



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

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

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН КАРКАСНОГО ДОМА ЧАСТЬ 2

А. С. Горшков, А. Г. Керник

Рассчитав величину сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи наружных стен при различной толщине утеплителя для подмосковного типового каркасного дома площадью 150 м², где в качестве несущего каркаса использован деревянный брус сечением 150×50 мм, перейдем к определению затрат на его утепление и оптимальной толщины слоя утеплителя, соответствующей минимальному сроку окупаемости дополнительных инвестиций.

Расчет потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции

Средние за отопительный период потери тепловой энергии через стены дома $Q_{ст}$, Гкал, заданной толщины и заданного состава рассчитываются по формуле (1). 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 выражения (2).

² См. журнал «Энергосбережение» № 6–2019.

Расчет эксплуатационных затрат

Разница эксплуатационных затрат, достигаемая за счет дополнительного утепления наружных стен в течение одного нормативного отопительного периода, может быть рассчитана по формуле (3). Размер платы за пользование природным газом на отопление жилых домов, расположенных на территории Московской области, $C_{ст}$, составляет 5,14 руб./м³ (распоряжение Комитета по ценам и тарифам Московской области от 10 июня 2016 года № 74-Р).

Результаты расчета эксплуатационных затрат графически представлены на рис. 1.

Расчет периода окупаемости

Прогнозируемый срок окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление наружных стен, рассчитаем по формуле (4).

В отличие от формулы (5), используемой для расчета простой (бездисконтной) окупаемости, формула (4) позволяет учесть не только затраты на утепление и эксплуатационные расходы на отопление ΔK , 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 $\Delta C_{ст}$ составляет примерно 12 % в год. Таким образом, среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию в формуле (4) 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) и 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 в формуле (4) примем равным 0,1.

Рассчитаем по формуле (4) прогнозируемый период окупаемости дополнительных затрат на утепление при различной толщине слоя теплоизоляции, то есть интервал времени, по истечении которого инвестиции в дополнительное утепление стен каркасного дома окупятся (по сравнению с базовым вариантом утепления: $\delta_{ут} = 50$ мм).

Результаты расчета представлены в таблице, из которой видно, что наиболее полно условию $T_{\Delta} = f(\delta_{ут}) \rightarrow \min$ удовлетворяет толщина теплоизоляции 150 мм: при ней дисконтированный срок окупаемости дополнительных инвестиций, направленных на утепление наружных стен рассматриваемого дома, оказывается минимальным (менее 5 лет).

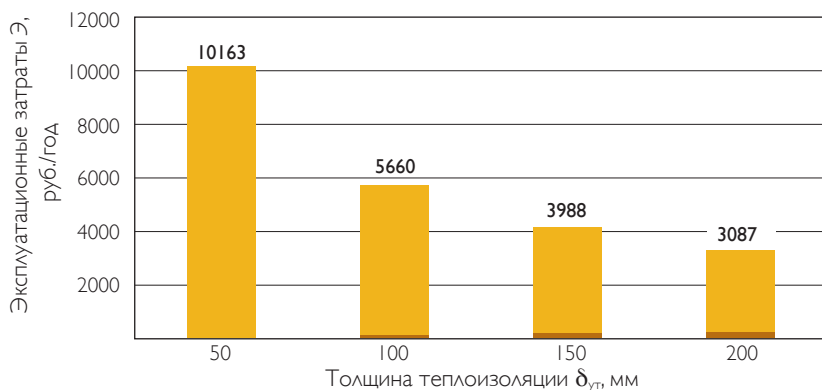


Рис. 1. Эксплуатационные затраты, расходуемые в течение одного нормативного отопительного сезона на компенсацию потерь тепловой энергии через стены

Номер формулы в тексте	Формула	Источник формулы
(1)	$Q_{ст} = \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot U_0 \cdot A_{ст}}{1163}$	[1]
(2)	$\Delta Q = Q_{баз} - Q_{ут} = \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot (U_{пр}^{50} - U_{пр}^i) \cdot A_{ст} \cdot 859,8}{k \cdot Q_T}$	
(3)	$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot C_T$	[1]
(4)	$T_{\Delta} = -\frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]}{\ln \left[1 + \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]}$	[2–4]
(3)	$T_0 = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}$	[2]

Обозначения в формулах

K_0 – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²•К)
 ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С•сут (см. *)
 0,024, 1163 – коэффициенты перевода величин в формулах (1) и (2)
 $A_{ст}$ – площадь наружных стен, м²
 ΔQ – экономия тепловой энергии, достигаемая за счет дополнительного утепления наружных стен, кВт•ч
 $U_{пр}^{50}$ – коэффициент теплопередачи базового варианта наружных стен (с толщиной утеплителя 50 мм), м²•К/Вт
 $U_{пр}^i$ – коэффициент теплопередачи наружных стен с большей толщиной слоя теплоизоляции ($\delta_i = 100, 150$ и 200 мм), м²•К/Вт
 859,8 – коэффициент перевода (1 кВт•ч = 859,8 ккал) в формуле (2)
 η^k – коэффициент полезного действия газового котла
 Q_T – теплотворная способность газового топлива, ккал/м³; 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/м³
 $\Delta \mathcal{E}$ – разница эксплуатационных затрат, руб./год
 C_T – стоимость природного газа, руб./м³
 ΔK – разница капитальных затрат на возведение утепленного ($K_{ут}$) и базового ($K_{баз}$) вариантов наружных стен (фасадов) рассматриваемого объекта недвижимости, руб.
 $\Delta \mathcal{E}$ – разность потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции до ($\mathcal{E}_{баз}$) и после утепления базового варианта наружных стен ($\mathcal{E}_{ут}$) дома, руб./год
 r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию
 i – процентная ставка дисконтирования

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

Толщина слоя теплоизоляции $\delta_{ст}$, мм	Дополнительные капитальные затраты ΔK , руб.	Разница эксплуатационных затрат $\Delta \Delta$, руб./год	Дисконтированный срок окупаемости T_A , год
100	19 550	4 503	5,1
150	26 150	6 175	4,9
200	51 840	7 076	8,3



Кроме этого, при толщине несущих стоек каркаса 150 мм и толщине утеплителя 150 мм обеспечивается плотное прилегание ветрозащитного слоя к утеплителю (см. рис. 2 в первой части статьи). 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 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 их неравномерную деформацию. При

наличии средств для повышения надежности и долговечности несущих элементов деревянного каркаса дома рекомендуется производить утепление таким образом.

Подводя итог, можно утверждать следующее:

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 меньше 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 за 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.

Литература

- Горшков А. С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии. СПб., 2013.
- Горшков А. С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 136–146.
- 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.
- 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. ◆

* Климатические характеристики района строительства

Расчетные климатические характеристики района строительства приняты на основании данных СП 131.13330.2011 «Строительная климатология» и необходимы для оценки потенциала энергосбережения и экономического эффекта, достигаемого при большей толщине утеплителя.

Расчетные климатические характеристики Московской области

Показатель	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 (ГСОП), °С•сут./год	4 990
Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}$ (по ГОСТ 30494–2014 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата»), °С	20