

Как экономить на отоплении загородного дома из бруса: профессиональный расчет толщины слоя утеплителя.

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»

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы целесообразности утепления наружных стен дома из бруса, предназначенного для круглогодичного проживания. Обоснована целесообразность утепления стен дома из бруса ввиду значительных расходов энергоресурсов, требуемых для компенсации потерь через наружные ограждения. Рассчитано сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопередачи наружных стен до и после утепления. Толщина дополнительного слоя утепления принята равной 50, 100, 150 и 200 мм. При расчете сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи наружных стен учтено влияние теплопроводных включений (направляющих стоек и крепежных элементов). Рассчитаны капитальные затраты на дополнительное утепление. Произведена оценка прогнозируемого срока окупаемости дополнительных инвестиций, рассчитанных с учетом роста тарифов на энергоносители и дисконтирования будущих денежных потоков. На основании выполненных расчетов получена оптимальная толщина слоя утеплителя, соответствующая минимуму срока окупаемости дополнительных инвестиций.

Сопротивление теплопередаче

Примем толщину стен из бруса равной 150 мм и рассмотрим теплофизические характеристики таких стен.

В основном брус производится из хвойных пород дерева. Теплопроводность бруса (сосна и ель поперек волокон) составляет 0,18 Вт/(м·К).

Величиной, характеризующей уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций в строительстве, является **сопротивление теплопередаче**. Чем выше сопротивление теплопередаче, тем меньше потери тепла через ограждения. Сопротивление теплопередаче наружных стен из бруса толщиной 150 мм может быть рассчитано по следующей формуле, принятой в своде правил [1]:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\delta p}}{\lambda_{\delta p}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{1}{23} = 0,99 \left(\frac{m^2 \cdot K}{Wt} \right), \quad (1)$$

где α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, принимаемый по таблице 7 [2] для наружных стен равным 8,7 Вт/(м²·К);

$\delta_{\delta p}$ – толщина наружной стены, м;

$\lambda_{\delta p}$ – теплопроводность материала стены, Вт/(м·К);

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, принимаемый по табл. 8 [1] для наружных стен равным 23 Вт/(м²·К).

Чтобы понять много это или мало, рассмотрим следующий пример.

Потери тепла

Рассмотрим жилой многоквартирный дом площадью 100-120 м². Площадь наружных стен A_{cm} для домов принятой площади, как правило, составляет не более 150 м².

Для удобства дальнейших расчетов определим **коэффициент теплопередачи** наружных стен:

$$U_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{0,99} \approx 1,0 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right), \quad (2)$$

который, как следует из представленного выше выражения, представляет собой величину, обратную сопротивлению теплопередаче.

Удобство данного коэффициента заключается в его размерности. Он показывает величину плотности теплового потока (Вт), отнесенного к метру квадратному ограждающей конструкции при разности внутренней и наружной температур воздуха 1 К. Если эту величину умножить на площадь стен, мы получим суммарный тепловой поток через общую площадь стен при разности температур 1 К. Если полученную величину умножить на разность температур между температурой внутреннего и температурой наружного воздуха, мы сможем определить расчетную мощность системы отопления при заданной температуре наружного воздуха. Если далее умножить эту величину на время эксплуатации дома, то получится расход тепловой энергии на компенсацию потерь через наружные стены. Аналогичные расчеты можно выполнить по отношению ко всем остальным наружным ограждающим конструкциям (окнам, покрытию, полам) и получить данные о суммарных потерях тепла в доме за отопительный период.

Таким образом, коэффициент теплопередачи (*U-value*) является наиболее удобной и понятной тепловой характеристикой ограждающих конструкций и поэтому принят в качестве расчетной и нормируемой величины во многих странах мира.

Затраты на отопление

Пусть рассматриваемый дом расположен в Московской области. Градусо-сутки отопительного периода (далее – *ГСОП*) для населенных пунктов, расположенных в Московской области составляют:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om} = (20 - (-1,3)) \cdot 216 = 4990 (°C \cdot сут), \quad (3)$$

где t_e – температура внутреннего воздуха, принимаемая для жилых зданий равной 20 °С [3];

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, принимаемая для жилых зданий, расположенных в Московской области, равной минус 3,1 °С [4];

z_{om} – продолжительность отопительного периода, принимаемая для жилых зданий, расположенных в Московской области, равной 216 сут [4].

Тогда суммарные потери тепловой энергии за полный отопительный период через наружные стены из бруса толщиной 150 мм (базовый вариант) составят:

$$Q_{баз} = 0,024 \cdot U_0 \cdot ГСОП \cdot A_{cm} = 0,024 \cdot 1 \cdot 4990 \cdot 150 = 17964 (кВт \cdot ч), \quad (4)$$

где 0,024 – переводной коэффициент (1 сут = 24 часа, 1 Вт = 0,001 кВт);

U_0 – то же, что и в формуле (2);

ГСОП – то же, что и в формуле (3);

A_{cm} – площадь наружных стен, м².

Для удобства дальнейших расчетов рассмотрим вариант отопления здания электричеством. Это не самый распространенный способ отопления жилых домов. Однако, размерность затрат энергии, полученная в уравнении (4) позволяет сразу оценить эксплуатационные затраты на отопление ($\mathcal{E}_{\text{баз}}$), если умножить полученную в формуле (4) величину суммарных потерь тепловой энергии через наружные стены рассматриваемого жилого дома ($Q_{\text{баз}}$) на действующий в рассматриваемом населенном пункте тариф электрической энергии ($c_{\text{эл}}$) с учетом дифференцирования тарифа по двум зонам (пиковой – с 7:00 до 23:00 с тарифом 3,87 руб/кВт·ч и ночной – с 23:00 до 7:00 с тарифом 1,37 руб/кВт·ч [5]):

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{баз}} &= \frac{2}{3} \cdot Q_{\text{баз}} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{дн}} + \frac{1}{3} \cdot Q_{\text{баз}} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{ночн}} = \\ &= \frac{2}{3} \cdot 17964 \cdot 3,87 + \frac{1}{3} \cdot 17964 \cdot 1,37 = 54500 (\text{руб} / \text{год}).\end{aligned}\tag{5}$$

Полученная в формуле (5) величина показывает **только ту долю затрат на отопление, которая расходуется за отопительный период на компенсацию потерь тепла через наружные стены дома из бруса толщиной 150 мм.** Для того, чтобы оценить общие затраты на отопление в течение отопительного периода, к этим затратам нужно прибавить затраты на компенсацию потерь тепловой энергии через крышу, входные наружные двери, окна, полы, а также затраты энергии на подогрев наружного воздуха, поступающего при вентиляции помещения, а также за счет нагревания инфильтрующегося наружного воздуха, поступающего через открытые форточки или через неплотности в составе наружных ограждающих конструкций (щели, стыки бревен, примыкания окон с наружными стенами и пр.). Если принять, что отопительный сезон длится 7 месяцев (с начала октября по конец апреля), то получается средняя сумма расходов на отопление 7 785 руб/мес (конечно, в период с декабря по февраль эта сумма будет выше среднемесячной, а в остальные месяцы отопительного периода – ниже). **И это только на компенсацию потерь через наружные стены!**

Для решения данной финансовой проблемы есть два способа.

Способ первый – меньше расходовать топливо (ресурсы) на неутепленного дома утепления. Это приведет к тому, что в доме понизится средняя температура воздуха. Она окажется ниже принятой в формуле (3). Действительно, за счет меньшего расхода топлива (дров, электрической энергии, газа и пр.) можно поддерживать температуру внутреннего воздуха, например, 15 °С. Тогда в формулу (3) вместо 20 °С следует подставить 15 °С. ГСОП при этом уменьшится, следовательно, за счет меньшей разности температур, уменьшатся потери тепла, а с ними и эксплуатационные затраты. **Однако более эффективным решением будет утепление дома.** Вопрос выгоды в данном случае будет заключаться в том, окупятся ли его вложения в дополнительное утепление и если да, то в какой срок? Рассмотрим этот вопрос на примере наружных стен (см. следующий раздел статьи).

Кроме того, следует иметь в виду, что толщина дополнительного слоя теплоизоляции может быть разной: 50, 100, 200 и т.д. мм. Какая из них будет являться оптимальной? Этому вопросу посвящен раздел окупаемости инвестиций.

Утепление

Итак, утепление наружных стен приводит к тому, что при заданной разности температур внутреннего и наружного воздуха снижаются потери тепла через стены. Следовательно, утепление стен приводит к уменьшению эксплуатационных затрат на отопление при поддержании заданной (комфортной для среднестатистического человека) температуры внутреннего воздуха, например, 20 °С.

Стены из бруса толщиной 150 мм примем в качестве базового варианта. Ранее было получено, что сопротивление теплопередаче R_0 таких стен составляет 0,99 м²·К/Вт, а обратный этой величине коэффициент теплопередачи U_0 , соответственно, 1 Вт/(м²·К).

Понятно, что чем больше толщина слоя теплоизоляции, тем меньшими будут потери тепла. Рассмотрим четыре варианта дополнительного утепления стен дома из бруса, при которых толщина теплоизоляции ($\delta_{ут}$) составит 50, 100, 150 и 200 мм соответственно. Конструкция дополнительного утепления схематично представлена на **рисунке 1**. Для значительной части страны, в том числе, для климатических условий Москвы, Санкт-Петербурга, Московской и Ленинградской областей, условия эксплуатации следует принимать – «Б». Следовательно, теплопроводность слоя теплоизоляции ($\lambda_{ум}$) примем равной 0,039 Вт/(м·К).



Рисунок 1. Конструкция дополнительного утепления наружных стен из бруса
Слева-направо: сайдинг, вентилируемый воздушный зазор, ветрозащитная мембрана, теплоизоляция, установленная в каркас, стена из бруса

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

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

TERRA	Метод испытаний	34 PN
Теплопроводность в условиях эксплуатации «А» – λ_A , Вт/(м·К)	ГОСТ 7076	0,038
Теплопроводность в условиях эксплуатации «Б» – λ_B , Вт/(м·К)	ГОСТ 7076	0,039
Горючесть	ГОСТ 30244	НГ
Плотность, кг/м ³	ГОСТ EN 1602	18,5 - 23
Водопоглощение, кг/м ² , не более	ГОСТ EN 1609 метод А	1
Класс звукопоглощения	ГОСТ 53376-2009	-
Коэффициент	ГОСТ 25898	-

паропроницаемости, мг/мчПа		
Сорбционная влажность, %, не более	ГОСТ 17177	5
Температура эксплуатации, °С	ТУ 5763-007-56864652-2009	От -60 до +220
Геометрические размеры		
Длина, мм	ГОСТ EN 822	1000-1250
Ширина, мм	ГОСТ EN 822	600
Толщина, мм	ГОСТ EN 823	40-220

Тогда, сопротивление теплопередаче утепленных вариантов стены из бруса составит:

- при толщине дополнительного слоя теплоизоляции 50 мм:

$$R_0^{50} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\delta p}}{\lambda_{\delta p}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{1}{23} = 2,27 \left(\frac{M^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

- при толщине дополнительного слоя теплоизоляции 100 мм:

$$R_0^{100} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\delta p}}{\lambda_{\delta p}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,1}{0,039} + \frac{1}{23} = 3,56 \left(\frac{M^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

- при толщине дополнительного слоя теплоизоляции 150 мм:

$$R_0^{150} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\delta p}}{\lambda_{\delta p}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,15}{0,039} + \frac{1}{23} = 4,84 \left(\frac{M^2 \cdot K}{Bm} \right),$$

- при толщине дополнительного слоя теплоизоляции 200 мм:

$$R_0^{200} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\delta p}}{\lambda_{\delta p}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,2}{0,039} + \frac{1}{23} = 6,12 \left(\frac{M^2 \cdot K}{Bm} \right).$$

Однако, в представленном выше расчете не учтено влияние направляющих стоек, к которым крепится облицовка наружных стен (**рисунок 1**). Всеми остальными факторами можно пренебречь, т.к. и в базовом и в утепленном вариантах наружной стены они остаются неизменными. Направляющие стойки, к которым крепятся обрешетка и облицовочный слой, насквозь проходят через толщу утеплителя, вызывая тем самым в местах установки стоек дополнительные (по сравнению с утепленной частью стены) потери тепла.

Для оценки влияния направляющих на уровень теплоизоляции утепленных стен воспользуемся методом, представленном в справочнике [6]. Расстояние между направляющими примем равным 0,6 м, толщину направляющих – 0,05 м. Схематичное изображение рассматриваемого фрагмента стенового ограждения показано на **рисунке 2**.

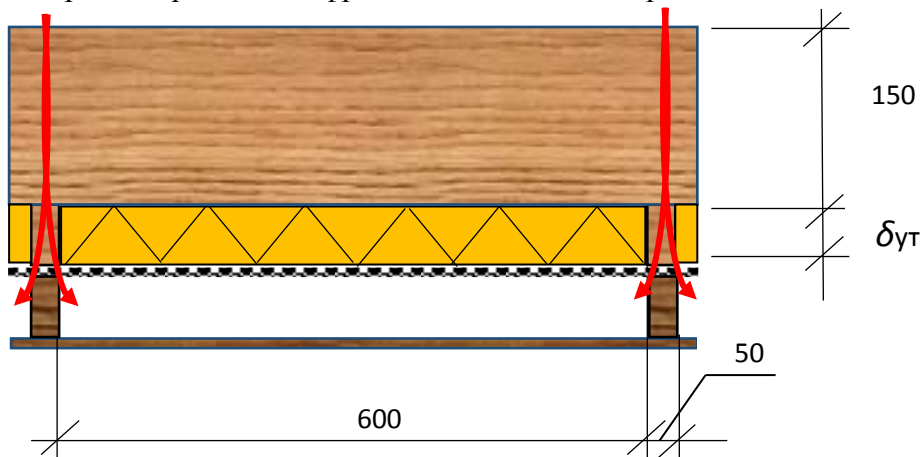


Рисунок 2. Схематичное изображение регулярного (повторяющегося) фрагмента стенового ограждения для расчета его коэффициента теплопередачи с учетом влияния стоек на теплотехническую однородность ограждающей конструкции

Толщину направляющих стоек в расчете будем принимать равной толщине слоя утеплителя. Термическое сопротивление облицовочного слоя будем считать ничтожно малым по сравнению с суммарным термическим сопротивлением остальных слоев. При этом пространство между утеплителем и облицовкой будем считать вентилируемым. В этой связи коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α_n примем равным 10,8 Вт/(м·К) [1].

Тогда при толщине слоя утеплителя 50 мм:

- сопротивление теплопередаче стены по сечению бруса (*бп*) и обрешетке (*обр*) составит:

$$R_{Д} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{бп}}{\lambda_{бп}} + \frac{\delta_{обр}}{\lambda_{обр}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,05}{0,18} + \frac{1}{23} = 1,27 \left(\frac{м^2 \cdot К}{Вт} \right),$$

$$U_{Д} = \frac{1}{R_{Д}} = \frac{1}{1,27} = 0,79 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right);$$

- сопротивление теплопередаче стены по сечению бруса (*бп*) и утеплителя (*ут*):

$$R_{ym} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{бп}}{\lambda_{бп}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{1}{23} = 2,32 \left(\frac{м^2 \cdot К}{Вт} \right),$$

$$U_{ym} = \frac{1}{R_{ym}} = \frac{1}{2,32} = 0,43 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right).$$

С учетом того, что длина направляющих и длина утеплителя примерно одинаковы, расчет приведенного сопротивления теплопередаче можно провести только относительно ширины [6]:

$$U_{np}^{50} = \frac{U_{Д} \cdot b_{Д} + U_{ym} \cdot b_{ym}}{b_{Д} + b_{ym}} = \frac{0,79 \cdot 0,05 + 0,43 \cdot 0,6}{0,05 + 0,6} = 0,46 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right).$$

Аналогичные расчеты для остальных толщин показывают следующие результаты:

- при толщине слоя утеплителя 100 мм:

$$U_{np}^{100} = 0,31 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right);$$

- при толщине слоя утеплителя 150 мм:

$$U_{np}^{150} = 0,23 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right);$$

- при толщине слоя утеплителя 200 мм:

$$U_{np}^{200} = 0,18 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right).$$

При толщине дополнительного слоя утеплителя 150 и 200 мм потери тепла через обрешетку можно уменьшить путем укладки утеплителя в два слоя: один между

вертикальными направляющими обрешетки, второй – между горизонтальными направляющими контробрешетки. В этом случае площадь сквозных включений в слое утеплителя будет значительно уменьшена, что положительно скажется на теплотехнической однородности такого варианта утепления.

Утеплитель устанавливается между направляющими «враспор». По этой причине параметры коррекции [7], характеризующие влияние крепежа на теплотехническую однородность стен, не учитываются.

Окупаемость инвестиций

Итак, мы рассчитали теплоизоляционные характеристики утепленной стены. Учли при этом влияние теплопроводных включений (направляющих стоек, между которыми устанавливаются плиты утеплителя).

Простая окупаемость инвестиций рассчитывается по формуле:

$$T_0 = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (6)$$

где ΔK – дополнительные инвестиции (капитальные затраты) в утепление стен, руб.;

$\Delta \mathcal{E}$ – уменьшение эксплуатационных затрат, достигаемое за счет утепления наружных стен зданий, т.е. экономия денежных средств, которое обеспечивает утепление, руб/год.

Однако, в формуле (6) не учитывается влияние роста тарифов на энергоносители и дисконтирование будущих денежных потоков. В работах [8-10] для дисконтированного срока окупаемости было получено следующее выражение:

$$T_D = \frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]}{\ln \left[\frac{1+r}{1+i} \right]}, \quad (7)$$

которое учитывает как рост тарифов на энергоносители (r), так и дисконтирование будущих денежных потоков (i).

Дополнительные инвестиции в утепление наружных стен дома из бруса ΔK представлены в **таблице 3**.

Таблица 3. Инвестиции в утепление наружных стен

Толщина утеплителя, мм	Инвестиции (капитальные вложения) в утепление ΔK , руб
50	171 560
100	194 530
150	206 160
200	249 190

В состав дополнительных инвестиций на утепление стен ΔK включены стоимость следующих видов работ:

- установка направляющих стоек;
- укладка слоя теплоизоляции;
- установка слоя ветрозащиты;
- установка обрешетки;
- монтаж наружного облицовочного слоя.

и материалов:

- брус из дерева сечением 50×50, 50×100 или 50×150 мм (в зависимости от толщины утеплителя);
- контрбрус (при толщине утеплителя 200 мм);
- утеплитель марки TERRA 34 PN;
- ветрозащитная мембрана марки SEKO A;
- обрешетка;
- наружный облицовочный слой (сайдинг).

Примечание. Представленные в **таблице 3** капитальные затраты на утепление наружных стен из бруса актуальны для следующих федеральных округов: ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФО. Стоимость материалов – рыночная. Стоимость работ соответствует средней по рынку.

Зависимость дополнительных инвестиций от толщины слоя теплоизоляции графически показана на **рисунке 3**. Из графика, представленного на **рисунке 3**, следует, что наиболее интенсивно размер инвестиций возрастает при увеличении толщины утеплителя до 50 мм. В диапазоне толщин от 50 до 150 мм затраты возрастают линейно. При монтаже утеплителя 200 мм затраты возрастают быстрее ввиду необходимости установки контрбруса.

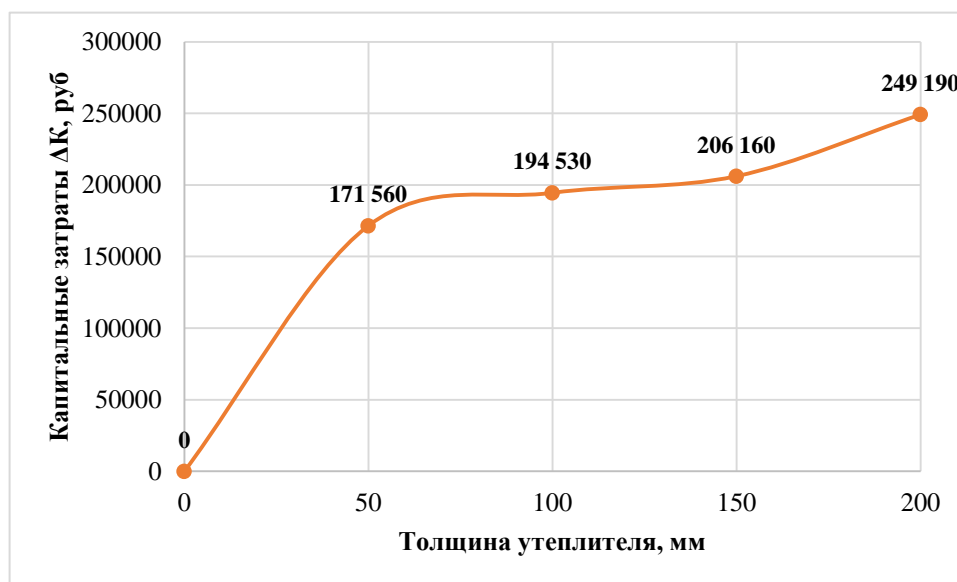


Рисунок 3. Величина инвестиций, направленных на утепление наружных стен при различной толщине утеплителя (50, 100, 150, 200 мм)

Уменьшение эксплуатационных затрат $\Delta \mathcal{E}$, достигаемое в результате утепления наружных стен из бруса толщиной 150 мм, рассчитано по формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{баз}} - \mathcal{E}_{\text{ут}}^{\delta} = \left[0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ст}} \cdot (U_0 - U_{\text{пр}}^{\delta}) \right] \left(\frac{2}{3} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{дн}} + \frac{1}{3} \cdot c_{\text{эл}}^{\text{ночн}} \right) \quad (8)$$

и представлено в **таблице 4**.

В формуле (8) $U_{\text{пр}}^{\delta}$ – полученные ранее расчетным путем численные значения коэффициентов теплопередачи утепленных вариантов наружных стен, $\mathcal{E}_{\text{баз}}$ – то же, что и в формуле (5), $\mathcal{E}_{\text{ут}}^{\delta}$ – эксплуатационные затраты, расходуемые за отопительный сезон на компенсацию потерь тепловой энергии через стены при соответствующей толщине слоя утеплителя ($\delta_{\text{ут}} = 50, 100, 150$ и 200 мм).

Таблица 4. Динамика изменения эксплуатационных затрат, расходуемых на компенсацию потерь тепловой энергии через наружные стены при различной толщине утеплителя, в том числе при толщине утеплителя 0 (стена без утеплителя)

Толщина утеплителя, мм	Величина эксплуатационных затрат на отопление, расходуемых на компенсацию потерь тепловой энергии через стены, руб/год	Величина годовой экономии эксплуатационных затрат $\Delta \mathcal{E}$, руб/год
0	54 500	-
50	25 043	29 457
100	16 860	37 640
150	12 496	42 004
200	9 768	44 732

Из данных, представленных в **таблице 4**, следует, что уже при толщине утеплителя 50 мм затраты на отопление после окончания первого отопительного сезона окажутся более, чем в 2 раза меньше по сравнению с эксплуатационными затратами исходного, не утепленного, дома.

Величина эксплуатационных затрат, расходуемых в течение отопительного сезона на компенсацию потерь тепла через стены, при различной толщине утеплителя и при отсутствии утеплителя ($\delta_{ym} = 0$ мм) графически представлена на **рисунке 4**.

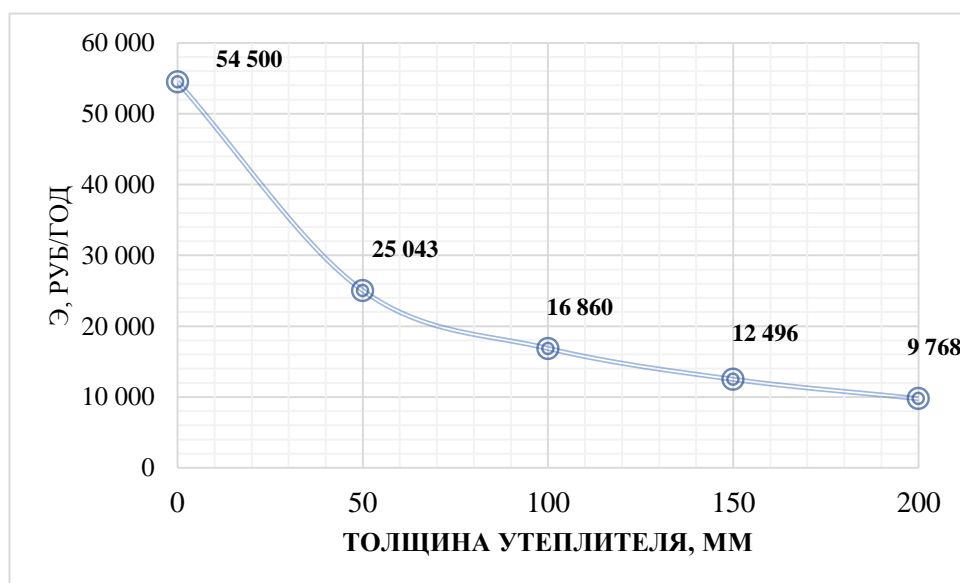


Рисунок 4. Величина эксплуатационных затрат, расходуемых в течение отопительного сезона на компенсацию потерь тепла через стены, при различной толщине утеплителя (0, 50, 100, 150, 200 мм)

Величина годовой экономии денежных средств, руб/год, достигаемая в результате утепления наружных стен деревянного дома при различной толщине утеплителя представлена графически на **рисунке 5**. Базовый вариант (толщина утеплителя 0 мм) не рассматривается, т.к. экономии не дает.

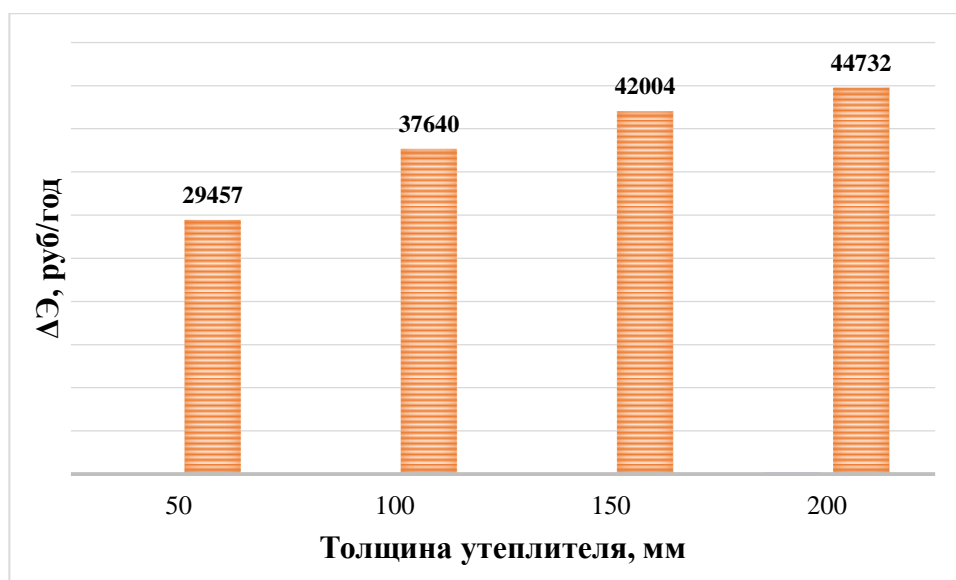


Рисунок 5. Величина годовой экономии денежных средств, руб/год, достигаемая в результате утепления наружных стен деревянного дома при различной толщине утеплителя (50, 100, 150, 200 мм)

На основании полученных данных рассчитаем по формуле (7) дисконтированный срок окупаемости инвестиций в дополнительное утепление наружных стен дома из бруса. Динамику роста тарифов на энергоносители примем равным 12 %/год, т.е. величину r в формуле (7) примем равным 0,12. В качестве индекса дисконтирования примем среднюю по региону ставку по депозитам (как альтернативный вариант инвестирования денежных средств) в надежном банке – 8 %/год, т.е. величину i в формуле (7) примем равной 0,08.

Рассчитанные по формуле (7) значения дисконтированного срока окупаемости представлены в **таблице 5** и на **рисунке 6**.

Таблица 5. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций в утепление

Толщина утеплителя, мм	Дисконтированный срок окупаемости, лет
50	5,4
100	4,8
150	4,6
200	5,2

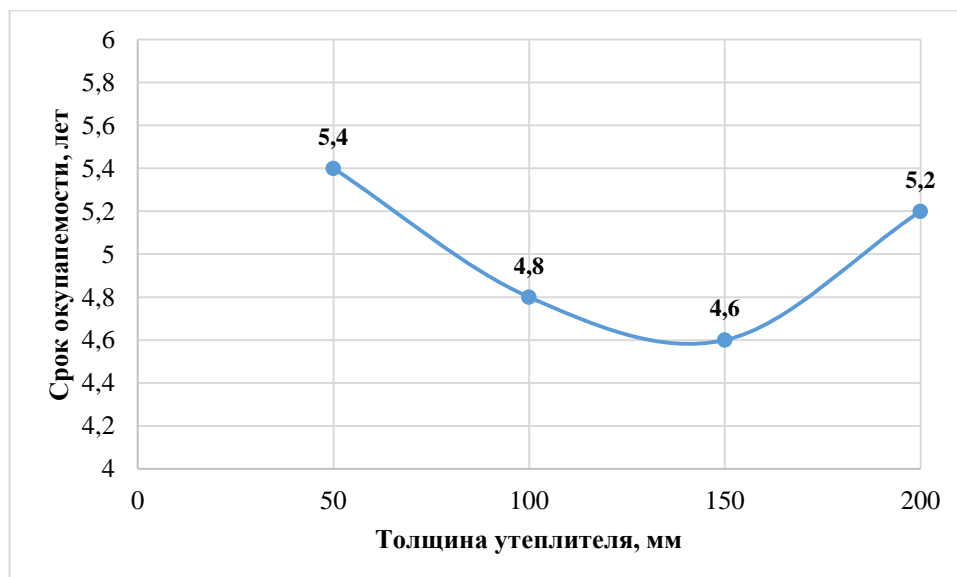


Рисунок 6. Зависимость срока возврата инвестиций в утепление от толщины слоя теплоизоляции

Из данных, представленных в **таблице 5** и на **рисунке 6**, следует, что минимальный срок окупаемости соответствует толщине утеплителя 150 мм. Однако, при любой толщине слоя утеплителя, дисконтированный срок окупаемости не превышает 6 лет, а точнее – шести полных отопительных сезонов, что свидетельствует о быстрой окупаемости инвестиций в утепление. При монтаже утеплителя и облицовки собственными силами (без привлечения специализированной строительной организации) срок окупаемости окажется еще меньше. Таким образом, **утепление наружных стен деревянного дома из бруса целесообразно во всех случаях.**

Дополнительные преимущества наружного утепления

К сказанному выше следует отметить также несколько важных дополнений.

Первое, за счет дополнительного утепления, стена из бруса оказывается в зоне положительных температур в течение всего отопительного периода. Если до утепления брус в стене испытывал знакопеременные температурные воздействия, что негативно сказывалось на его эксплуатационном состоянии, то после утепления эти воздействия становятся минимальными и можно ожидать увеличение эксплуатационного срока службы всего дома. Наружное утепление защищает основание стены не только от воздействий отрицательных температур, но и от солнечной радиации в летний режим эксплуатации.

Второе. При наружном утеплении стен точка росы смещается из плоскости стены в плоскость утеплителя, что также положительно сказывается на эксплуатационном состоянии деревянных стен, и может приводить к улучшению параметров микроклимата в доме.

Третье. Утепление повышает степень капитализации дома, а следовательно, его рыночную стоимость. В случае продажи дома, вложенные в утепление средства могут быть частично или полностью компенсированы.

Четвертое. Утепление дома приводит к уменьшению эксплуатационных расходов на отопление при поддержании заданной температуры внутреннего воздуха.

Пятое. Наружная облицовка фасадов уменьшает так называемые инфильтрационные потери тепла, возникающие в результате воздухопроницания деревянных стен из бруса. Таким образом, наружное утепление сокращает потери тепла не только за счет утепления, но также и за счет сокращения инфильтрационных потерь через стены.

Шестое. Наружное утепление дома (не только стен) позволит включать отопление позже расчетного срока (в начале отопительного периода) и выключать раньше (в окончательной фазе отопительного сезона), что приведет к сокращению расчетной продолжительности отопительного периода z_{om} .

Заключение

Дома из бруса являются одним из наиболее экономичным и экологичных вариантов строительства жилого загородного дома. Однако, низкий уровень тепловой защиты таких домов и высокая воздухопроницаемость стен обуславливают значительные эксплуатационные издержки при круглогодичном проживании. Одним из способов снижения затрат на отопление загородного дома является его утепление. Утепление наружных стен приводит к уменьшению потерь тепловой энергии через стены, следовательно, требует меньших расходов энергоносителей для компенсации потерь и поддержания в доме комфортных условий для проживания. **Наружное утепление обеспечивает уменьшение потерь тепла не только за счет теплоизоляции, но и за счет уменьшения воздухопроницаемости наружных стен.**

Однако, любое утепление требует дополнительных инвестиций, которые окупаются за счет сокращения эксплуатационных издержек. **Для климатических условий Московской области прогнозируемый срок окупаемости дополнительных инвестиций в утепление деревянного дома из бруса составляет от 4,6 до 5,4 лет. Минимальный период окупаемости (4,6 лет) достигается при толщине слоя утеплителя 150 мм.**

Утепление наружных стен из бруса не только сокращает затраты домохозяйств на отопление, но и приводит к увеличению долговечности основания стен, росту рыночной стоимости дома и повышению уровня комфорта жильцов.

Список литературы:

1. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
3. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
4. СП 131.13330.2011 Строительная климатология.
5. Распоряжение Комитета по ценам и тарифам Московской области № 168-Р от 18.12.2015 Об установлении на 2016 год цен (тарифов) на электрическую энергию для населения Московской области.
6. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с.
7. ISO 6946-2007 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.
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. Технико-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. Технико-экономическое обоснование по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 93-115.