УДК 699.865

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОКУПАЕМОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ

Блажнов Александр Александрович
канд. техн. наук, доцент, SPIN-код: 2530-4598

Алибекова Ирина Владимировна
канд. техн. наук, доцент, SPIN-код: 8553-0297

Глухова Лилия Рамильевна
старший преподаватель, SPIN-код: 6030-3335

Кулакова Евгения Владимировна
канд. техн. наук, доцент, SPIN-код: 6971-3120
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орёл, Россия

Каверзнева Татьяна Тимофеевна
канд. техн. наук, доцент, SPIN-код: 9801-3490
ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия

Утепление ограждающих конструкций здания обеспечивает экономию затрат на отопление. Применяются различные способы наружного утепления стен. В статье рассмотрен наиболее распространённый способ теплоизоляции здания - «мокрый фасад». При этом способе в качестве теплоизоляционного материала используются прикрепляемые к стене плиты из минеральной ваты или пенополистирола. Строительные нормы ограничивают срок окупаемости утепления десятью годами. Цель исследования предусматривала предложить способ прогнозирования окупаемости теплоизоляционных работ. Установлен алгоритм достижения цели, выведены формулы для определения прогнозируемых значений экономии затрат на отопление и срока окупаемости инвестиций на утепление ограждающих конструкций дома, показано увеличение срока окупаемости единовременных затрат с увеличением толщины теплоизоляции. Предложенный способ прогнозирования срока окупаемости единовременных затрат возможно использовать при различных вариантах тепловой защиты здания

Ключевые слова: ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ

http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-222-005

UDC 699.865

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

FORECASTING THE PAYBACK OF BUILDING THERMAL PROTECTION

Blazhnov Alexander Alexandrovich
Cand.Tech.Sciences, associate Professor
RSCI SPIN code: 2530-4598

Alibekova Irina Vladimirovna
Cand.Tech.Sciences, associate Professor
RSCI SPIN code: 8553-0297

Glukhova Liliya Ramilievna
senior teacher, SPIN code: 6030-3335,

Kulakova Evgenia Vladimirovna
Cand.Tech.Sciences, associate Professor
SPIN code: 6971-3120
Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhina, Oryol, Russia

Kaverzneva Tatyana Timofeevna
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
SPIN-code: 9801-3490
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

Thermal insulation of building envelope structures ensures savings on heating costs. Various methods of external wall insulation are used. The article examines the most common method of building thermal insulation - the "wet facade". In this method, mineral wool or polystyrene foam boards attached to the wall are used as the thermal insulation material. Building codes limit the payback period for insulation to ten years. The objective of the research was to propose a method for predicting the payback period of thermal insulation works. An algorithm for achieving this objective has been established, formulas have been derived to determine the projected values of heating cost savings and the payback period for investments in insulating the building's envelope structures, and an increase in the payback period for one-time costs with increasing insulation thickness has been shown. The proposed method for predicting the payback period of one-time costs can be used with various options for building thermal protection

Keywords: THERMAL PROTECTION OF THE BUILDING, FORECASTING THE RETURN ON INVESTMENT

Введение

Одним из вариантов снижения тепловых потерь зданием является утепление наружных ограждающих конструкций. За рубежом и в нашей стране распространение получило утепление стен так называемым способом «мокрый фасад». Такое название способа обусловлено использованием в процессе выполнения работ влажных строительных смесей. Процесс утепления стен состоит из крепления теплоизоляционного материала к утепляемой стене клеем и тарельчатыми дюбелями, нанесения на утеплитель базового штукатурного армированного стеклосеткой слоя, устройства декоративного отделочного слоя (рис.1).

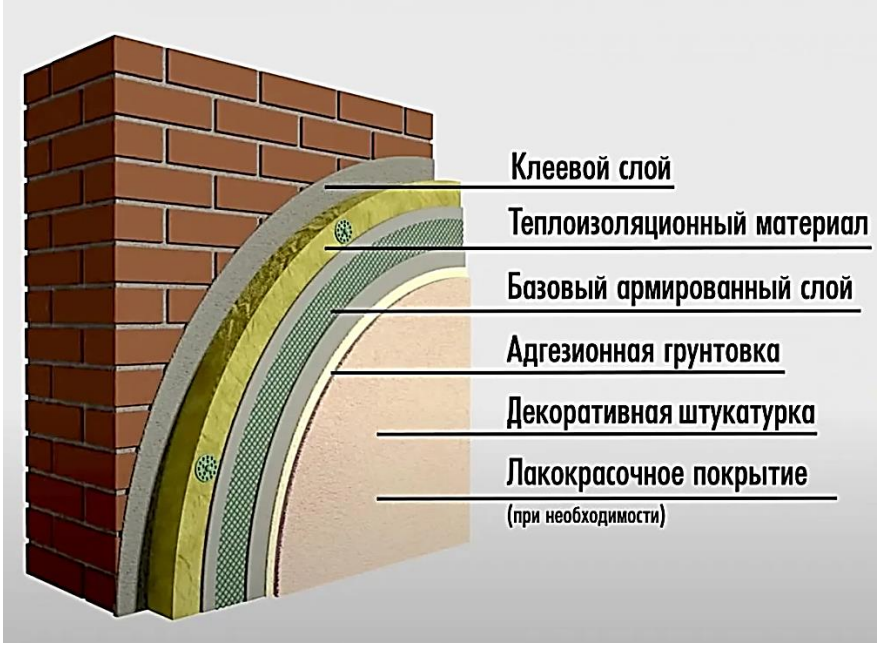


Рисунок 1 – Утепление стены способом «мокрый фасад»

В качестве теплоизоляционного материала используются жёсткие плиты из минеральной (каменной) ваты плотностью 120 - 150кг/м^3 (Технониколь Технофас Оптима, Baswool (Басвул) Фасад, фасадные плиты Роквул и др.) или пенополистирольные фасадные плиты по ГОСТ 15588-2014). Применяемые материалы характеризуются различными

теплотехническими и стоимостными показателями, влияющими на толщину теплоизоляционного слоя и срок окупаемости затрат на утепление ограждающих конструкций. По требованиям свода правил [1] срок окупаемости утепления ограждающих конструкций здания не должен превышать 10 лет.

Цель исследования - предложить способ прогнозирования окупаемости затрат на утепление наружных ограждающих конструкций здания.

Методика исследования – результаты получены аналитически.

Результаты исследования

Затраты на утепление здания должны окупаться экономией затрат на его отопление. Прогнозируемый срок окупаемости затрат на утепление можно определить приравняв удельные значения стоимости теплоизоляции и сэкономленных средств на отоплении утеплённого здания за N лет

$$С_{ед} = \sum_1^N Э_{от.i} \quad , \qquad (1)$$

где $С_{ед}$ - единовременные затраты на утепление стены, руб/ м^2; $Э_{от.i}$ - экономия затрат на отопление в i-ом году, руб/м^2.

Рассматривая процесс теплопередачи через ограждение как стационарный [2], годовую экономию тепла после устройства теплоизоляции можно определить на основании следующего выражения

$$Q = Q_1 - Q_2 = \frac{t_в - t_{от.пер.}}{R_в + R_1 + R_н} \cdot z - \frac{t_в - t_{от.пер.}}{R_в + R_1 + R_2 + R_н} \cdot z =$$

$$\left(t_в - t_{от.пер.}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_{o1} R_{o2}}\right) \cdot z \quad , \qquad (2)$$

где Q_1 и Q_2 - соответственно тепловые потери неутеплённой и утеплённой стены через 1м^2 в течение отопительного периода; $t_в$ – расчётная температура внутри жилого помещения, оптимальное значение которой по ГОСТ 30494-2011«Здания жилые и общественные. Параметры

микроклимата в помещениях» равно 20-22 ^{o} С; $t_{от.пер.}$ - средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, ^{o}С , принимаемая по СП 131.13330.2025 Строительная климатология; z - продолжительность отопительного периода в течение года, сут., со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 ^{o}С. , также принимаемая по СП 131.13330.2025; $R_{в}$и $R_{н}$ - термическое сопротивление восприятию и отдаче тепла соответственно у внутренней и наружной поверхности стены; R_1и R_2 – термическое сопротивление соответственно неутеплённой стены и теплоизоляционного слоя; R_{o1} и R_{o2} - общее сопротивление теплопередаче соответственно неутеплённой и утеплённой стены.

Сэкономленные затраты на отопление без их дисконтирования за определённый период времени N, год, можно определить на основании следующего выражения

$$\sum_1^N Э_{от.i} = Q \sum_1^N C_i \ , \quad (3)$$

где Q - годовая экономия тепла; C_i - тариф на отопление природным газом в i – ом году.

Стоимость тепловой энергии ежегодно возрастает и по ряду причин (компенсация экспортных потерь, реализация масштабных программ газификации и поддержание добычи и др.) опережает инфляцию[3]. Например, розничная цена на 1000 м^3 природного газа для отопления помещений физическими лицами в Орловской обл. в 2026г. увеличена на 11%, рост инфляции составил около 6%[4,5].

С допущением приняв ежегодное увеличение стоимости розничной цены на газ за постоянную среднюю величину, выражение суммы затрат на газовое отопление в (3) можно заменить суммой первых N членов геометрической прогрессии

$$\sum_1^N C_i = \frac{C_N \cdot q - C_1}{q-1} = \frac{C_1(q^N-1)}{q-1} \ , \quad (4)$$

где q - знаменатель прогрессии, характеризующий прогнозируемое среднее ежегодное увеличению тарифа на газ; C_1 и C_N- розничная цена на газ соответственно начальная и в N году.

С учётом полученных выражений (2) и (4) экономия затрат на отопление за первых N лет составит

$$\sum_1^N Э_{от.i} = \left(t_в - t_{от.пер.}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_{o1}R_{o2}}\right) \cdot z \cdot \frac{C_1(q^N-1)}{q-1} \quad (5)$$

Стоимость денег с течением времени снижается [6]. В связи с этим для приведения отдалённой экономии затрат на отопление к начальному периоду значение показателя знаменателя прогрессии q в выражении (5) должно быть уменьшено на прогнозируемый среднегодовой рост инфляции

$$q = (1 + \frac{p}{100}) - (1 + \frac{i}{100}) \ , \quad (6)$$

где p и i – соответственно прогнозируемые значения среднего роста тарифа на природный газ и инфляции, % .

Отделив постоянные и переменные члены выражения (5), получим

$$\sum_1^N Э_{от.i} = A(q^N - 1) \quad (7)$$

Приравняв единовременные затраты на утепление стены и сэкономленные за первые N лет эксплуатационные расходы на отопление, после преобразований определим прогнозируемую продолжительность окупаемости единовременных затрат N

$$C_{ед} = A \cdot (q^N - 1) \quad (8)$$

откуда $$N = \frac{lg\left(\frac{C_{ед}}{A}+1\right)}{lgq} \ , \quad (9)$$

где $$A = \left(t_в - t_{от.пер.}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_{o1}R_{o2}}\right) \cdot z \cdot \frac{C_1}{q-1} \quad (10)$$

$$q = 1 + \frac{(p-i)}{100} \quad (11)$$

В качестве примера установлены прогнозируемые сроки окупаемости затрат на утепление фасада индивидуального жилого дома в г. Орле в зависимости от толщины слоя теплоизоляции, вычисленные по формуле (9). Для прогноза рассматривались следующие исходные данные: утепляемые стены толщиной 51см из силикатного кирпича (рис.2); продолжительность и среднесуточная температура отопительного периода соответственно 195 сут. и -1,8 °С; расчётная внутренняя температура 20°С по ГОСТ 30494-2011; теплоизоляционный слой толщиной от 50 до 250 мм принимался в двух вариантах: плиты из минеральной (каменной) ваты и пенополистирольных фасадных плит по ГОСТ 15588-2014; тариф на газ для отопления жилого дома – 9,17руб/м^3 (1,21 руб/1000ккал); максимальный рост тарифа за коммунальные услуги с 01.10. 2026 г. для Орловской обл. 15% [7]; рост инфляции по официальным данным не более 6% [8].

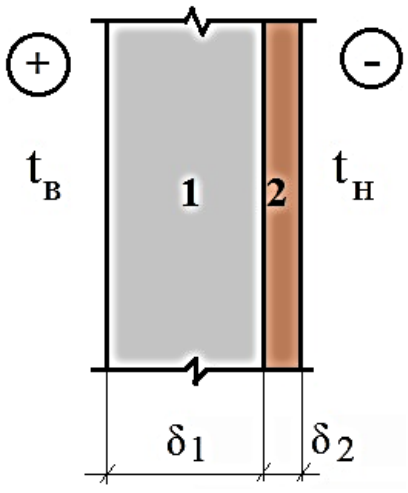


Рисунок 2 – Схема утепления однослойной стены способом «мокрый фасад»: 1 – утепляемая стена; 2 – теплоизоляционный слой

Единовременные затраты на утепление 1м^2 стены и соответствующее снижение годовых тепловых потерь при различных вариантах утепления приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Единовременные затраты на утепление стены и снижение годовых тепловых потерь при различных вариантах утепления фасада

Вид утеплителя	Толщина теплоизоляционного слоя, мм				
	50	100	150	200	250
Минераловатные плиты Rockwool плотностью 150 кг /м^3	2284 96	2863 115,1	3442 123,25	4020 127,84	4600 130,8
Пенополистирольные фасадные плиты ППС 15 Ф	2046 100,8	2386 118,15	2726 126,0	3066 129,9	3406 132,43

Примечание. В числителе указаны единовременные затраты, руб, на утепление стены, в знаменателе - снижение тепловых потерь за год, тыс.ккал.

При определении прогнозируемого срока окупаемости затрат на утепление ограждающих конструкций учитывались факторы, сокращающие длительность этого периода: выполнение работ принято собственными силами; стоимость строительных материалов по возможности определялась по оптовым ценам. Изменение прогнозируемых сроков окупаемости приведено на рис.3.

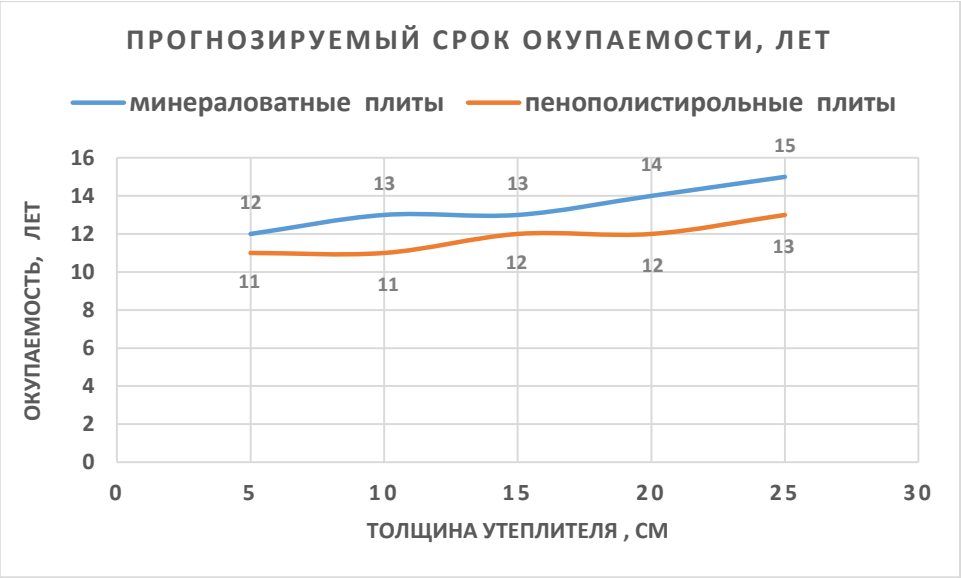


Рисунок 3 – Прогнозируемые сроки окупаемости утепления стен жилого дома без капитализации доходов от сэкономленных затрат на отопление

Если доходы от сэкономленных затрат на отопление утеплённого дома будут капитализироваться (размещаться в банке под процент), то свод правил [1,формула (Г.9)] дисконтированный срок окупаемости мероприятий по утеплению ограждающих конструкций $T_{ок}$ рекомендует определять по нижеприведенной формуле (12). Величина $T_{ок}$ при капитализации промежуточных доходов меньше, чем при дисконтировании

$$T_{ок} = \frac{ln(1+T_o p/100)}{ln(1+p/100)} \quad , \qquad (12)$$

где T_0 - бездисконтный срок окупаемости, лет, рассчитываемый по формуле

$$T_0 = C_{ед}/\Delta Э \quad , \qquad (13)$$

где $C_{ед}$- единовременные затраты на утепление ограждения, руб.; ΔЭ - снижение годовых эксплуатационных расходов Э на тепловую энергию за счет энергосбережения, руб./год.

Вычисленные прогнозируемые сроки окупаемости для двух вариантов утепления ограждающей конструкции по формуле (12) приведены на

рис.4. Свод правил [1, прил. Г)] устанавливает срок окупаемости затрат на утепление не более 10 лет.

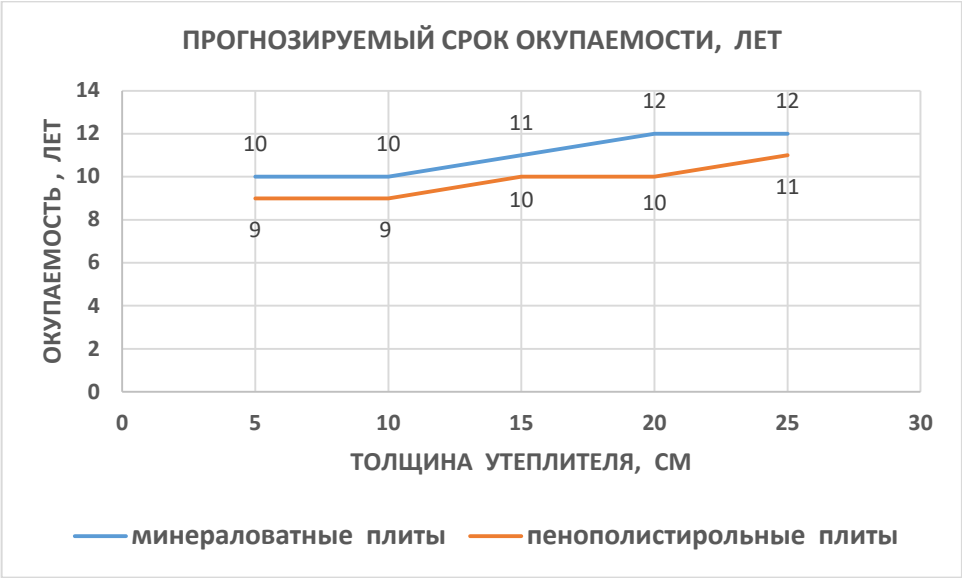


Рисунок 4

Заключение:

1. Предложен способ определения прогнозируемого срока окупаемости утепления стен здания способом «мокрый фасад». Способ прогнозирования может использоваться при других вариантах утепления фасадов зданий.

2. Выведены формулы для определения прогнозируемых значений экономии затрат на отопление и срока окупаемости капиталовложений на утепление ограждающих конструкций здания.

3.Показано, что с увеличением толщины теплоизоляционного слоя прогнозируемый срок окупаемости затрат на утепление возрастает. Наиболее быстро окупаются затраты на утепление ограждающих конструкций при толщине теплоизоляции 50 и 100 мм.

Литература

1. СП 345. 1325800. 2017 Здания жилые и общественные, Правила проектирования тепловой защиты.

2. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учебник для вузов / В. Н. Богословский. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : "АВОК Северо-Запад", 2006. – 400 с.

3. Слесарева Д.В. Влияние ускоренного роста цен на газ на экономику России./ Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН [Электронный ресурс]. — URL: https:// ecfor.ru › Публикации и отчёты (дата обращения: 17.06.2026).

4. В Орловской области утверждены новые газовые тарифы [Электронный ресурс]. — URL: https:// oreltimes.ru › news › obshhestvo › v-orlovskoj-. (дата обращения: 24.06.2026).

5. Центральный Банк России. Инфляция в Орловской области [Электронный ресурс]. — URL: https:// www.cbr.ru › press › reginfl (дата обращения: 24.06.2026).

6. Авдеева, В. И., Финансовый менеджмент : учебник / В. И. Авдеева, О. И. Костина, Н. Н. Губернаторова. — М : КноРус, 2021. — 427 с.

7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 ноября 2025 г. №3413 – р. Индексы изменения вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в среднем по субъектам Российской Федерации на 2026 год. [Электронный ресурс]. — URL: https:// government.ru › docs › all (дата обращения: 24.06.2026).

8. Инфляция в России за год и по месяцам 2022 – 2026 г.г. [Электронный ресурс]. — URL: https:// www.audit-it.ru › inform › inflation (дата обращения: 25.06.2026).

References

1. SP 345. 1325800. 2017 Zdaniya zhilye i obshchestvennye, Pravila proektirovaniya teplovoj zashchity.

2. Bogoslovskij V. N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha) : uchebnik dlya vuzov / V. N. Bogoslovskij. – 3-e izd. – Sankt-Peterburg : "AVOK Severo-Zapad", 2006. – 400 s.

3. Slesareva D.V. Vliyanie uskorennogo rosta cen na gaz na ekonomiku Rossii./ Institut narodnohozyajstvennogo prognozirovaniya RAN [Elektronnyj resurs]. — URL: https:// ecfor.ru › Publikacii i otchyoty (data obrashcheniya: 17.06.2026).

4. V Orlovskoj oblasti utverzhdeny novye gazovye tarify [Elektronnyj resurs]. — URL: https:// oreltimes.ru › news › obshhestvo › v-orlovskoj-. (data obrashcheniya: 24.06.2026).

5. Central'nyj Bank Rossii. Inflyaciya v Orlovskoj oblasti [Elektronnyj resurs]. — URL: https:// www.cbr.ru › press › reginfl (data obrashcheniya: 24.06.2026).

6. Avdeeva, V. I., Finansovyj menedzhment : uchebnik / V. I. Avdeeva, O. I. Kostina, N. N. Gubernatorova. — M : KnoRus, 2021. — 427 s.

7. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 noyabrya 2025 g. №3413 – r. Indeksy izmeneniya vnosimoj grazhdanami platy za kommunal'nye uslugi v srednem po sub"ektam Rossijskoj Federacii na 2026 god. [Elektronnyj resurs]. — URL: https:// government.ru › docs › all (data obrashcheniya: 24.06.2026).

8. Inflyaciya v Rossii za god i po mesyacam 2022 – 2026 g.g. [Elektronnyj resurs]. — URL: https:// www.audit-it.ru › inform › inflation (data obrashcheniya: 25.06.2026).