку вариантов технических решений.

Капитальные затраты, как правило, значительны, но выделяются единовременно, а экономический эффект от дополнительного утепления будет «набегать» ежегодно, но меньшими порциями. Следовательно, существует некоторая оптимальная толщина слоя теплоизоляции, характеризующая экономическую эффективность принятого решения. Ее

можно определить путем оценки экономической эффективности различных вариантов утепления и сравнения их между собой.

В рамках данного исследования для оценки экономической эффективности различных вариантов утепления наружных стен каркасного дома используется показатель прогнозируемого срока окупаемости инвестиций. Наиболее эффективным считается вариант утепления, при реализации которого дисконтированный срок окупаемости  $T_D$  инвестиций в доутепление ограждающих конструкций дома окажется минимальным:

$$T_D = f(\delta_{ym}) \rightarrow \min . \quad (1)$$

## 1. Объект исследования

Рассмотрим типовой каркасный дом площадью  $150 \text{ м}^2$  (рисунок 1).

Площадь наружных стен  $A_{cm}$  примем равной  $175 \text{ м}^2$ .

В качестве несущего каркаса рассмотрим наиболее распространенный вариант – деревянный брус сечением  $150 \times 50 \text{ мм}$ .

Отопление в доме – индивидуальное, от газового котла с КПД 90 %.

Месторасположение объекта: Московская область.

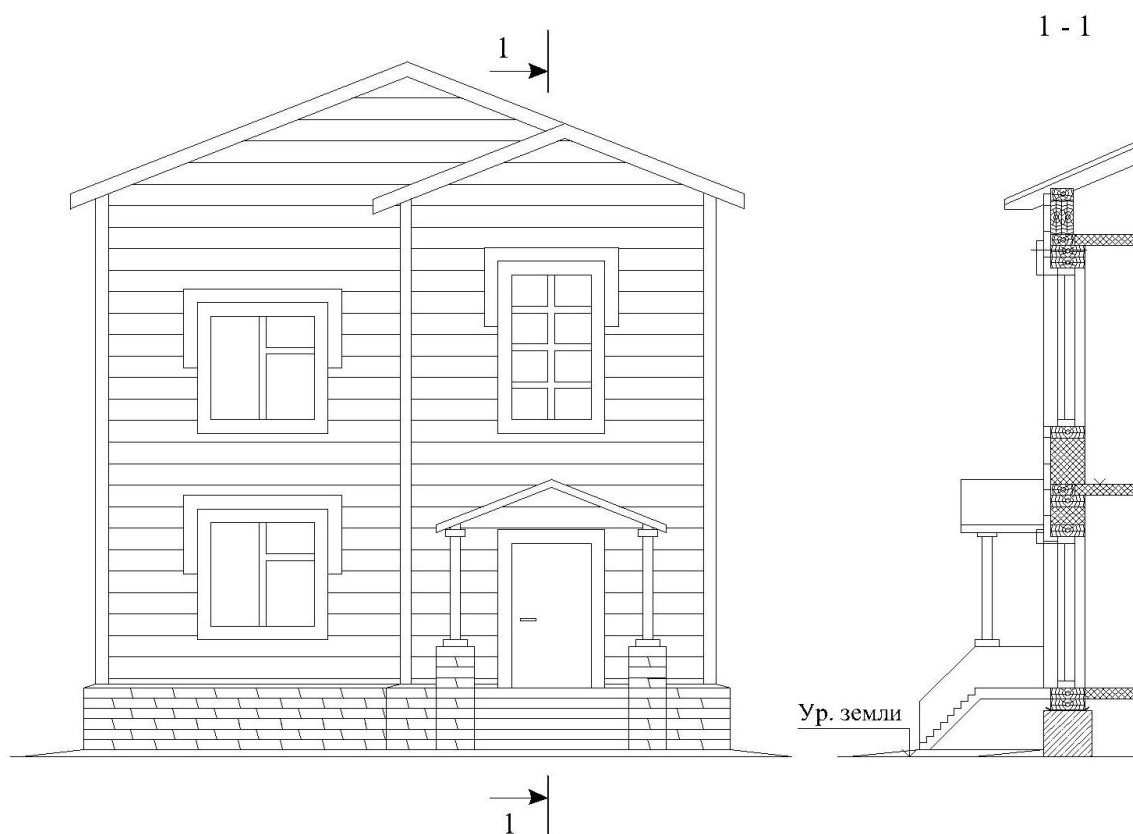


Рисунок 1 – Фасад и разрез объекта исследования

## 2. Цель исследования

Целью исследования является расчет потерь тепловой энергии через наружные стены рассматриваемого объекта исследования, а также оценка прогнозируемых сроков окупаемости четырех вариантов утепления стен толщиной 50, 100, 150 и 200 мм. Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены представлено на **рисунке 2**.



**Рисунок 2** – Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены каркасного дома

В качестве слоя теплоизоляции примем изделия теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем марки TERRA 34 PN. Физико-механические характеристики рассматриваемых изделий представлены в **таблице 1**.

Рассмотрим как влияет увеличение толщины теплоизоляции на первоначальные капитальные вложения (инвестиции), потери тепловой энергии через наружные стены, эксплуатационные затраты на компенсацию потерь тепла и сроки окупаемости инвестиций.

Вариант стены с толщиной утеплителя 50 мм примем в качестве базового (минимально-допустимого) варианта. Стена каркасного дома может быть выполнена без утеплителя, но такой дом, как правило, не подходит для круглогодичного проживания или окажется некомфортным. По этой причине вариант стены каркасного дома без теплоизоляции в данном исследовании не рассматривается.

**Таблица 1.** Основные физико-механические характеристики изделий марки TERRA 34 PN

<b>TERRA</b>	<b>Метод испытаний</b>	<b>34 PN</b>
Теплопроводность в условиях эксплуатации «А» – $\lambda_A$ , Вт/(м·К)	ГОСТ 7076	0,038
Теплопроводность в условиях эксплуатации «Б» – $\lambda_B$ , Вт/(м·К)	ГОСТ 7076	0,039
Горючесть	ГОСТ 30244	НГ
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ EN 1602	18,5 - 23
Водопоглощение, кг/м <sup>2</sup> , не более	ГОСТ EN 1609 метод А	1
Класс звукопоглощения	ГОСТ 53376-2009	-
Коэффициент паропроницаемости, мг/мчПа	ГОСТ 25898	-
Сорбционная влажность, %, не более	ГОСТ 17177	5
Температура эксплуатации, °С	ТУ 5763-007-56864652-2009	От -60 до +220
<b>Геометрические размеры</b>		
Длина, мм	ГОСТ EN 822	1000-1250
Ширина, мм	ГОСТ EN 822	600
Толщина, мм	ГОСТ EN 823	40-220

### **3 Дополнительные инвестиции**

Увеличение толщины слоя теплоизоляции сверх базовых 50 мм в составе наружных стен каркасного дома потребует дополнительных инвестиций.

В соответствии с исходными данными, площадь наружных стен рассматриваемого объекта исследования принята равной **175 м<sup>2</sup>**.

Затраты на монтаж дополнительной теплоизоляции (сверх базовых 50 мм) представлены в **таблице 2**.

**Таблица 2.** Капитальные затраты на установку дополнительного слоя теплоизоляции

Толщина слоя теплоизоляции, мм	Капитальные затраты, руб
100	12 600
150	25 200
200	51 840

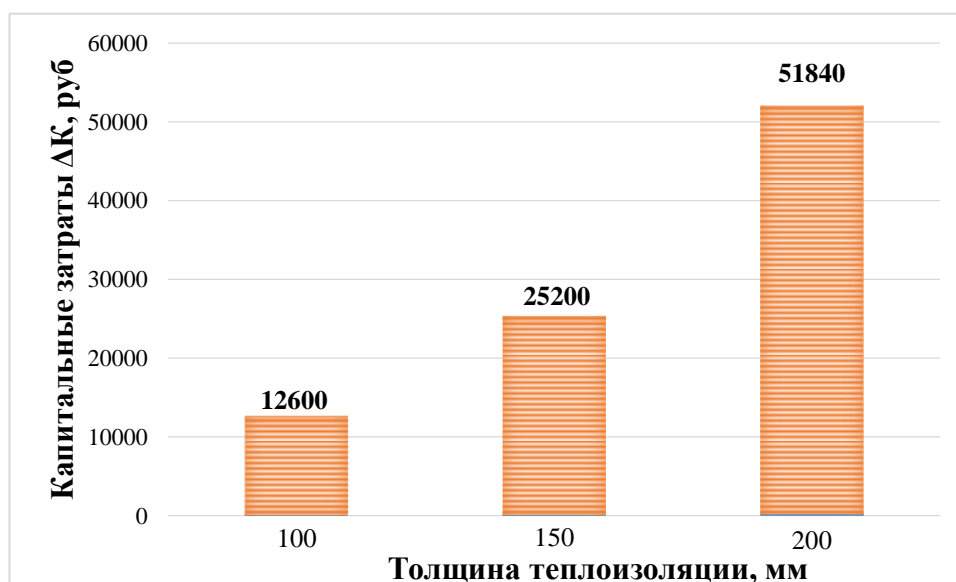
**Примечание.** Представленные капитальные затраты по установке дополнительного слоя утеплителя каркасного дома актуальны для регионов Москвы и Московской области. Стоимость материалов – рыночная, для оптовой категории клиентов. Капитальные

затраты рассчитаны с учетом стоимости теплоизоляции, доставки к месту производства работ (в пределах 100 км), погрузочно-разгрузочных работ, работ по подрезке и монтажу утеплителя.

Дополнительные затраты на утепление получены исходя из стоимости теплоизоляции 1200 руб/м<sup>3</sup> и рассчитаны по сравнению с базовым вариантом утепления (50 мм), т.е. при толщине слоя теплоизоляции 100 мм дополнительные инвестиции рассчитаны с учетом необходимости установки дополнительного слоя теплоизоляции толщиной 50 мм и т.д. В последнем случае толщина слоя минеральной ваты 200 мм окажется больше толщины стоек каркаса (150 мм), ввиду чего для установки дополнительных 50 мм теплоизоляции между каркасом и обрешеткой потребуется установить контрбрус толщиной 50 мм, между которым уложить последние 50 мм минеральной ваты. В этом случае стоимость работ возрастает непропорционально, что отражено в **таблице 2**.

Стоимости работы для монтажу теплоизоляции с толщинами 50, 100 и 150 мм приняты равными, поэтому не учтены. При толщине слоя теплоизоляции 200 мм учтены дополнительные затраты на установку контрбруса и укладку между горизонтальными направляющими контрбруса утеплителя.

График зависимости капитальных затрат на дополнительное утепление наружных стен рассматриваемого объекта исследования от толщины дополнительного (по сравнению с базовым вариантом) слоя теплоизоляции, представлен на **рисунке 3**.



**Рисунок 3** – График зависимости капитальных затрат на дополнительное утепление наружных стен в зависимости от толщины слоя теплоизоляции

Как следует из данных, представленных на **рисунке 3**, капитальные затраты на дополнительное утепление наружных стен с увеличением толщины теплоизоляции возрастают. При переходе от толщины 150 мм к толщине 200 мм затраты возрастают более быстро. Это обстоятельство обусловлено изменением конструктивной схемы наружных стен ввиду появления между стойками каркаса и облицовочным слоем дополнительного контрбруса.

Для расчета эксплуатационных издержек вариантов домов с различным уровнем теплоизоляции наружных стен требуется понимание параметров климата предполагаемого района строительства и теплотехнических характеристик ограждающих конструкций (стен).

#### 4 Климатические характеристики района строительства

Расчетные климатические характеристики района строительства приняты на основании данных СП 131.13330 [1] и представлены в **таблице 3**. Данные характеристики потребуются в дальнейшем для оценки потенциала энергосбережения и экономического эффекта, достигаемого при большей толщине утеплителя.

**Таблица 3.** Расчетные климатические характеристики предполагаемого района строительства

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	- 3,1
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	216
Градусо-сутки отопительного периода	$G_{СОП}$	°С·сут/год	4 990
Расчетная температура внутреннего воздуха по ГОСТ 30494 [2]	$t_{в}$	°С	20

#### 5 Уровень теплоизоляции

Уровень теплоизоляции наружных стен может быть оценен с использованием следующих расчетных теплофизических характеристик:

- сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $m^2 \cdot K / W$ ;
- коэффициент теплопередачи  $U_0$ ,  $W / (m^2 \cdot K)$ .

Из рассмотрения единиц измерения представленных теплофизических характеристик следует, что они являются обратно пропорциональными другу другу, т.е. [3]:

$$U_0 = \frac{1}{R_0}. \quad (2)$$

Коэффициент теплопередачи (*U-value*) является более удобной и понятной тепловой характеристикой ограждающих конструкций, т.к. показывает отношение плотности теплового потока к площади ограждающей конструкции при разности внутренней и наружной температур воздуха 1 К.

Сопротивление теплопередаче вариантов стенового ограждения при различной толщине слоя теплоизоляции может быть рассчитано по формуле [4]:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{(i)} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (3)$$

где  $\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, принимаемый по таблице 7 [5] для наружных стен равным 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_i$  – толщина *i*-го слоя конструкции наружной стены, м;

$\lambda_i$  – теплопроводность *i*-го слоя материала наружной стены, Вт/(м·К);

$\alpha_н$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, принимаемый по табл. 8 [4] для наружных стен равным 23 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В связи с тем, что термическое сопротивление внутреннего и наружного облицовочных слоев незначительно по сравнению с термическим сопротивлением слоя утеплителя, а также в связи с тем, что изделия для внутренней отделки могут быть приняты совершенно разными, при расчете сопротивления теплопередаче по формуле (3) облицовочные слои учитываться не будут.

Ввиду того, что в рассматриваемой на **рисунке 2** конструкции стены перед облицовочным слоем присутствует вентилируемая наружным воздухом прослойка, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены  $\alpha_н$  на основании примечания «б» к пункту 9.1.2 СП 23-101 [4] примем равным 10,8 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Тогда, сопротивление теплопередаче рассматриваемых вариантов стеновых ограждений составит:

- при толщине слоя теплоизоляции 50 мм (базовый вариант):

$$R_0^{50} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{1}{10,8} = 1,49 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

- при толщине слоя теплоизоляции 100 мм:

$$R_0^{100} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,039} + \frac{1}{10,8} = 2,77 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

- при толщине слоя теплоизоляции 150 мм:



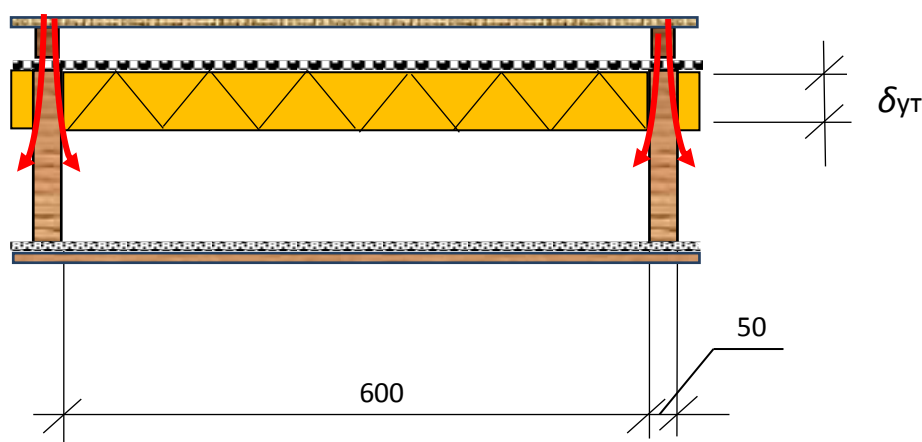
$$R_0^{150} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,039} + \frac{1}{10,8} = 4,05 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Вт} \right),$$

- при толщине слоя теплоизоляции 200 мм:

$$R_0^{200} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{0,039} + \frac{1}{10,8} = 5,34 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Вт} \right).$$

На **рисунке 2** видно, что контур утепления не является сплошным, – деревянные стойки каркаса разрывают контур утепления на всю толщину слоя теплоизоляции, т.е. представляют собой сквозные линейные теплопроводные включения. Ввиду этого стойки деревянного каркаса обуславливают дополнительные (по сравнению с сечением стены в месте расположения утеплителя) потери тепла, которые следует учесть при оценке потенциала энергосбережения различных вариантов утепления.

Для оценки влияния стоек каркаса на уровень теплоизоляции наружных стен каркасного дома воспользуемся методом, представленном в справочнике [6]. Расстояние между деревянными стойками каркаса примем равным 0,6 м, толщину направляющих – 0,05 м. Схематичное изображение рассматриваемого фрагмента стенового ограждения представлено на **рисунке 4**.



**Рисунок 4** – Схематичное изображение регулярного (повторяющегося) фрагмента стенового ограждения для расчета его коэффициента теплопередачи с учетом влияния стоек на теплотехническую однородность ограждающей конструкции

Если толщина слоя утеплителя меньше толщины деревянной стойки каркаса при расчете коэффициента теплопередачи стеновой конструкции толщину направляющих стоек будем принимать равной толщине слоя утеплителя (как показано на схеме рисунка 4). Термическое сопротивление внутреннего и наружного облицовочных слоев, толщина которых, как

правило, существенно ниже, чем у несущих и утепляющих слоев, будем считать ничтожно малыми.

Пространство между утеплителем и облицовкой будем считать вентилируемым. В этой связи коэффициент теплоотдачи наружной поверхности  $\alpha_n$  примем равным 10,8 Вт/(м·К) [4].

Тогда при толщине слоя утеплителя 50 мм:

- сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопередачи стены по сечению стоек деревянного каркаса ( $\kappa$ ) составит:

$$R_{\kappa} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{\delta_{\kappa}}{\lambda_{\kappa}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,18} + \frac{1}{23} = 0,44 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

$$U_{\kappa} = \frac{1}{R_{\kappa}} = \frac{1}{0,44} = 2,27 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right);$$

- сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопередачи стены по сечению утеплителя ( $ym$ ):

$$R_{ym} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{1}{10,8} = 1,49 \left( \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

$$U_{ym} = \frac{1}{R_{ym}} = \frac{1}{1,49} = 0,67 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right).$$

С учетом того, что высота стоек каркаса и слоя утеплителя примерно одинаковы, расчет коэффициента теплопередачи можно провести только относительно ширины рассмотренного на рисунке 4 фрагмента стенового ограждения [6]:

$$U_{np}^{50} = \frac{U_{\kappa} \cdot b_{\kappa} + U_{ym} \cdot b_{ym}}{b_{\kappa} + b_{ym}} = \frac{2,27 \cdot 0,05 + 0,67 \cdot 0,6}{0,05 + 0,6} = 0,79 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right).$$

Аналогичные расчеты, выполненные для других толщин, показывают следующие результаты:

- при толщине слоя утеплителя 100 мм:

$$U_{np}^{100} = 0,44 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right);$$

- при толщине слоя утеплителя 150 мм:

$$U_{np}^{150} = 0,31 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right);$$

- при толщине слоя утеплителя 200 мм:

$$U_{np}^{200} = 0,24 \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right).$$

## **6 Расчет потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции**

Средние за отопительный период потери тепловой энергии через стены дома  $Q_{cm}$ , Гкал, заданной толщины и заданного состава рассчитываются по формуле [7]:

$$Q_{cm} = \frac{0,024 \cdot GCOП \cdot U_0 \cdot A_{cm}}{1163}, \quad (4)$$

где  $U_0$  – то же, что и в формуле (1);

$GCOП$  – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут (см. данные **таблицы 1**);

0,024, 1163 – переводные коэффициенты;

$A_{cm}$  – площадь наружных стен, м<sup>2</sup>.

Обозначим базовый вариант утепления (50 мм) стен индексом «баз», варианты с большей толщиной теплоизоляции – «ут».

Тогда экономия тепловой энергии, достигаемая за счет дополнительного утепления наружных стен, может быть рассчитана на основании следующего выражения:

$$\Delta Q = Q_{баз} - Q_{ум} = \frac{0,024 \cdot GCOП \cdot (U_{np}^{50} - U_{np}^{\delta_i}) \cdot A_{cm} \cdot 859,8}{\eta_k \cdot Q_m}, \quad (5)$$

где  $U_{np}^{50}$  – коэффициент теплопередачи базового варианта наружных стен (с толщиной утеплителя 50 мм), м<sup>2</sup>·К/Вт;

$U_{np}^{\delta_i}$  – коэффициент теплопередачи наружных стен с большей толщиной слоя теплоизоляции ( $\delta_i = 100, 150$  и  $200$  мм), м<sup>2</sup>·К/Вт;

0,024,  $GCOП$ , 1163,  $A_{cm}$  – то же, что и в формуле (4);

859,8 – переводной коэффициент (1 Квт·ч=859,8 ккал);

$\eta_k$  – коэффициент полезного действия газового котла;

$Q_m$  – теплотворная способность газового топлива, ккал/м<sup>3</sup>; определяется на основании результатов измерений физико-химических показателей газа в соответствии с методами испытаний по ГОСТ 5542; при отсутствии паспорта

качества газового топлива принимается равной 8000 ккал/м<sup>3</sup>.

## 7 Расчет эксплуатационных затрат

Разница эксплуатационных затрат ( $\Delta \mathcal{E}$ ), достигаемая за счет дополнительного утепления наружных стен в течение одного нормативного отопительного периода, руб/год, может быть рассчитана по формуле [7]:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot c_m, \quad (6)$$

где  $\Delta Q$  – то же, что и в формуле (5);

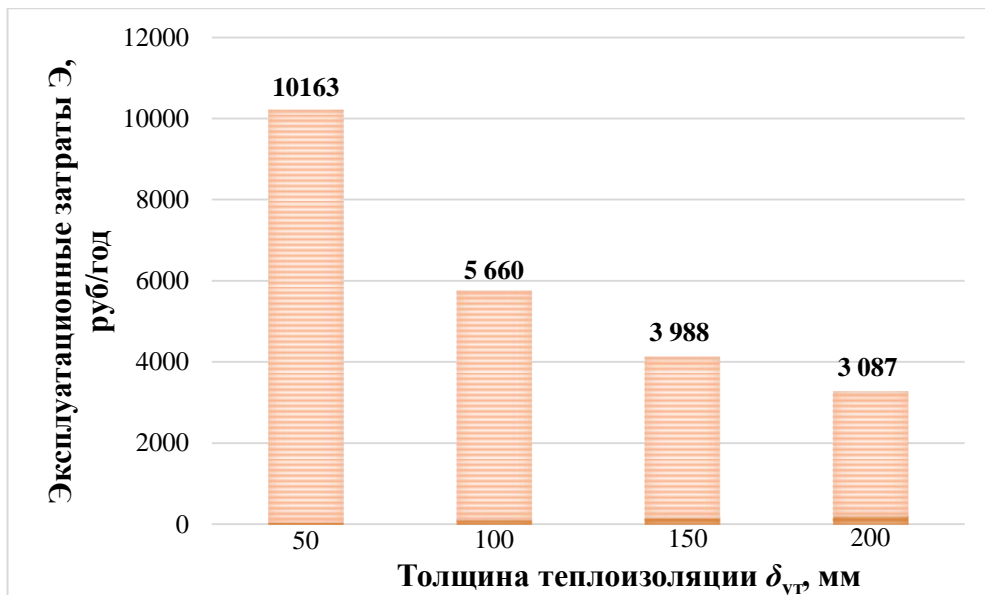
$c_m$  – стоимость природного газа, руб/м<sup>3</sup>.

Размер платы за пользование природным газом на отопление жилых домов, расположенных на территории Московской области,  $c_m$  составляет **5,14 руб/м<sup>3</sup>** (Распоряжение Комитета по ценам и тарифам Московской области от 10.06.2016 № 74-Р).

Результаты расчета приведены в **таблице 4** и графически представлены на **рисунке 5**.

**Таблица 4.** Эксплуатационные затраты

Толщина слоя теплоизоляции, мм	Эксплуатационные затраты на компенсацию потерь тепловой энергии через стены, руб/год	Величина уменьшения эксплуатационных затрат при заданной толщине слоя теплоизоляции по сравнению с базовым вариантом, руб/год
50 (базовый вариант)	10 163	-
100	5 660	4 503
150	3 988	6 175
200	3 087	7 076



**Рисунок 5** – Эксплуатационные затраты, расходуемые в течение одного нормативного отопительного сезона на компенсацию потерь тепловой энергии через стены

## 8 Расчет окупаемости

Прогнозируемый срок окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление наружных стен, рассчитаем по формуле, предложенной в работах [8-10]:

$$T_{\text{Д}} = \frac{\ln \left[ 1 + \frac{\Delta K \cdot (r-i)}{\Delta \mathcal{E} \cdot (1+i)} \right]}{\ln \left[ 1 + \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]},$$

(7)

где  $\Delta K$  – разница капитальных затрат на возведение утепленного ( $K_{\text{ум}}$ ) и базового ( $K_{\text{баз}}$ ) вариантов наружных стен (фасадов) рассматриваемого объекта недвижимости, руб;

$\Delta \mathcal{E}$  – разность потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции до ( $\mathcal{E}_{\text{баз}}$ ) и после утепления базового варианта наружных стен ( $\mathcal{E}_{\text{ум}}$ ) дома, руб/год.

$r$  – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию;

$i$  – процентная ставка дисконтирования.

В отличие от формулы, используемой для расчета простой (бездисконтной) окупаемости:

$$T_0 = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}$$

(8)

формула (7) позволяет учесть не только затраты на утепление  $\Delta K$  и эксплуатационные расходы на отопление  $\Delta \mathcal{E}$ , но и показатели динамики роста тарифов на энергоносители ( $r$ ), а также дисконтирования будущих денежных потоков ( $i$ ), достигаемых за счет уменьшения эксплуатационных издержек.

Средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию для населения России  $\Delta c_T$  составляет примерно 12 % в год. Т.о. среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию  $r$  в формуле (7) примем равным 0,12.

Мерой дисконтирования будущих денежных потоков можно выбрать средний уровень инфляции за определенный промежуток времени (например, за 5 или 10 последних лет), ставку рефинансирования Центрального Банка, доходность альтернативных вложений (например, открытие вклада в банке на депозитный счет), прочие факторы, влияющие на величину будущих денежных потоков.

Для данной конкретной модели в качестве меры дисконтирования примем величину ключевой ставки Центрального Банка РФ, равную 10 %. С учетом этого значение показателя дисконтирования  $i$  в формуле (7) примем равным 0,1.

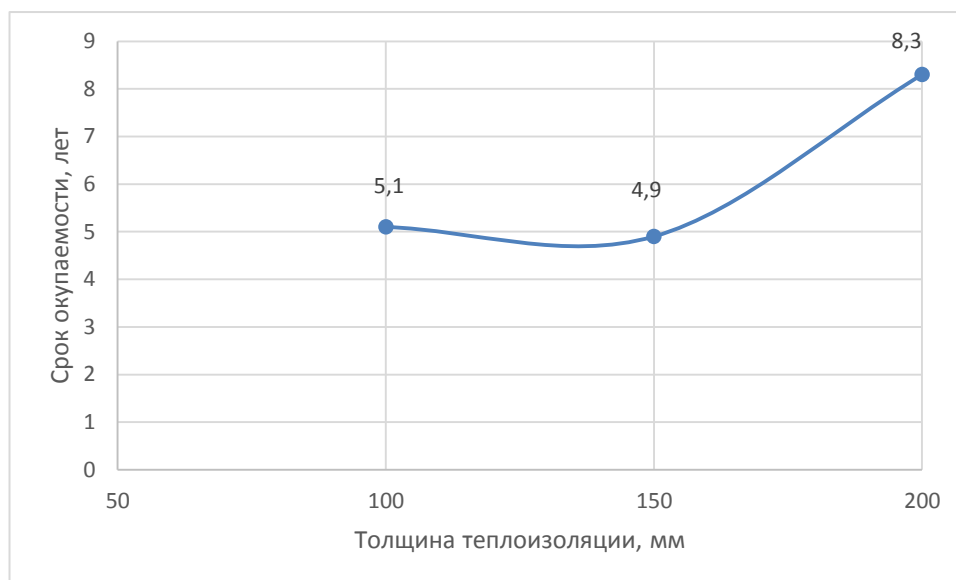
Рассчитаем по формуле (7) прогнозируемый период окупаемости дополнительных затрат на утепление при различной толщине слоя теплоизоляции, т.е. определим интервал времени, по истечении которого инвестиции в дополнительное утепление стен каркасного дома окупятся (по сравнению с базовым вариантом утепления:  $\delta_{ym} = 50$  мм). Результаты расчета представлены в **таблице 5**.

**Таблица 5.** Дисконтированный срок окупаемости дополнительных инвестиций, направленных на утепление наружных стен рассматриваемого объекта исследования в зависимости от толщины слоя теплоизоляции

Толщина слоя	Дополнительные	Разница	Дисконтированный
--------------	----------------	---------	------------------

теплоизоляции $\delta_{yt}$ , мм	капитальные затраты $\Delta K$ , руб	эксплуатационных затрат $\Delta \mathcal{E}$ , руб/год	срок окупаемости $T_D$ , год
100	19 550	4 503	5,1
150	26 150	6 175	4,9
200	51 840	7 076	8,3

Результаты, представленные в **таблице 5**, графически показаны на **рисунке 6**.



**Рисунок 6** – График зависимости дисконтированного срока окупаемости инвестиций на дополнительное утепление наружных стен каркасного дома от толщины слоя теплоизоляции

Как следует из данных представленных в **таблице 5**, наиболее полно условию (1) удовлетворяет толщина теплоизоляции 150 мм, т.к. при данной толщине дисконтированный срок окупаемости дополнительных инвестиций, направленных на утепление наружных стен рассматриваемого дома, оказывается минимальным (менее 5 лет).

Кроме этого при толщине несущих стоек каркаса 150 мм и толщине утеплителя 150 мм обеспечивается плотное прилегание ветрозащитного слоя к утеплителю (рис. 2). В этом случае при прохождении воздуха в воздушной вентилируемой прослойке не будет наблюдаться провисания ветрозащитной мембраны.

Резкое увеличение срока окупаемости инвестиций при толщине слоя теплоизоляции 200 мм для заданного сечения каркаса (50×150 мм) обусловлено необходимостью устройства дополнительного контрбруса (сечением 50×50 мм) и размещения между ним второго (наружного) слоя теплоизоляции толщиной 50 мм. Следует отметить, что при таком варианте

утепления несущие стойки каркаса оказываются в зоне положительных температур, что увеличивает их эксплуатационную сохранность и долговечность. При однослойном утеплении стен каркасного дома различные участки сечения стоек оказываются под воздействием различных температур, что вызывает неравномерную их деформацию. При наличии средств для повышения надежности и долговечности несущих элементов деревянного каркаса дома рекомендуется производить утепление таким образом.

### **Заключение**

1. Одним из способов снижения потерь тепловой энергии на отопление является дополнительное утепление наружных ограждающих конструкций (стен, покрытий, чердачных перекрытий, наружных дверей и пр.).

2. Чем меньше потери тепла, тем меньшее количество тепловой энергии требуется для компенсации потерь тепловой энергии (при обеспечении нормативных показателей микроклимата). Таким образом, утепление приводит к уменьшению потребляемой в доме энергии и, как следствие, к сокращению платежей на отопление.

3. Дополнительное утепление ограждающих конструкций дома требует дополнительных инвестиций (капитальных вложений).

4. Экономическую эффективность энергосберегающих мероприятий можно характеризовать прогнозируемым сроком их окупаемости.

5. Прогнозируемый срок окупаемости инвестиций, направленных на утепление наружных стен рассматриваемого объекта исследования (жилого загородного каркасного дома) составляет от 4,9 до 8,3 лет в зависимости от толщины слоя теплоизоляции.

6. Минимальный прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в утепление стен каркасного дома составляет 4,9 года и соответствует толщине слоя теплоизоляции, равной 150 мм.

### **Список литературы**

1. СП 131.13330.2011 Строительная климатология.
2. ГОСТ 30494-2014 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата
3. ISO 6946-2007 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.
4. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.



5. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
6. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с.
7. Горшков А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии. – Санкт-Петербург, 2013.
8. Горшков А.С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 136-146.
9. Немова Д.В., Горшков А.С., Ватин Н.И., Кашабин А.В., Цейтин Д.Н., Рымкевич П.П. Техничко-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11 (26). С. 70-84.
10. Немова Д.В., Горшков А.С., Ватин Н.И., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Техничко-экономическое обоснование по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 93-115.