



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН КАРКАСНОГО ДОМА

ЧАСТЬ 1

А. С. Горшков, А. Г. Керник

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

Рассмотрим целесообразность утепления наружных стен каркасного дома, предназначенного для постоянного проживания. Выводы основаны, во-первых, на результатах расчета сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи наружных стен при различной толщине утеплителя, выполненного с учетом влияния теплопроводных включений. Во-вторых, они основаны на определении капитальных затрат на утепление при различной толщине дополнительного слоя теплоизоляции. В итоге рассчитана оптимальная толщина слоя утеплителя, соответствующая минимальному сроку окупаемости дополнительных инвестиций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

индивидуальный жилой дом, наружные стены, деревянный каркас, фасады, теплоизоляция, дополнительное утепление, энергосбережение, энергетическая эффективность, инвестиции, окупаемость

Современные технологии строительства и применяемые при строительстве материалы позволяют строить каркасные дома, которые не уступают каменным 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, тем меньшего расхода энергоресурсов (топлива) требует здание.

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.

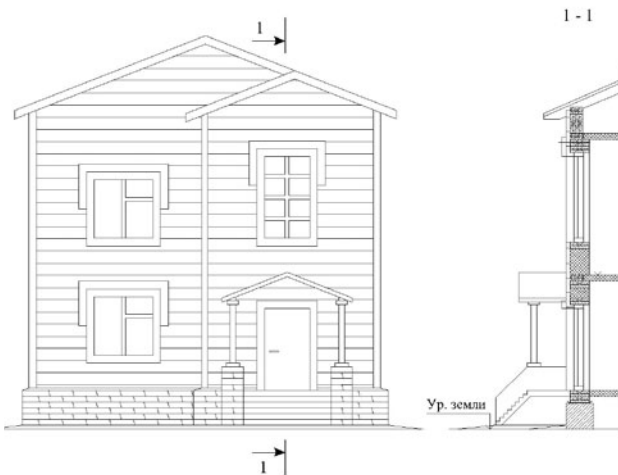


Рис. 1. Фасад и разрез объекта исследования

А. С. Горшков,

канд. техн. наук, директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

А. Г. Керник,

руководитель группы технической поддержки продаж ООО «УРСА Евразия»

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_A инвестиций в доутепление ограждающих конструкций дома окажется минимальным: $T_A = f(\delta_{yr}) \rightarrow \min$.

Объект и цель исследования

Рассмотрим типовой каркасный дом площадью 150 м² (рис. 1). Площадь наружных стен $A_{ст}$ примем равной 175 м².

В качестве несущего каркаса рассмотрим наиболее распространенный вариант – деревянный брус сечением 150×50 мм.

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

Месторасположение объекта: Московская область.

Рассчитаем потери тепловой энергии через наружные стены рассматриваемого объекта исследования, а также оценим прогнозируемые сроки окупаемости для четырех вариантов утепления наружных стен (см. рис. 2) толщиной 50, 100, 150 и 200 мм.

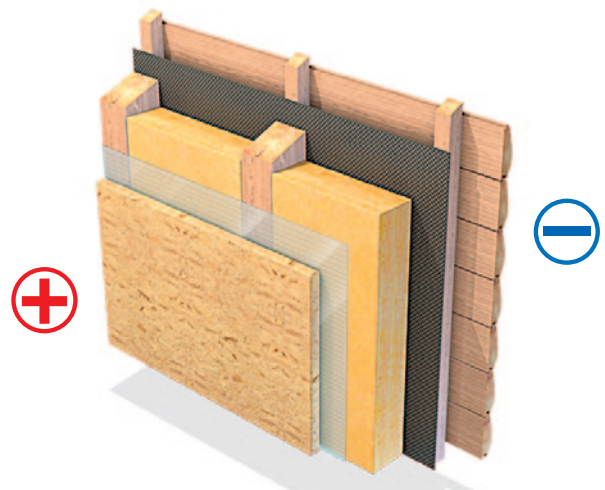


Рис. 2. Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены каркасного дома

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/м³	ГОСТ EN 1602	18,5–23,0
Водопоглощение, кг/м², 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
Геометрические размеры		
Длина, мм	ГОСТ EN 822	1 000–1 250
Ширина, мм	ГОСТ EN 822	600
Толщина, мм	ГОСТ EN 823	40–220

В качестве слоя теплоизоляции примем теплоизоляционные изделия из минеральной ваты на синтетическом связующем марки TERRA 34 PN (см. табл. 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 в данном исследовании не рассматривается, поскольку, как правило, не подходит для круглогодичного проживания или окажется некомфортным.

Определение дополнительных инвестиций

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 м².

Затраты на монтаж дополнительной теплоизоляции (сверх базовых 50 мм) представлены в табл. 2. Дополнительные затраты на утепление получены исходя из стоимости теплоизоляции 1 200 руб./м³ и рассчитаны по сравнению с базовым вариантом утепления (50 мм), то есть 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 потребуются установить контрбрус толщиной 50 мм для укладки последних 50 мм минеральной ваты. В этом случае стоимость работ непропорционально возрастает (отражено в табл. 2).

Стоимости работы по монтажу теплоизоляции с толщами 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.

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружных стен с увеличением толщины теплоизоляции при переходе от толщины 150 мм к толщине 200 мм возрастают более резко (табл. 2). Это обстоятельство обусловлено изменением конструктивной схемы наружных стен ввиду

Таблица 2 Капитальные затраты на установку дополнительного слоя теплоизоляции

Толщина слоя теплоизоляции, мм	Капзатраты*, руб
100	12 600
150	25 200
200	51 840

*Представленные капзатраты 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.



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).

Оценка уровня теплоизоляции

Уровень теплоизоляции наружных стен может быть оценен с использованием значений сопротивления теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и коэффициента теплопередачи U_0 , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Данные теплофизические характеристики являются обратно пропорциональными друг другу, то есть $U_0 = 1/R_0$ [1].

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

Сопротивление теплопередаче вариантов стенового ограждения при различной толщине слоя теплоизоляции рассчитано по известной формуле $R_0 = \frac{1}{\alpha_a} + \sum_{(i)} \frac{\delta_i}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_n}$ (СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»).

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

В результате расчета сопротивление теплопередаче рассматриваемых вариантов стеновых ограждений при различной толщине слоя теплоизоляции составило¹: при 50 мм (базовый вариант) – $R_0^{50} = 1,49$, при 100 мм – $R_0^{100} = 2,77$; при 150 мм – $R_0^{150} = 4,07$; при 200 мм – $R_0^{200} = 5,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Из рис. 2 видно, что контур утепления не является сплошным, – деревянные стойки каркаса разрывают контур утепления на всю толщину слоя теплоизоляции, то есть представляют собой сквозные линейные теплопроводные

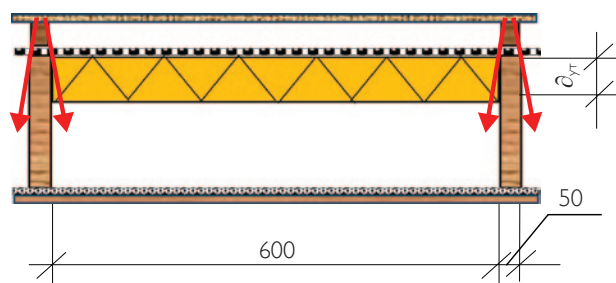
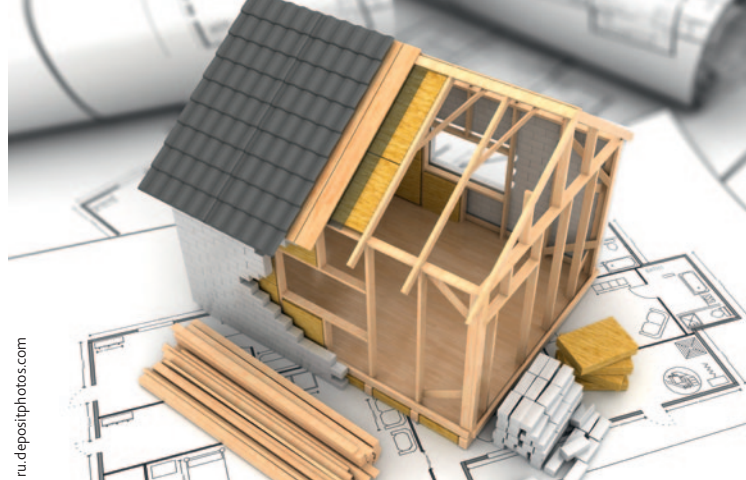


Рис. 4. Схематичное изображение регулярного (повторяющегося) фрагмента стенового ограждения для расчета его коэффициента теплопередачи с учетом влияния стоек на теплотехническую однородность ограждающей конструкции

¹ Расчет представлен в полной версии статьи на сайте: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7310.



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, представленным в справочнике [2]. Расстояние между деревянными стойками каркаса примем равным 0,6 м, толщину направляющих – 0,05 м (рис. 4).

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 рис. 4). Термическое сопротивление внутреннего и наружного облицовочных слоев, толщина которых, как правило, существенно ниже, чем у несущих и утепляющих слоев, будем считать ничтожно малым.

Пространство между утеплителем и облицовкой будем считать вентилируемым.

Тогда при толщине слоя утеплителя 50 мм сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопередачи стены:

- по сечению стоек деревянного каркаса (k) составят соответственно $R_k = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и $U_k = 2,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,
- по сечению утеплителя (ym) – $R_{yt} = 1,49 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и $U_{yt} = 0,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

С учетом того, что высота стоек каркаса и слоя утеплителя примерно одинаковы, расчет коэффициента теплопередачи можно провести только относительно ширины рассмотренного на рис. 4 фрагмента стенового ограждения [2], для которого получили $U_{np}^{50} = 0,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Аналогичные расчеты, выполненные для других толщин слоя утеплителя, дают следующие результаты: $U_{np}^{100} = 0,44$; $U_{np}^{150} = 0,31$; $U_{np}^{200} = 0,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Продолжение статьи читайте в следующем номере журнала «Энергосбережение»

Литература

1. ISO 6946-2007. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.
2. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004. 480 с. ■