

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Технико-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада

Д.В. Немова¹, А.С. Горшков², Н.И. Ватин³, А.В. Кашабин⁴, Д.Н. Цейтин⁵, П.П. Рымкевич⁶

^{1-3,5}Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

⁴ООО «УРСА Евразия», 196191, Санкт-Петербург, Ленинский пр., д. 168.

⁶Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, 197082, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

Информация о статье

УДК 699.86

Научная статья

История

Подана в редакцию 6 октября 2014
Принята 18 ноября 2014

Ключевые слова

ограждающие конструкции, фасады, теплоизоляционные материалы, теплопотери, реконструкция зданий, утепление, срок окупаемости, энергосбережение, энергоэффективность

АННОТАЦИЯ

В настоящее время отсутствуют утвержденные методики по расчету сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий, в частности, методики, учитывающие рост тарифов на энергоресурсы, проценты выплат по кредиту и дисконтирование будущих денежных потоков. В данной статье предлагается методика оценки прогнозируемых сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий по утеплению ограждающих конструкций (наружных стен) с устройством вентилируемого фасада и использованием теплоизоляционных изделий «URSA GEO» из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем. В настоящей работе представлены конкретные рекомендации по применению данной методики, способствующие принятию правильного проектного решения. Приведен пример расчета простой (бездисконтной) окупаемости дополнительного утепления наружных стен многоквартирного жилого дома, а также окупаемости, рассчитанной с учетом выплаты процентов по кредиту, роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков. Пример расчета выполнен применительно к конструктивному решению дополнительного утепления с устройством вентилируемого фасада.

Содержание

Введение	71
Литературный обзор	71
Цели и задачи исследования	71
Объект исследования	72
Исходные данные для расчета	72
Методика расчета	73
Примеры расчета	75
Заключение	79

1

Контактный автор:

+7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, инженер, ассистент)

2

+7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н, доцент)

3

+7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор, директор ИСИ)

4

+7 (812) 313 7273, andrey.kashabin@uralita.com (Кашабин Андрей Викторович, руководитель группы технической поддержки продаж)

5

+7 (921) 909 5171, dm.inco@gmail.com (Цейтин Дмитрий Николаевич, ведущий инженер)

6

+7 (911) 224 5913, rymkewitch@yandex.ru (Рымкевич Павел Павлович, к. ф.-м.н, профессор)

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации реализуется государственная программа проведения капитальных ремонтов в существующих зданиях. Важно, чтобы эта программа коррелировала с программой энергосбережения, так как 95 % зданий в России не соответствуют современным нормативным требованиям по тепловой защите, то есть они морально устарели. Однако это не означает, что при этом следует игнорировать экономическую составляющую инвестиционных проектов при реализации данной программы. Энергосберегающие мероприятия должны не только приводить к уменьшению объемов потребляемой зданиями энергии, но и быть окупаемыми.

Одним из способов снижения потерь тепловой энергии на отопление является дополнительное утепление наружных ограждающих конструкций (стен, покрытий, чердачных перекрытий, наружных дверей и пр.). Повышение уровня теплоизоляции ограждающих конструкций приводит к уменьшению так называемых трансмиссионных потерь тепловой энергии.

Литературный обзор

Мероприятия, направленные на утепление наружных стен всегда привлекали внимание российских и зарубежных исследователей [1-32].

Мургул В.А. рассматривает вопросы повышения энергетической эффективности при реконструкции зданий старого жилого фонда. Она изучает применимость существующих стандартов для теплоизоляции исторических зданий, в частности, необходимость утепления ограждающих конструкций с сохранением внешнего облика зданий, являющихся памятниками истории и культуры, а также исторически сложившихся архитектурно-строительных систем [13, 29, 30].

Ельчищева Т.Ф. и Сливин Р.В. представили технико-экономическую оценку вариантов утепления стен на примере 9-ти этажного жилого дома [32].

Богуславский Л.Д. предложил модель, которая позволяла оценить «экономически целесообразное», «оптимальное» сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций. В его методах величины единовременных вложений на создание 1 кв. м. ограждающей конструкции и годовые затраты на компенсацию теплотерь через 1 кв. м. ограждающей конструкции выражаются в виде функций от термического сопротивления теплоизолирующего слоя, который является независимой переменной. В его модели находится значение этой переменной, при котором производная приведенных затрат (затраты на производство и эксплуатацию ограждающих конструкций) равна нулю, это значение сопротивления теплопередаче и принимается «экономически целесообразным» [8].

Цели и задачи исследования

Целью настоящей работы является расчет прогнозируемых сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение уровня тепловой защиты фасадов (наружных стеновых конструкций) и кровельного покрытия эксплуатируемых зданий, построенных и введенных в эксплуатацию до 2000-го года.

Срок окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций, рассчитан для двух расчетных случаев:

- простая (бездисконтная) окупаемость;
- сложная окупаемость с учетом:
 - процентов по кредиту;
 - роста тарифов на тепловую энергию;
 - дисконтирования будущих денежных потоков.

Объект исследования

В качестве объекта исследования принято многоквартирное панельное жилое здание серии 137 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Типовое жилое многоквартирное здание серии 137

Исходные данные для расчета

Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры здания для климатических условий города Санкт-Петербурга приняты согласно СП 131.13330 и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные климатические условия для жилых зданий, расположенных в г. Санкт-Петербурге

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха	t_n	°C	- 24
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	- 1,3
Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	сут/год	213
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°C·сут/год	4537
Расчетная температура внутреннего воздуха	t_b	°C	20

Геометрические характеристики фасадов рассматриваемых зданий не представлены в связи с тем, что в работе рассчитываются эксплуатационные потери тепловой энергии и капитальные затраты по дополнительному утеплению, приведенные к 1 м² наружных фасадов.

Исходя из данных, представленных в таблице 1, рассчитывается базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_0^{TP} . Значение R_0^{TP} рассчитывается по формуле:

$$R_0^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода (см. данные табл. 1);

a, b – коэффициенты, значения которых для наружных стен жилых зданий составляют: $a = 0,00035$, $b = 1,4$.

На основании полученных исходных данных рассчитаем по формуле (1) базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче для наружных стен здания, расположенного в г. Санкт-Петербурге.

Получим:

$$R_0^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0035 \cdot 4537 + 1,4 = 2,99 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

В качестве системы утепления наружных стен существующего здания примем конструктивное решение с навесным вентилируемым фасадом. Для уменьшения капитальных затрат на реновацию фасадов принято двухслойное конструктивное решение утепления: с внутренним слоем из минераловатных плит (изделия теплоизоляционные марки «URSA GEO» П-30, изготовленные по ТУ 5763-001-71451657-2004 (с изменениями 1÷7) из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем; производитель: ООО «УРСА Евразия») и наружным – изделиями минераловатными, предназначенными для применения в конструкциях наружных стен с навесным вентилируемым фасадом (примеры: Rockwool Венти Баттс, PAROC VAS 35, ТЕХНОВЕНТ и др.).

Методика расчета

Методика расчета капитальных затрат на дополнительное утепление, эксплуатационных затрат до и после утепления, а также сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий подробно описана в работе [33]. Для простой окупаемости инвестиций получено следующее основное уравнение:

$$T = \frac{K_2}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}. \quad (2)$$

где ΔK – капитальные затраты на утепление 1 м² наружной стены существующего здания, руб/м²;

\mathcal{E}_1 – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м² наружной стены за один отопительный сезон до проведения работ по утеплению фасадов, руб/м²·год;

\mathcal{E}_2 – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м² наружной стены за один отопительный сезон после утепления стен, руб/м²·год;

$\Delta \mathcal{E}$ – разность потерь тепловой энергии через 1 м² наружной стены до проведения мероприятий по утеплению фасадов существующего здания (\mathcal{E}_1) и после утепления (\mathcal{E}_2).

В формуле (2) разность потерь тепловой энергии через 1 м² наружной стены до проведения мероприятий по утеплению фасадов существующего здания (\mathcal{E}_1) и после утепления (\mathcal{E}_2) приводит к годовой экономии денежных средств:

$$\Delta \mathcal{E} = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T, \quad (3)$$

где U_1 – коэффициент теплопередачи (U-value) наружных стен существующего здания до проведения работ по реновации (утеплению) фасадов, Вт/(м²·°C);

U_2 – коэффициент теплопередачи (U-value) наружных стен существующего здания после проведения работ по реновации (утеплению) фасадов, Вт/(м²·°C);

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °C·сут;

0,024, 1163 – переводные коэффициенты;

C_T – стоимость тепловой энергии на отопление в данном населенном пункте, руб/Гкал.

Отметим, что срок окупаемости, рассчитанный по формуле (2) получен без учета:

- роста тарифов на тепловую энергию;
- процентов по кредиту (в случае использования заемных средств на проведение мероприятий по утеплению наружных стен здания);
- дисконтирования будущих денежных поступлений, достигнутых в результате реализации рассматриваемого энергосберегающего мероприятия и уменьшения потерь тепловой энергии на отопление.

По этой причине, рассчитанное по формуле (2) значение прогнозируемого срока окупаемости инвестиций можно рассматривать только как оценочное.

Если строительная компания или физическое лицо для выполнения работ по утеплению фасадов, использует собственные (не заемные) средства, то капитальные затраты ΔK будут равны сметной стоимости работ. В случае, если для выполнения работ исполнителем используются заемные средства (предоставленный банком кредит), при аннуитетных ежемесячных платежах суммарные инвестиции в энергосбережение $\Delta \tilde{K}$ следует определять по формуле [33]:

$$\Delta \tilde{K} = m \cdot A \cdot \Delta K, \quad (4)$$

где m – число периодов погашения кредита (например, если кредит взят на 1 год: $m=12$, если на 2 года: $m=24$ и т.д.);

A – коэффициент аннуитета;

ΔK – затраты на утепление без учета платежей по кредиту, то же, что и в формуле (2).

Коэффициент аннуитета A рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{p_{кр} \cdot (1 + p_{кр})^m}{(1 + p_{кр})^m - 1}, \quad (5)$$

где $p_{кр}$ – месячная процентная ставка банка по кредиту, выраженная в сотых долях в расчете на периодичность платежей (например, для случая 12 % годовых и ежемесячных платежей: $p_{кр}=0,12/12=0,01$);

m – то же, что и в формуле (4).

Из анализа формул (2) и (3), в частности, следует, что при заданном реализованном проекте утепления фасадов ($\Delta U=U_1-U_2$) в заданном климатическом районе (ГСОП), скорость возврата вложенных средств зависит только от стоимости тепловой энергии на отопление C_T и динамики ее изменения со временем (роста тарифов на тепловую энергию).

Тарифы на тепловую энергию ежегодно возрастают. Это означает, что с каждым последующим годом (отопительным периодом), годовая экономия денежных средств $\Delta \mathcal{E}_i$ будет увеличиваться.

При рассмотрении данной модели следует также учитывать, что сэкономленные в последующие годы денежные средства должны быть рассчитаны исходя из фактической стоимости денег через n лет, т.е. будущие денежные потоки должны быть дисконтированы.

С учетом выше обозначенных факторов, прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в дополнительное утепление фасадов определяется выражением [33]:

$$T = \frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta \tilde{K}}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]}{\ln \left[\frac{1+r}{1+i} \right]}, \quad (6)$$

где $\Delta \tilde{K}$ – то же, что в формуле (4), руб/м²;

$\Delta \mathcal{E}$ – то же, что в формуле (3), руб/м²;

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию;

i – процентная ставка.

Уравнение (6) позволяет вычислить период окупаемости T рассматриваемого энергосберегающего мероприятия с учетом суммарных капитальных затрат на его реализацию $\Delta \tilde{K}$, платежей по кредиту ($r_{кр}$), роста стоимости тарифов на тепловую энергию (r), дисконтирования будущих денежных потоков (i), достигаемых за счет экономии средств в результате внедрения данного энергосберегающего мероприятия.

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, депозит), прочие факторы, влияющие на величину будущих денежных потоков.

Следует отметить, что в уравнение (6) входит несколько переменных со временем параметров, в частности динамика роста тарифов на тепловую энергию (выраженная через параметр r) и процентная ставка (i), по которой оценивается дисконтирование будущих денежных потоков, накапливаемых в результате внедрения заданного энергосберегающего мероприятия. В настоящее время невозможно определенно знать, как эти переменные параметры будут меняться с течением времени в будущем. Поэтому для решения задачи оценки прогнозируемого срока окупаемости вложенных в энергосбережение инвестиций, можно лишь построить несколько возможных (вероятных) сценариев изменения переменных величин, входящих в уравнение (6), и выбрать из перечня полученных данных наиболее вероятный сценарий.

Примеры расчета

Расчет простой (бездисконтной) окупаемости

Рассмотрим следующую модель.

Существующее панельное здание постройки до 2000 года, расположенное в г. Санкт-Петербурге. Примем, что приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен $R_0^{исх}$ соответствует требованиям СНиП II-3-79* и составляет 1,0 м²·°С/Вт (что соответствует санитарно-гигиеническим требованиям применительно для климатических условий Санкт-Петербурга). Конструктивное решение наружной стены панельного здания серии 137 представлено на рисунке 2. Соответственно, коэффициент теплопередачи наружных стен: $U = 1,0$ Вт/(м²·°С). Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для жилых зданий в Санкт-Петербурге, как показано в таблице 1, составляет 4537 °С·сут. Отопление – централизованное (от городской ТЭЦ), стоимость тепловой энергии ст – 1351,25 руб/Гкал с учетом НДС (Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 20.12.2012 г. № 589-р). Требуется утеплить наружные стены здания до соответствия уровня их тепловой защиты нормативным требованиям (2,99 м²·°С/Вт по СП 50.13330) и рассчитать срок окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению.



Рисунок 2 – Однослойная бетонная панель наружных стен зданий серии 137

Конструктивное решение для дополнительного утепления наружных стен существующего панельного здания – навесной вентилируемый фасад. В качестве утеплителя принята конструктивная система с двумя теплоизоляционными слоями: с внутренним слоем из плит марки «URSA GEO» П-30 и наружным слоем из минераловатных плит, предназначенных для применения в конструкции с вентилируемым фасадом (примеры: Rockwool ВЕНТИ БАТТС, PAROC VAS 35, ТЕХНОВЕТ, прочие).

Рассчитаем требуемую толщину утеплителя $\delta_{тр}$, м. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$\delta_{тр} = (R_0^{тр} - R_0^{исх}) \cdot \frac{\lambda_{ут}}{r}, \quad (7)$$

где $R_0^{тр}$ – требуемое (базовое) значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

$R_0^{исх}$ – исходное (фактическое) значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания до проведения мероприятий по их дополнительному утеплению, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

$\lambda_{ут}$ – теплопроводность утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; принимается для условий эксплуатации Б (ЛБ);

r – коэффициент теплотехнической однородности дополнительного слоя утеплителя.

В формуле (7) не учтено влияние сопротивления теплоотдаче наружной поверхности стены в виду его малости по сравнению с термическим сопротивлением слоя утеплителя.

Примем для двухслойной системы утепления максимальный коэффициент теплопроводности в условиях эксплуатации Б (ЛБ), равным $0,045 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, а коэффициент теплотехнической однородности r для системы с навесным вентилируемым фасадом равным $0,6$.

Требуемое (базовое) значение сопротивления теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга ($\text{ГСОП} = 4537 \text{ °C} \cdot \text{сут}$) $R_0^{тр}$ составляет $2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Значению сопротивления теплопередаче $2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ соответствует коэффициент теплопередачи $U = 0,335 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$. Предположим, что фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_0^{исх}$ подтверждено теплотехническими измерениями и составляет $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Тогда требуемое значение толщины слоя утеплителя $\delta_{тр}$ составит:

$$\delta_{тр} = (R_0^{тр} - R_0^{исх}) \cdot \frac{\lambda_{ут}}{r} = (2,99 - 1,0) \cdot \frac{0,045}{0,6} = 0,149 \text{ (м)} \approx 0,15 \text{ (м)}.$$

Соответственно для дальнейших экономических расчетов примем, что требуемая толщина утеплителя составляет 150 мм . Для внутреннего слоя теплоизоляции примем плиты марки «URSA GEO» П-30 толщиной 100 мм , для наружного – плиты марки Rockwool Венти Баттс толщиной 50 мм .

Схематичное изображение рассматриваемой стеновой конструкции с системой дополнительного утепления представлено на рисунке 3.

Подставим в формулу (14) исходные данные для расчета и рассчитаем для рассматриваемого примера разность эксплуатационных затрат (потерь тепловой энергии через 1 м^2 в течение одного отопительного периода) наружной стены здания до и после утепления. Получим:

$$\Delta \mathcal{E} = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T = (1 - 0,335) \cdot \frac{0,024 \cdot 4537}{1163} \cdot 1351,25 \approx 84,1 \left(\frac{\text{руб}}{\text{м}^2} \right).$$

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружных стен существующего здания ΔK составляют **5000 руб/м²**, из которых:

3420 руб/м² составляют работы по утеплению глухой части стен:

- **160 руб/м²** – стоимость внутреннего теплоизоляционного слоя толщиной 100 мм (плиты П-30 при проектной стоимости изделий 1600 руб/м³);
- **160 руб/м²** – стоимость внутреннего теплоизоляционного слоя толщиной 50 мм (плиты Rockwool Венти Баттс при проектной стоимости изделий 3200 руб/м³);
- **500 руб/м²** – стоимость несущей подконструкции вентилируемого фасада типа «ГРАДО» на оцинковке;
- **900 руб/м²** – стоимость лицевого слоя из керамогранита;
- **300 руб/м²** – стоимость крепежа;
- **1400 руб/м²** – стоимость полного цикла монтажа системы вентилируемого фасада и утеплителя к основанию наружной стены;

1580 руб/м² – дополнительные работы по монтажу сопряжений и примыканий (в том числе, оконных), аренды техники, доставки изделий на объект, проведения высотных монтажных работ и прочих затрат.

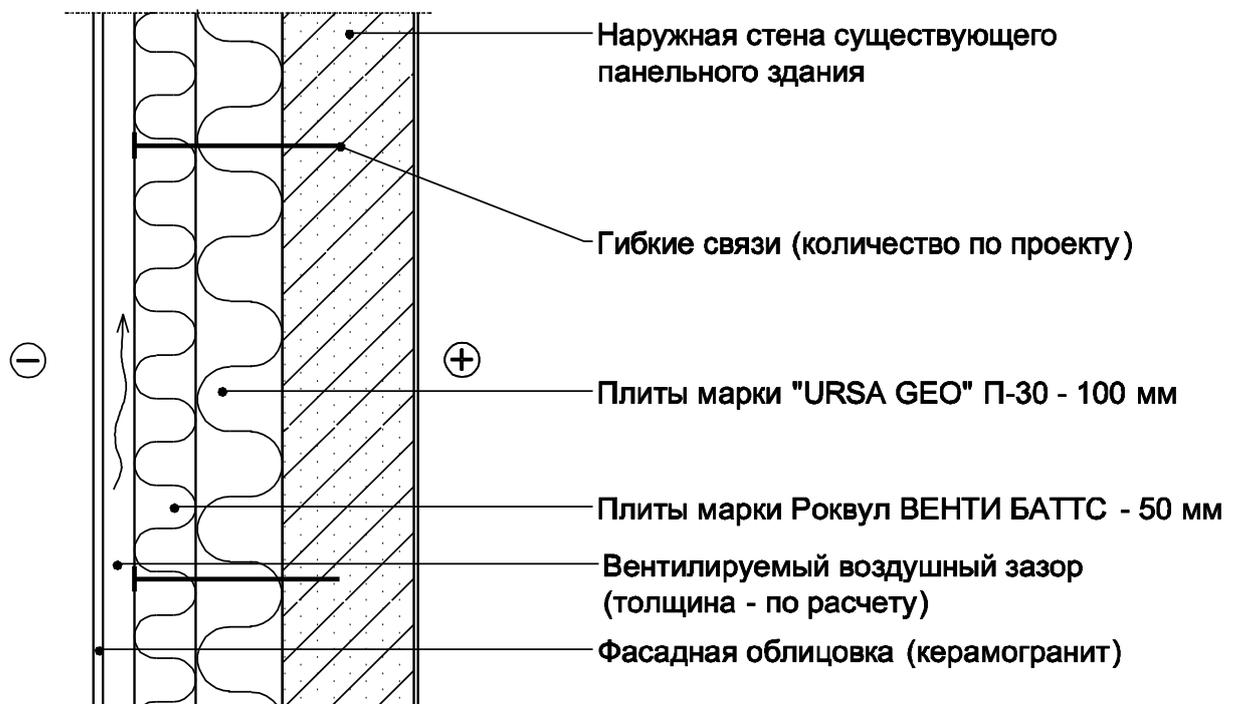


Рисунок 3 – Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены многоквартирного жилого панельного здания

Следует обратить внимание, что суммарная стоимость теплоизоляции (320 руб/м²) составляет менее 10 % от общей суммы капитальных затрат на утепление (5000 руб/м²).

Подставим значения ΔK и $\Delta \dot{E}$ в формулу (2). Получим срок простой окупаемости утепления наружной стены существующего здания при толщине утеплителя 150 мм (рисунок 1):

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta \dot{E}} = \frac{5000}{84,1} = 59,5 \text{ (лет)}.$$

Отметим, что срок окупаемости $T=59,5$ лет получен без учета необходимости выплаты процентов по кредиту, взятому компанией на реновацию фасадов существующего здания, роста тарифов на тепловую энергию, дисконтирования будущих денежных потоков.

По этой причине, полученное значение срока окупаемости 59,5 лет можно рассматривать только как оценочную величину.

Расчет окупаемости с учетом процентов по кредиту, роста тарифов на энергоносители и дисконтирования будущих денежных потоков (далее по тексту - сложной окупаемости)

Тарифы на тепловую энергию в России возрастают с каждым годом. Это приводит к увеличению затрат на эксплуатацию зданий. В таблице 2 представлена динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге за период с 2006-го по 2011-й годы.

Таблица 2. Динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге с 2006 по 2011 годы при централизованном отоплении зданий [5]

Год	Величина тарифа, руб/Гкал (вкл. НДС)	Основание
2006	500,40	Распоряжение Региональной энергетической комиссии Правительства Санкт-Петербурга от 16 ноября 2005 г. N 100-р
2007	575,46	Распоряжение Комитета по тарифам Правительства Санкт-Петербурга от 15 ноября 2006 г. N 123-р
2008	650,00	Распоряжение Комитета по тарифам Правительства Санкт-Петербурга от 31 октября 2007 г. N 139-р
2009	795,73	Распоряжение Комитета по тарифам Правительства Санкт-Петербурга от 19 ноября 2008 г. N 141-р
2010	931,00	Распоряжение Комитета по тарифам Правительства Санкт-Петербурга от 14 декабря 2009 г. N 199-р
2011	1050,00	Распоряжение Комитета по тарифам Правительства Санкт-Петербурга от 13 декабря 2010 г. N 334-р

В таблице 3 представлена динамика роста тарифов для населения г. Санкт-Петербурга, - повышение стоимости тепловой энергии за год (в процентах) по отношению к предыдущему году.

Таблица 3. Динамика повышения стоимости тепловой энергии (в относительном выражении) [5]

Годы (с...по)	Прирост стоимости тепловой энергии по отношению к предыдущему году, %
с 2006 по 2007 г.г.	+ 15,0
с 2007 по 2008 г.г.	+ 13,0
с 2008 по 2009 г.г.	+ 22,4
с 2009 по 2010 г.г.	+ 17,0
с 2010 по 2011 г.г.	+ 12,8
В среднем за один год ($\Delta_{ср}$)	+ 16,0

Таким образом, за рассматриваемый период времени (с 2006 по 2011 г.г.) средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию в год $\Delta_{ср}$ составила 16 % ($r=0,16$).

Дисконтирование будущих денежных потоков произведем по ставке рефинансирования ЦБ РФ, которая составляет 8,25 %.

Примем, что для финансирования работ по утеплению существующего здания строительная компания взяла кредит под 14,5 % годовых на 3 года ($m=36$).

В этом случае коэффициент аннуитета составит:

$$A = \frac{p_{кр} \cdot (1 + p_{кр})^m}{(1 + p_{кр})^m - 1} = \frac{0,012 \cdot (1 + 0,012)^{36}}{(1 + 0,012)^{36} - 1} = 0,034.$$

Суммарные инвестиции, направленных на утепление фасадов существующего жилого дома, с учетом платежей по кредиту $\Delta\tilde{K}$ составят (при аннуитетных ежемесячных платежах):

$$\Delta\tilde{K} = m \cdot A \cdot \Delta K = 36 \cdot 0,034 \cdot 5000 = 6120 \left(\frac{\text{руб}}{\text{м}^2} \right).$$

На основании полученных исходных данных произведем расчет прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего жилого дома. Получим:

$$T = \frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta\tilde{K}}{\Delta\tilde{Э}} \cdot \frac{(r - i)}{(1 + i)} \right]}{\ln \left[\frac{1 + r}{1 + i} \right]} = \frac{\ln \left[1 + \frac{6120}{84,1} \cdot \frac{(0,16 - 0,0825)}{(1 + 0,0825)} \right]}{\ln \left[\frac{1 + 0,16}{1 + 0,0825} \right]} = 26,4 \text{ (лет)}.$$

В случае, если строительная компания использует собственные (не заемные) средства, срок окупаемости инвестиций составит:

$$T = \frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta K}{\Delta\tilde{Э}} \cdot \frac{(r - i)}{(1 + i)} \right]}{\ln \left[\frac{1 + r}{1 + i} \right]} = \frac{\ln \left[1 + \frac{5000}{84,1} \cdot \frac{(0,16 - 0,0825)}{(1 + 0,0825)} \right]}{\ln \left[\frac{1 + 0,16}{1 + 0,0825} \right]} = 24 \text{ (лет)}.$$

Примечание – выполненные выше расчеты справедливы при наличии в многоквартирном жилом здании автоматизированного теплового пункта (АИТП) с автоматическим регулированием параметров теплоносителя.

Заключение

В работе представлена методика расчета сроков простой и сложной окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на дополнительное утепление фасадов существующего панельного многоквартирного жилого здания, расположенного на территории г. Санкт-Петербург.

В качестве материала для утепления фасадов приняты теплоизоляционные изделия марки «URSA GEO» П-30. Конструктивное решение – дополнительное утепление снаружи существующих стен теплоизоляцией в 2 слоя суммарной толщиной 150 мм с последующим монтажом вентилируемого фасада.

Толщина теплоизоляции выбрана исходя из условия обеспечения требуемого уровня тепловой защиты наружных стен здания (согласно нормативных требований свода правил СП 50.13330) применительно для климатических условий г. Санкт-Петербурга: 2,99 м²·°С/Вт.

Получены следующие результаты.

Срок простой (бездисконтной) окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление фасадов существующего многоквартирного жилого дома, составил 59,5 лет.

Срок окупаемости, рассчитанный с учетом роста тарифов на энергоносители, выплаты процентов по кредиту и дисконтирования будущих денежных потоков (сложная окупаемость инвестиций) составил:

- 26,4 года – с учетом необходимости выплат процентов по кредиту (если строительная компания взяла кредит на реализацию данного энергосберегающего мероприятия);
- 24 года – без учета выплат процентов по кредиту (в случае использования Застройщиком собственных (не заемных) средств).

Литература

- [1]. Горшков А.С., Немова Д.В. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7 (12). С. 49-63.
- [2]. Горшков А.С., Немова Д.В. Методика расчета срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий // Энергонадзор-информ. 2013. №1. С. 56-59.
- [3]. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). С. 82-106.
- [4]. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Окупаемость инвестиций в реновацию фасадов зданий с учетом технологических и экономических факторов // Энергонадзор-информ. 2013. №4. С. 32-35.
- [5]. Ватин Н.И., Величкин В.З., Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана марки «SPU-INSULATION» в строительстве жилых общественных и промышленных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3 (8). С. 1-264.
- [6]. Сокольский В. А. Принципы Экономичности и их выражение в современном строительстве. С.-Петербург. 1910. 538 С.
- [7]. Горшков А.С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // Энергосбережение. 2014. № 4. С. 12-27.
- [8]. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. Москва, Стройиздат. 1985. 336 С.
- [9]. Савин В.К. Упрощенная модель минимизации расхода суммарной энергии, идущей на строительство и эксплуатацию зданий. // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 80-84.
- [10]. Езерский В.А., Монастырев П.В., Клычников Р.Ю. Методика определения предельного срока службы здания, обеспечивающего безубыточность его термомодернизации. // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 357-362.
- [11]. Самарин О.Д. О влиянии изменения климата на окупаемость дополнительного утепления нецветопрзрачных ограждений. // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 561-563.
- [12]. Kaklauskas, A.a , Rute, J.a , Zavadskas, E.K.a , Daniunas, A.a , Pruskus, V.a , Bivainis, J.a , Gudauskas, R.b , Plakys, V.a. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system (2012) Energy and Buildings. 50, pp. 7-18.
- [13]. Nemova D., Murgul V., Pukhkal V., Golik A., Chizhov E., Vatin N. Reconstruction of administrative buildings of the 70's: The possibility of energy modernization (2014) Journal of applied engineering science. 2014. Vol. 12, No 1, pp. 37-44
- [14]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades (2014) Advanced Materials Research. № 941-944. pp. 905-920.
- [15]. Vatin N.I., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. Increase of energy efficiency for educational institution building (2014) Advanced Materials Research. Vols. 953-954. pp 854-870
- [16]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten (2014) Advanced Materials Research. Vols. 953-954. pp. 1537-1544
- [17]. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P.. Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation. Springer. 1983. 512 p.
- [18]. Govan F.A.. Thermal Insulation, Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s. Astm Intl. 1983. 890 p.
- [19]. Eastop, D.R. Croft. Longman. Energy Efficiency. D. 1990. 400 p.
- [20]. Raymond C. Bryant. Managing Energy for Buildings. Government Inst. 1983. 807 p.
- [21]. Richard R. Simple Solutions to Energy Calculations, Fourth Edition. Vaillencourt. Fairmont Press. 2007. 225 p.
- [22]. Guoa W., Qiaoa X., Huang Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone (2012) Energy and Buildings, Volume In Press, Corrected Proof. 2012

- [23]. Borodinecs, A., Gaujena, B. The implementation of building envelopes with controlled thermal resistance (2012) 10th International Conference on Healthy Buildings. pp. 1715-1722
- [24]. Na Na Kanga, Sung Heui Choa, Jeong Tai Kimb. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior // *Energy and Buildings*. Volume 46. 2012. pp 112–122.
- [25]. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel. // *Energy Procedia*. Volume 14. 2012. pp 1523–1527.
- [26]. Tayfun Uygunođlua, Ali Keçebaşb. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks // *Energy and Buildings*. Volume 43, Issue 9. 2011. pp. 2077–2085.
- [27]. Reichla Johannes, Kollmann Andrea. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options // *Applied Energy*. Volume 88, Issue 2. 2011. pp. 422–431.
- [28]. Entropa A.G., Brouwersb H.J.H., Reindersc A.H.M.E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate (2010) *Energy and Buildings*. Volume 42, Issue 5. pp. 618–629
- [29]. Murgul V. Features of energy efficient upgrade of historic buildings (illustrated with the example of Saint-Petersburg) (2014) *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 12 (1), pp 1-10
- [30]. Murgul V. Solar energy systems in the reconstruction of heritage historical buildings of the northern towns (for example Sankt-Petersburg). *Journal of Applied Engineering Science* (2014) Vol. 12 (2), pp 121-128
- [31]. Vatin, N., Gorshkov, A., Rymkevich, P., Nemova, D., Tarasova, D. Nonstationary thermal conduction through the building envelope (2014) *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 670-671, pp. 365-369.
- [32]. Ельчищева Т.Ф., Сливин Р.В. Техничко-экономическая оценка утепления наружных стен (на примере 9-ти этажного жилого дома) // *Глобальная научная интеграция*. 2012. № 6. С. 62-64. депонированная рукопись ВИНТИ № 319-В2006 27.03.2006.
- [33]. Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 8 (23). С. 93-115.

Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes external walls of apartment building with the double-skin facade

D.V. Nemova¹, A.S. Gorshkov², N.I. Vatin³, A.V. Kashabin⁴, D.N. Tseytin⁵, P.P. Rymkevich⁶

^{1-3, 5}*Saint-Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.*

⁴*URSA, 168, Leninsky Ave., St. Petersburg, 196191, Russia.*

⁶*Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, 13, Zhdanovskaya st., Saint Petersburg, 197082, Russia.*

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 06 October 2014
Accepted 18 November 2014

Keywords

external envelopes,
facades,
heat-insulation materials,
losses of thermal energy,
reconstruction of buildings,
heat insulation,
payback period,
energy saving,
energy efficiency,
double-skin facade

ABSTRACT

Now there are no the approved techniques by calculation of payback periods energy saving actions, in particular, the techniques considering growth of tariffs for energy resources, percent of payments for the credit and discounting of future cash flows. In this article the technique of an assessment of the predicted payback periods of energy saving actions for warming of the protecting designs (external walls) with the device of the double-skin facade and use of the heat-insulating products "URSA GEO" is offered. In the real work the concrete recommendations about application of this technique promoting adoption of the correct design decision are submitted. The example of calculation of simple payback of additional warming of external walls of a multiroom house, and also the payback calculated taking into account payment of percent on the credit, growth of tariffs for thermal energy and discounting of future cash flows is given. The example of calculation is executed in relation to the constructive solution of additional warming with the device of the double-skin facade.

¹ *Corresponding author:*

+7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com (Darya Viktorovna Nemova, Engineer, Assistant)

² +7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Aleksandr Sergeevich Gorshkov, Ph.D., Associate Professor)

³ +7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Nikolay Ivanovich Vatin, D.Sc., Professor, Director of Institute of Civil Engineering)

⁴ +7 (812) 313 7273, andrey.kashabin@uralita.com (Andrey Viktorovich Kashabin, leader of technical support group)

⁵ +7 (812) 313 7273, andrey.kashabin@uralita.com (Dmitry Nikolayevich Tseytin, Leading engineer)

⁶ +7 (911) 224 5913, rymkewitch@yandex.ru (Pavel Pavlovich Rymkevich, Ph. D., Professor)

References

- [1]. Gorshkov A.S., Nemova D.V. The energy saving formula. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. Vol. 7. Pp. 49-63. (rus)
- [2]. Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energonadzor-inform. 2013. Vol. 1. Pp. 56-59. (rus)
- [3]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I. Method of calculating the payback period of investment for renovation of building facades. Energy efficiency of envelopes at major repairs. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. Vol. 2. Pp. 82-106. (rus)
- [4]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. *Energonadzor-inform*. 2013. Vol. 4. Pp. 32-35. (rus)
- [5]. Vatin N.I., Velichkin V.Z., Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Peshkov A.A., Nemova D.V., Kiski S.S. Album of technical solutions SPU-Insulation. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. Vol. 3. Pp. 1-264.(rus)
- [6]. Sokolskiy V. A. *Printsipy Ekonomichnosti i ikh vyrazheniye v sovremennom stroitelstve* [The principles of profitability and their expression in modern construction]. St.-Petersburg: 1910. 538 p. (rus)
- [7]. Gorshkov A.S. *Energoberezheniye*. 2014. Vol. 4. Pp. 12-27. (rus)
- [8]. Boguslavskiy L. D. *Snizheniye raskhoda energii pri rabote sistem otopeniya i ventilyatsii* [Decrease in power consumption during the work of system of heating and ventilation]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 336 p. (rus)
- [9]. Savin V.K. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2010. Vol. 1. Pp. 80-84. (rus)
- [10]. Yezerskiy V.A., Monastirev P.V., Klychnikov R.Yu. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2010. Vol. 3. Pp. 357-362. (rus)
- [11]. Samarin O.D. *Arkhitektura i stroitelstvo*. 2009. Vol. 5. Pp. 561-563. (rus).
- [12]. Kaklauskas, A.a , Rute, J.a , Zavadskas, E.K.a , Daniunas, A.a , Pruskus, V.a , Bivainis, J.a , Gudauskas, R.b , Plakys, V.a. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system (2012) *Energy and Buildings*. 50, pp. 7-18.
- [13]. Nemova D., Murgul V., Pukhkal V., Golik A., Chizhov E., Vatin N. Reconstruction of administrative buildings of the 70's: The possibility of energy modernization (2014) *Journal of applied engineering science*. 2014. Vol. 12, No 1, pp. 37-44
- [14]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades (2014) *Advanced Materials Research*. Vol. 941-944. pp. 905-920.
- [15]. Vatin N.I., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. Increase of energy efficiency for educational institution building (2014) *Advanced Materials Research*. Vols. 953-954. pp 854-870
- [16]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten (2014) *Advanced Materials Research*. Vols. 953-954.pp. 1537-1544
- [17]. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. *Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation*. Springer. 1983. 512 p.
- [18]. Govan F.A. *Thermal Insulation, Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s*. Astm Intl. 1983. 890 p.
- [19]. Eastop, D.R. Croft. Longman. *Energy Efficiency*. D. 1990. 400 p.
- [20]. Raymond C. Bryant. *Managing Energy for Buildings*. Government Inst. 1983. 807 p.
- [21]. Richard R. *Simple Solutions to Energy Calculations*, Fourth Edition. Vaillencourt. Fairmont Press. 2007. 225 p.
- [22]. Guoa W., Qiaoa X., Huanga Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone (2012) *Energy and Buildings*, Volume In Press, Corrected Proof.
- [23]. Borodinecs, A., Gaujena, B. The implementation of building envelopes with controlled thermal resistance (2012) 10th International Conference on Healthy Buildings. pp. 1715-1722
- [24]. Na Na Kanga, Sung Heui Choa, Jeong Tai Kimb. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior (2012) *Energy and Buildings*. Vol. 46. pp 112–122.
- [25]. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel (2012) *Energy Procedia*. Vol.14. pp 1523–1527.

- [26]. Tayfun Uygunođlua, Ali Keçebaşb. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks (2011) *Energy and Buildings*. Vol. 43, Issue 9. pp. 2077–2085.
- [27]. Reichla Johannes, Kollmann Andrea. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options (2011) *Applied Energy*. Vol. 88, Issue 2. pp. 422–431.
- [28]. Entropa A.G., Brouwersb H.J.H., Reindersc A.H.M.E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate (2010) *Energy and Buildings*. Volume 42, Issue 5. pp. 618–629
- [29]. Murgul V. Features of energy efficient upgrade of historic buildings (illustrated with the example of Saint-Petersburg) (2014) *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 12 (1), pp 1-10
- [30]. Murgul V. Solar energy systems in the reconstruction of heritage historical buildings of the northern towns (for example Sankt-Petersburg). *Journal of Applied Engineering Science* (2014) Vol. 12 (2), pp 121-128
- [31]. Vatin, N., Gorshkov, A., Rymkevich, P., Nemova, D., Tarasova, D. Nonstationary thermal conduction through the building envelope (2014) *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 670-671, pp. 365-369.
- [32]. Yelchishcheva T.F., Slivin R.V. *Globalnaya nauchnaya integratsiya*. 2012. № 6. Pp. 62-64. (rus)
- [33]. Nemova D.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Kashabin A.V., Rymkevich P.P., Tseytin D.N. Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes of an individual house, *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. Vol. 8 (23). Pp. 93-115. (rus).