

Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте

Energy efficiency of envelopes at major repairs

д.т.н., профессор Ватин Николай Иванович

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
директор Инженерно-строительного института
+7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

D. Sc, Professor Nikolay Ivanovich Vatin

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
Director of Institute of Civil Engineering
+7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation*

к.т.н., доцент, докторант Горшков Александр Сергеевич

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»
AISGor@yandex.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

Ph. D, Associate professor, Candidate for a doctor's degree Alexandr Sergeevich Gorshkov

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
Saint-Petersburg State University of Technology and Design
AISGor@yandex.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation*

инженер Немова Дарья Викторовна

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
+7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

Engineer Darya Viktorovna Nemova

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
+7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com
Saint-Petersburg
Russian Federation*

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, показатели энергоэффективности, наружные ограждения, теплоизоляция, энергосбережение в зданиях, теплопроводность, инвестиции, срок окупаемости.

В статье приведена методика расчета срока окупаемости мероприятий, связанных с увеличением уровня тепловой защиты, достигаемого за счет дополнительного утепления стен существующего здания. Представлен пример расчета для конкретного населенного пункта с известными климатическими параметрами.

Key words: energy efficiency, energy saving, efficiency indices, external enclosure structures, insulation coating, building energy saving, heat conductivity, investment, payback period.

The article describes the calculation method of the payback period for the thermal protection measures. These measures are aimed at the increasing of thermal protection level achieved by the additional thermal insulation of the existing building's walls. The example of the calculation for the certain settlement with the specified climatic variables is also provided in the article.

1. Введение

Мероприятия, направленные на сокращение потерь тепла и повышение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций необходимо рассматривать, в том числе с позиции их экономического обоснования. Наиболее удобным и показательным методом расчета окупаемости энергосберегающих мероприятий является метод приведенных затрат. На использовании данного метода основано достаточно большое количество научных публикаций [1-46].

Несмотря на большое количество публикаций по теме настоящего исследования, в нашей стране не существует единой общепринятой методики расчета сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий. В настоящей работе представлена обобщенная (на основании проведенного обзора исследований) упрощенная модель расчета.

2. Постановка задачи

Целью настоящей работы является расчет сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение уровня тепловой защиты ограждающих конструкций зданий. Выкладки, принятые в настоящей работе для профессионалов-экономистов могут показаться достаточно тривиальными. Эта статья не направлена для них, она предназначена в первую очередь для экспертов в области энергоаудита зданий, которым в процессе своей работы приходится заполнять Приложения № 13 и №20 формы энергопаспорта по Приказу Минэнерго РФ от 19.04.2010 N 182, согласно которой необходимо рассчитать сроки окупаемости рекомендуемых энергосберегающих мероприятий. В работе представлена методика расчета окупаемости мероприятий только для существующих зданий, когда по результатам проведенного энергоаудита здания требуется утепление его наружных ограждающих конструкций.

3. Основные допущения

В данной работе принят ряд допущений. В частности не будут учитываться нормы дисконтирования, уровень инфляции, банковские кредиты, а также динамика во времени роста тарифов на тепловую энергию. Это может кому-то показаться абсолютно неправильным и авторы заранее готовы согласиться с данной претензией. В этом и есть основа принятых допущений. Будем условно считать, что норма дисконтирования соответствует инфляции, а проценты по банковскому кредиту - росту тарифов на тепловую энергию, и они покрывают друг друга в полной мере за рассматриваемый промежуток времени. Если кто-то не понимает о чем идет речь, вкратце поясним, что дисконтирование учитывает стоимость фиксированной денежной суммы сегодня по сравнению с ее будущей стоимостью. Например, вместо того, чтобы вкладывать средства в энергосберегающее мероприятие, инвестор может положить эти деньги под процент в банк и через тот же период времени, например, через 10 лет, однозначно получить прибыль за счет накопления процентов. Еще не факт, что вложив эти же средства в энергосбережение, инвестор получит ту же прибыль за рассматриваемый период (например, за те же 10 лет). Поэтому при расчете сроков окупаемости правильно было бы учесть норму дисконта, которая должна быть включена в капитальные затраты на дополнительное утепление. Но, как уже было сказано выше, мы считаем, что норма дисконта покрывается инфляцией. Рост цен на тарифы также можно и нужно учитывать. Сложность их учета заключается в том, что мы не можем однозначно предсказать динамику роста тарифов на тепловую энергию на ближайшие 5, а тем более 10 или 25 лет. Мы, безусловно, можем принять какой-то базовый показатель увеличения стоимости тарифов во времени, например 10 % в год. Но в этом случае, у нас сразу же появятся оппоненты, которые скажут, что рост тарифов есть нелинейная функция, которая меняется и искажается со временем, и они будут абсолютно правы. Поэтому в рамках данной модели не рассматриваются: инфляция, норма дисконтирования, рост тарифов, банковские проценты за использование кредита, а учитываем только капитальные затраты на дополнительное утепление и эксплуатационные затраты в течение времени (потери тепловой энергии через оболочку здания) до и после проведения энергосберегающих мероприятий, сравниваем экономическую эффективность этих мероприятий и рассчитываем приблизительные сроки их окупаемости без учета усложняющих экономических процедур. Тем самым, мы получаем приближенную модель, которую впоследствии можно усовершенствовать введением соответствующих коэффициентов или функциональных зависимостей.

4. Потери энергии и эксплуатационные затраты

Итак, рассмотрим типовое здание, например, кирпичное, которое требует санации и для уменьшения затрат тепловой энергии на отопление, соответствующего утепления. Как известно, с 2000 года введением сначала изменений №3 в СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» и последующим утверждением на основании этих изменений СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» требования к

уровню тепловой защиты нестепрозрачных ограждающих конструкций зданий возросли в 2,5 – 3 раза (для степрозрачных заолнений оконных проемов требования увеличились не столь кардинально). Это означает, что все здания постройки до 2000 года морально (но не все из них, физически!) устарели, что означает, что они не удовлетворяют современным требованиям к уровню энергопотребления терять больше энергии, - они перестали удовлетворять этим более высоким требованиям. Соответственно энергоаудитор должен указать в отчете это несоответствие и в качестве обязательных мер разработать рекомендации по утеплению наружных ограждающих конструкций до доведения уровня тепловой защиты наружных конструкций здания до современных требований.

Рассмотрим вариант утепления наружных стен здания, построенного в Санкт-Петербурге до 2000 года. Примем, что приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен соответствует требованиям, принятым до 2000 года, и составляет в среднем $R_0=1 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$. Для расчета теплопотерь через наружные ограждающие конструкции зданий удобно пользоваться величиной, обратной приведенному сопротивлению теплопередаче, которая в иностранных стандартах называется коэффициентом теплопропускания (теплопередачи) ограждающих конструкций зданий и обозначается литерой U . Величина коэффициента теплопропускания рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{R_0}. \quad (1)$$

Удобство введения данной величины определяется удобством ее размерности: $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$. Т.е. эта величина показывает, сколько Вт тепловой энергии проходит через наружную стену площадью 1 м^2 при разности внутренней и наружной температур с разных сторон ограждающей конструкции 1 °C . Это значит, что при $U=1/R_0=1/1=1 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$ через стену площадью 1 м^2 и разности температур с разных ее сторон 1 °C мощность теплового излучения составляет 1 Вт , а при разности 20°C будет составлять 20 Вт и т.д. Для расчета количества тепловой энергии ($\text{кВт}\cdot\text{ч}$), проходящей через 1 м^2 наружной стены эту величину (U) нужно умножить на число часов отопительного периода и среднюю за отопительный период разность температур. Эти данные для каждого климатического района определены в СНиП 23-01. Рассмотрим пример для климатических условий Санкт-Петербурга с учетом того, что мы рассматриваем жилое здание. Получим, что суммарные потери тепловой энергии за один отопительный период (220 суток) через 1 м^2 наружной стены при величине коэффициента теплопропускания $U=1 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$ составят:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot z_{\text{ht}} \cdot 24}{1000}, \quad (2)$$

где t_{int} – температура внутреннего воздуха в помещениях жилого здания, принимаемая по ГОСТ 30494 равной 20 °C ;

t_{ext} – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая для климатических условий Санкт-Петербурга по СНиП 23-01 равной $-1,8 \text{ °C}$;

z_{ht} – количество суток отопительного периода, принимаемой для жилых зданий, построенных или проектируемых в Санкт-Петербурге равным 220 сут;

24 – количество часов в сутках;

1000 – переводной коэффициент мощности теплового потока из Вт в кВт .

Таким образом, используя формулу (2) мы можем рассчитать средние за отопительный период потери тепловой энергии через 1 м^2 , выраженные в $\text{кВт}\cdot\text{ч}$. Эту же величину можно выразить в гикалориях (Гкал), если разделить выражение (2) на 1163, т.к. $1 \text{ Гкал}=1162,7(7) \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Расчет потерь тепловой энергии в Гкал удобнее пользоваться по той причине, что стоимость тепловой энергии для потребителей, так называемый тариф на тепловую энергию, рассчитывается в $\text{руб}/\text{Гкал}$. Тогда формула (2) может быть записана в виде:

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot z_{\text{ht}} \cdot 24}{1000 \cdot 1163}. \quad (3)$$

Здесь обозначения те же, что и в формуле (2), 1163 переводной коэффициент из $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ в Гкал.

Здесь обозначения те же, что и в формуле (2), 1163 переводной коэффициент из $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ в Гкал.

В качестве примера рассчитаем средние за отопительный период потери тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены жилого здания, эксплуатируемого в Санкт-Петербурге при величине коэффициента теплопропускания $U=1 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$.

Подставим в формулы (2) и (3) значения величин, входящих в эти формулы, принятые в обозначениях к формуле (2). Получим:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot z_{\text{ht}} \cdot 24}{1000} = \frac{1 \cdot (20 - (-1,8)) \cdot 220 \cdot 24}{1000} \approx 115 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)};$$
$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot z_{\text{ht}} \cdot 24}{1000 \cdot 1163} = \frac{1 \cdot (20 - (-1,8)) \cdot 220 \cdot 24}{1000 \cdot 1163} \approx 0,099 \text{ (Гкал)}.$$

Отметим, что выражение $(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \cdot z_{\text{ht}}$, в формулах (2) и (3) в СНиП 23-02 обозначает градусо-сутки отопительного периода (D_d или ГСОП). Для жилых зданий, расположенных в Санкт-Петербурге величина ГСОП составляет 4796 °С·сут. Таким образом, формулу (3) можно привести к более удобному виду:

$$Q = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000 \cdot 1163} = \frac{0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}}{1163}. \quad (4)$$

Тогда для расчета стоимости эксплуатационных затрат (Э) через 1 м² площади стены за один отопительный период выражение в формуле (4) необходимо умножить на стоимость тепловой энергии (тариф на тепловую энергию), который обозначим символом c_T и который на первую половину 2013 года для жителей Санкт-Петербурга установлен в размере 1175 руб/Гкал с учетом НДС.

Следовательно, эксплуатационные затраты (Э) можно рассчитать по формуле:

$$\text{Э} = Q \cdot c_T. \quad (5)$$

5. Экономическая эффективность дополнительного утепления

Перейдем непосредственно к оценке экономической эффективности дополнительного утепления и расчету сроков окупаемости рассматриваемого в работе энергосберегающего мероприятия. Для этого воспользуемся методом приведенных затрат.

Рассмотрим следующую экономическую модель.

Существующее здание постройки до 2000 года, расположенное в Санкт-Петербурге. Примем, что приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен R_0 составляет 1 м²·°С/Вт. Соответственно, коэффициент теплопроводности $U=1$ Вт/ м²·°С. Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для жилых зданий в Санкт-Петербурге, как уже было показано выше, составляет 4796 °С·сут, стоимость тепловой энергии 1175 руб/Гкал с учетом НДС. Требуется утеплить наружные стены здания до соответствия уровня их тепловой защиты нормативным требованиям (3,08 м²·°С/Вт по СНиП 23-02) и рассчитать срок окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению.

В качестве утеплителя примем минераловатный, с последующим оштукатуриванием стены по слою утеплителя (рисунок 1).

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

$$\delta_{\text{тр}} = (R_0^{\text{req}} - R_0) \cdot \frac{\lambda_{\text{ins}}}{r}, \quad (6)$$

где R_0^{req} - требуемое (нормативное) значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания, м²·°С/Вт;

R_0 - фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания до проведения мероприятий по их дополнительному утеплению, м²·°С/Вт;

λ_{ins} - теплопроводность утеплителя, Вт/ м·°С;

r - коэффициент теплотехнической однородности дополнительного слоя утеплителя.

В формуле (6) не учтено термическое сопротивление штукатурного слоя ввиду его малости по сравнению с термическим сопротивлением слоя утеплителя.

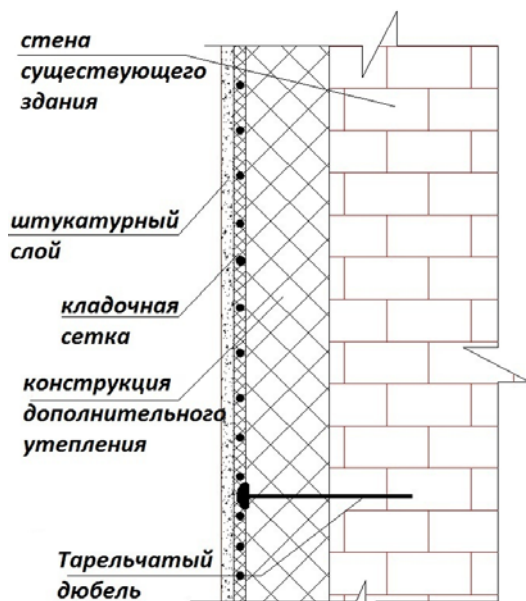


Рисунок 1. Схематичное изображение рассматриваемой стеновой конструкции

Примем для минераловатного утеплителя коэффициент теплопроводности в условиях эксплуатации Б (ЛБ), равным 0,042 Вт/ м·°С, а коэффициент теплотехнической однородности равным 0,87 при количестве дюбелей диаметром 6 мм на 1 м² площади стены в количестве 4 штук.

Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга (ГСОП = 4796°С·сут) составляет 3,08 м²·°С/Вт. Значению сопротивления теплопередаче 3,08 м²·°С/Вт соответствует коэффициент теплопроводности U=0,325 Вт/ м²·°С. Предположим, что фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче подтверждено теплотехническими измерениями и составляет 1 м²·°С/Вт.

Тогда требуемое значение толщины слоя утеплителя составит:

$$\delta_{тр} = (R_0^{req} - R_0) \cdot \frac{\lambda_{ins}}{r} = (3,08 - 1,0) \cdot \frac{0,042}{0,87} \approx 0,1 \text{ (м)}.$$

Соответственно для дальнейших экономических расчетов примем, что требуемая толщина утеплителя составляет 100 мм.

Применим для расчета сроков окупаемости утепления наружных стен рассматриваемого, типового для Санкт-Петербурга, здания метод приведенных затрат.

Положим, что

$$\Pi_1 = K_1 + \mathcal{E}_1 \cdot T; \quad (7)$$

$$\Pi_2 = K_2 + \mathcal{E}_2 \cdot T, \quad (8)$$

где Π_1, Π_2 – затраты на капитализацию и эксплуатацию наружных стен, приведенные к 1 м² площади, руб/ м²;

K_1 – капитальные затраты на возведение 1 м² наружной стены (с учетом того, что мы рассматриваем существующее здание, $K_1=0$), руб/м²;

K_2 – капитальные затраты на дополнительное утепление, руб/м²;

\mathcal{E}_1 – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м² наружной стены за один отопительный сезон до проведения утепления, 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;

T – время, исчисляемое в годах.

Условием окупаемости для принятой модели будет равенство приведенных затрат Π_1 и Π_2 , т.е.

$$\Pi_1 = \Pi_2, \quad (10)$$

Или с учетом уравнений (7), (8):

$$K_1 + \mathcal{E}_1 \cdot T = K_2 + \mathcal{E}_2 \cdot T. \quad (11)$$

Или с учетом того, что $K_1=0$:

$$\mathcal{E}_1 \cdot T = K_2 + \mathcal{E}_2 \cdot T. \quad (12)$$

Тогда из уравнения (12) можно рассчитать срок окупаемости:

$$T = \frac{K_2}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (13)$$

где ΔK – разность капитальных затрат, приведенных к 1 м² наружной стены (с учетом того, что в рассматриваемом примере $K_1=0$: $\Delta K=K_2-K_1=K_2$);

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

С учетом полученных ранее выражений (4) и (5) $\Delta \mathcal{E}$ можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = Q_1 \cdot c_T - Q_2 \cdot c_T = \frac{0,024 \cdot U_1 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T - \frac{0,024 \cdot U_2 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T \\ &= (U_1 - U_2) \cdot \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T. \end{aligned} \quad (14)$$

Подставим в формулу (14) исходные данные для расчета и рассчитаем для рассматриваемого примера разность эксплуатационных затрат (потерь тепловой энергии через 1 м² в течение одного отопительного периода) наружной стены здания до и после утепления. Получим:

$$\Delta \mathcal{E} = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c_T = (1 - 0,325) \cdot \frac{0,024 \cdot 4796}{1163} \cdot 1175 \approx 78,5 \left(\frac{\text{руб}}{\text{м}^2} \right).$$

Капитальные затраты на утепление 1 м² наружной стены здания ΔK примем в размере 2000 руб/м². Эти данные получены на основе опроса компаний, занимающихся наружным утеплением фасадов зданий, производителей фасадных систем с тонким штукатурным слоем по слою утеплителя. Несмотря на большой разброс цен (от 1000 до 3500 руб/м²) на утепление, полученный от разных источников цену в 2000 руб/м² можно считать объективной и оптимальной с точки зрения соотношения цена-качество на данный вид строительных работ.

Подставим полученные и вычисленные значения ΔK и $\Delta \mathcal{E}$ в формулу (13). Получим срок окупаемости утепления наружной стены существующего здания при толщине утеплителя 100 мм:

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} = \frac{2000}{78,5} = 25,5 \text{ (лет)}.$$

Отметим еще раз, что срок окупаемости $T=25,5$ лет получен без учета:

- роста тарифов на тепловую энергию;
- процентов по кредиту (в случае использования заемных средств на проведение мероприятий по утеплению наружных стен здания);
- нормы дисконтирования;
- процента инфляции.

По этой причине, полученное значение срока окупаемости 25,5 лет можно рассматривать только как оценочную величину.

Какие-то из неучтенных, в принятой нами упрощенной модели, факторы будут увеличивать капитальные затраты ΔK (например, проценты по кредиту), какие-то – эксплуатационные $\Delta \mathcal{E}$ (например, рост тарифов на тепловую энергию). Касательно принятой нами упрощенной экономической модели, мы условно приняли допущение, согласно которому все неучтенные нами факторы взаимно компенсируются.

Несмотря на отмеченные допущения, даже исходя из принятой нами упрощенной модели, можно сделать определенные выводы. В частности, из рассмотрения формулы (13) можно заключить, что для уменьшения срока окупаемости T рассматриваемого энергосберегающего мероприятия следует либо уменьшить капитальные затраты ΔK , либо увеличить эксплуатационные $\Delta \mathcal{E}$.

Уменьшить капитальные затраты ΔK можно либо уменьшением стоимости материалов, входящих в состав системы утепления (утеплитель, штукатурный состав, дюбеля для крепления утеплителя к основе), либо уменьшением стоимости строительных работ, а также снижения эксплуатационного срока службы системы утепления. Увеличить эксплуатационные затраты $\Delta \mathcal{E}$ возможно лишь увеличением тарифа на тепловую энергию c_T . Из анализа формулы (14) можно еще сделать заключение, что эксплуатационные затраты $\Delta \mathcal{E}$ можно увеличить также увеличением коэффициента теплопроводности U_1 , но повышение U_1 будет автоматически означать повышение толщины утеплителя δ , а значит стоимости утепления, т.е. капитальных затрат ΔK . И не факт, что эта мера может оказаться экономически целесообразной.

6. Заключение

В статье приведена методика расчета срока окупаемости мероприятий, связанных с увеличением уровня тепловой защиты, достигаемого за счет дополнительного утепления стен существующего здания, и представлен пример расчета для конкретного населенного пункта с известными климатическими параметрами. Предложена упрощенная математическая модель, позволяющая рассчитать окупаемость мероприятий, направленных на повышение тепловой защиты ограждающих конструкций существующих зданий без учета:

- роста тарифов на тепловую энергию;
- процентов по кредиту (в случае использования заемных средств на проведение мероприятий по утеплению наружных стен здания);
- нормы дисконтирования;
- инфляции.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. для уменьшения срока окупаемости T рассматриваемого в статье энергосберегающего мероприятия (утепление ограждающих конструкций) следует либо уменьшить капитальные затраты ΔK , либо увеличить эксплуатационные $\Delta \mathcal{E}$;

2. уменьшить капитальные затраты ΔK можно либо уменьшением стоимости материалов, входящих в состав системы утепления (утеплитель, штукатурный состав, дюбеля для крепления утеплителя к основе), либо уменьшением стоимости строительных работ, что не всегда целесообразно с точки зрения обеспечения качества строительно-монтажных работ;

3. увеличить эксплуатационные затраты $\Delta \mathcal{E}$ можно уменьшением коэффициента теплопроводности U_2 , но уменьшение U_2 будет автоматически означать повышение толщины утеплителя δ , а значит стоимости утепления, т.е. капитальных затрат ΔK ;

4. уменьшить срок окупаемости рассматриваемого энергосберегающего мероприятия (утепление ограждающих конструкций), не опасаясь за низкое качество строительных работ, возможно только увеличением тарифа на тепловую энергию c_T .

Влияние неучтенных в работе факторов будет рассмотрено в последующих публикациях. Кроме того, в списке литературы представлены работы, в которых описано влияние некоторых дополнительных факторов – работы Богуславского Л. Д., Савина В. К., Езерского В. А., Монастырева П. В., Клычникова Р. Ю., Самарина О. Д., Гагарина В. Г. и др. [2-39, 53].

Литература

1. Сокольский В. А. Принципы Экономичности и их выражение в современном строительстве. С.-Петербург. 1910. 538 С.
2. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. Москва, Стройиздат. 1985. 336 С.
3. Гагарин В. Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Сборник «Труды I Всероссийской научно-технической конференции». 2008. С. 24-62.
4. Справочное пособие «Расчет и проектирование ограждающих конструкций» к СНиП 2-3-79 «Строительная теплотехника». НИИ строит, физики. М.: Стройиздат, 1990.
5. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2-6.
6. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 2-6.
7. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4-12.
8. Гагарин В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8-16.
9. Гагарин В. Г., Козлов В. В. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2010. № 4. С. 52-61.

10. Гагарин В. Г. К обоснованию повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Стройпрофиль. 2010. № 1. С. 21.
11. Гагарин В. Г., Козлов В. В. О нормировании теплопотерь через оболочку здания // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 279-286.
12. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2009. № 1-3.
13. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий - Ч. 2. // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2009. № 2. С. 14.
14. Гагарин В. Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 41-47.
15. Гагарин В. Г. Об окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Новости теплоснабжения. 2002. № 1. С. 3.
16. Гагарин В. Г. Экономические аспекты повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий в условиях рыночной экономики // Светопрозрачные конструкции. 2002. № 3. С. 2.
17. Горшков А. С., Гладких А. А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246-250.
18. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13.
19. Кнатько М. В., Ефименко М. Н., Горшков А. С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 2. С. 50-53.
20. Немова Д. В. Анализ целесообразности увеличения толщины теплоизолирующего слоя в системах навесных вентилируемых фасадов (НВФ) в целях повышения энергоэффективности // Вестник Московского государственного строительного университета. 2011. № 7. С. 98-103.
21. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 7-11.
22. Гошка Л. Л. К вопросу об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в зданиях // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 38-42.
23. Гошка Л. Л. Системный подход к энергосбережению в инженерных сетях зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 66-71.
24. Табунщиков Ю. А. Лицом к проблеме энергосбережения // Архитектура и строительство Москвы. 2010. Т. 554. № 6. С. 2-13.
25. Дацюк Т. А. Инженерные аспекты энергосбережения зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 326-328.
26. Савин В. К. Новые подходы к оценке энергосбережения и энергетической эффективности в строительной отрасли // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 241-245.
27. Грызлов В. С. Технико-экономическая оценка повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе // Вестник Череповецкого государственного университета. 2010. № 3. С. 74-78.
28. Савин В. К. Упрощенная модель минимизации расхода суммарной энергии, идущей на строительство и эксплуатацию зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 80-84.
29. 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.
30. Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий / Береговой А. М., Береговой В. А., Мальцев А. В., Петрянина М. А. // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 107-111.
31. Езерский В. А., Монастырев П. В., Клычников Р. Ю. Влияние параметров теплоизоляции элементов жилого дома на расход тепловой энергии // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 291-296.
32. Бутовский И. Н. Особенности теплотехнического расчета теплозащиты и энергопотребления современных жилых и общественных зданий при оценке их энергоэффективности // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 356-361.

33. Петрухин А. Б., Опарина Л. А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2011. № 3. С. 92-95.
34. Ерофеев П. Ю. Особенности и основные направления ресурсосбережения в концепции устойчивого развития экономики. // Экономическое возрождение России. 2006. № 3. С. 31-32.
35. Федяева П. В., Шеина С. Г. Комплексная оценка энергосберегающих мероприятий при эксплуатации объектов недвижимости // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 165-166.
36. Аверьянова О. В. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 53-59.
37. Самарин О. Д. О влиянии изменения климата на окупаемость дополнительного утепления нестепрозрачных ограждений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 561-563.
38. Самарин О. Д., Зайцев Н. Н. Влияние ориентации остекленных фасадов на суммарное энергопотребление жилых зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8. С. 16-20.
39. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Шилкин Н.В. Москва, АВОК-ПРЕСС. 2005. 122 с.
40. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
41. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation // Springer. 1983. 512 p.
42. Govan F. A. Thermal Insulation, Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s. Astm Intl. 1983. 890 p.
43. Eastop D., Croft D. R. Energy Efficiency. Longman. 1990. 400 p.
44. Raymond C. Bryant. Managing Energy for Buildings. Government Inst. 1983. 807 p.
45. Richard R. Vaillencourt. Simple Solutions to Energy Calculations, Fourth Edition. Fairmont Press. 2007. 225 p.
46. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone / W. Guoa, X. Qiaoa, Y. Huang, M. Fanga, X. Hanb. // Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp.196-203.
47. Wei Li, Jinzhong Zhu, Zhimin Zhu. The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory // Energy Procedia. Vol.17. Part A. 2012. Pp. 227–232.
48. Na Na Kanga, Sung Heui Choa, Jeong Tai Kimb. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior // Energy and Buildings. Vol. 46. 2012. Pp. 112–122.
49. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Procedia. Volume 14. 2012. Pages 1523–1527.
50. Uygunođlu T., Keçebaşb A. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks // Energy and Buildings. Vol. 43. Issue 9. 2011. Pp. 2077–2085.
51. Johannes Reichla, Andrea Kollmann. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options // Applied Energy. Vol. 88, Issue 2. 2011. Pp. 422–431.
52. 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 // Energy and Buildings. Vol. 42. Issue 5. 2010. Pp. 618–629.
53. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4-14.

References

1. Sokol'skij V. A. *Principy Ekonomichnosti i ih vyrazhenie v sovremennom stroitel'stve* [The principles of Economic feasibility and its expression in modern construction]. Saint-Petersburg. 1910. 538 p. (rus)
2. Boguslavskij L. D. *Snizhenie rashoda jenergii pri rabote sistem otopenija i ventiljacii* [Decrease of power consumption during the work of heating and ventilation systems] Moscow, Strojizdat. 1985. 336 p. (rus)
3. Gagarin V. G. *Ekonomicheskij analiz povyshenija urovnja teplozashhity ograzhdajushhijh konstrukcij zdaniij* // Sbornik "Trudy I Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii". 2008. Pp. 24-62. (rus)
4. *Spravochnoe posobie «Raschet i proektirovanie ograzhdajushhijh konstrukcij» k SNiP 2-3-79 «Stroitel'naja teplotehnika»*. NII stroit, fiziki. Moscow: Strojizdat, 1990. (rus)

5. Gagarin V. G., Kozlov V. V. *Trebovaniya k teplozashhite i jenergeticheskoj jeffektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP "Teplovaja zashhita zdaniy" // Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2011. No. 8. Pp. 2-6. (rus)
6. Gagarin V. G., Kozlov V. V. *Trebovaniya k teplozashhite i jenergeticheskoj jeffektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaja zashhita zdaniy» // Construction materials*. 2011. No. 8. Pp. 2-6. (rus)
7. Gagarin V. G., Kozlov V. V. *Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij // Construction materials*. 2010. No. 12. Pp. 4-12. (rus)
8. Gagarin V. G. *Makroekonomicheskie aspekty obosnovaniya energosberegajushhih meroprijatij pri povyshenii teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy // Construction materials*. 2010. No. 3. Pp. 8-16. (rus)
9. Gagarin V. G., Kozlov V. V. *O kompleksnom pokazatele teplovoj zashhity obolochki zdaniya // AVOK: ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2010. No. 4. Pp. 52-61. (rus)
10. Gagarin V. G. *K obosnovaniyu povysheniya teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy // Strojprofil'*. 2010. No. 1. Pp. 21. (rus)
11. Gagarin V. G., Kozlov V. V. *About standartization heat losses through envelopment of the building // Academia. Architecture and Construction*. 2010. No. 3. Pp. 279-286. (rus)
12. Gagarin V. G. *Metody e'konomicheskogo analiza povysheniya urovnya teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy // AVOK: ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2009. No. 1-3. (rus)
13. Gagarin V. G. *Metody e'konomicheskogo analiza povysheniya urovnya teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy - Ch. 2. // AVOK: ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2009. No. 2. Pp. 14. (rus)
14. Gagarin V. G. *E'konomicheskij analiz povysheniya urovnya teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy // Construction materials*. 2008. No. 8. Pp. 41-47. (rus)
15. Gagarin V. G. *Ob okupaemosti zatrat na povyshenie teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy // Novosti teplosnabzheniya*. 2002. No. 1. Pp. 3. (rus)
16. Gagarin V. G. *E'konomicheskie aspekty povysheniya teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy v usloviyax rynochnoj e'konomiki // Svetoprozrachnye konstrukcii*. 2002. No. 3. Pp. 2. (rus)
17. Gorshkov A., Gladkikh A. *Measures for energy efficiency in construction // Academia. Architecture and Construction*. 2010. No. 3. Pp. 246-250. (rus)
18. Gorshkov A. S. *E'nergoeffektivnost' v stroitel'stve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu e'nergotrebleniya zdaniy // Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 1. Pp. 9-13. (rus)
19. *Knat'ko M. V., Efimenko M. N., Gorshkov A. S. K voprosu o dolgovechnosti i e'nergoeffektivnosti sovremennyh ograzhdajushhih stenovyh konstrukcij zhilyh, administrativnyh i proizvodstvennyh zdaniy // Magazine of Civil Engineering*. 2008. No. 2. Pp. 50-53. (rus)
20. Nemova D. V. *The analysis of expediency of increase in the thickness of the insulant in systems of rear ventilated facades with a view of power efficiency increase // Vestnik MGSU*. 2011. No. 7. Pp. 98-103. (rus)
21. Nemova D. V. *Navesnye ventiliruemye fasady: obzor osnovnyh problem // Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 5. Pp. 7-11. (rus)
22. Goshka L. L. *K voprosu ob e'nergosberezhenii i o povyshenii e'nergeticheskoj e'ffektivnosti v zdaniyax // Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 5. Pp. 38-42. (rus)
23. Goshka L. L. *Sistemnyj podxod k e'nergosberezheniyu v inzhenernyh setyax zdaniy // Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 1. Pp. 66-71. (rus)
24. Tabunshhikov Yu. A. *Licom k probleme e'nergosberezheniya // Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy*. 2010. Vol. 554. No. 6. Pp. 2-13. (rus)
25. Dacyuk T. A. *Inzhenernye aspekty e'nergosberezheniya zdaniy // Academia. Architecture and Construction*. 2009. No. 5. Pp. 326-328. (rus)
26. Savin V. K. *New approaches to an estimation of power savings and power efficiency in building branch // Academia. Architecture and Construction*. 2010. No 3. Pp. 241-245. (rus)
27. Gryzlov V. S. *Feasibility study of improving heat-shielding of protecting constructions in the region // Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. No. 3. Pp. 74-78. (rus)
28. Savin V. K. *The Simplified pattern of Consumption Minimization of the Total Energy Which is Used for Construction and Operation of Buildings // Academia. Architecture and Construction*. 2010. No. 1. Pp. 80-84. (rus)

29. Ezersky V. A., Monastirev P. V., Klychnikov R. Y. Method of determining the limit of building's service providing profitability of its thermo modernization // *Academia. Architecture and Construction*. 2010. No.3. Pp. 357-362. (rus)
30. Thermal efficiency of the residential buildings during their maintenance / Beregovoi A. M., Beregovoi V. A., Maltsev A. V., Petryanina M. A. // *Regional architecture and engineering*. 2012. No. 1. Pp. 107-111. (rus)
31. Ezersky V. A., Monastirev P. V., Klychnikov R. Y. *Vliyanie parametrov teploizolyatsii e'lementov zhilogo doma na rasxod teplovoj e'nergii* // *Academia. Architecture and Construction*. 2009. No. 5. Pp. 291-296. (rus)
32. *Butovskij I. N. Osobennosti teplotexnicheskogo rascheta teplozashhity i e'nergopotrebleniya sovremennyx zhilyx i obshhestvennyx zdaniy pri ocenke ix e'nergoeffektivnosti* // *Academia. Architecture and Construction*. 2009. No. 5. Pp. 356-361. (rus)
33. Petruhin A. B., Oparina L. A. Forming integral indicator of power efficiency of buildings // *Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. seriya: e'konomika, finansy i upravlenie proizvodstvom*. 2011. No.3. Pp. 92-95. (rus)
34. *Erofeev P. Yu. Osobennosti i osnovnye napravleniya resursosberezheniya v koncepcii ustojchivogo razvitiya e'konomiki* // *E'konomicheskoe vozrozhdenie Rossii*. 2006. No. 3. Pp. 31-32. (rus)
35. Sheina S. G., Fedyaeva P. V. Complex Appraisal of the Energy-Saving Actions at Application Amount of Housing // *Academia. Architecture and Construction*. 2010. No. 3. Pp. 165-166. (rus)
36. Averyanova O. V. Economic efficiency of energy saving solutions // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 5. Pp. 53-59. (rus)
37. *Samarin O. D. O vliyani izmeneniya klimata na okupaemost' dopolnitelnogo utepleniya nesvetoprozrachnyx ograždenij* // *Academia. Architecture and Construction*. 2009. No. 5. Pp. 561-563. (rus)
38. *Samarin O. D., Zajcev N. N. Vliyanie orientacii osteklennyx fasadov na summarnoe e'nergopotreblenie zhilyx zdaniy* // *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 8. Pp. 16-20. (rus)
39. *Rukovodstvo po ocenke e'konomicheskoy e'ffektivnosti investicij v e'nergosberegayushhie meropriyatiya* / *Dmitriev A. N., Tabunshnikov Yu. A., Kovalev I. N., Shilkin N. V.* Moscow, AVOK-PRESS. 2005. 122 p. (rus)
40. Federal'nyj zakon № 261-FZ "Ob e'nergosberezhenii i o povyshenii e'nergeticheskoy e'ffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii" (rus)
41. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. *Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation* // Springer. 1983. 512 p.
42. Govan F. A. *Thermal Insulation, Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s*. Astm Intl. 1983. 890 p.
43. Eastop D., Croft D. R. *Energy Efficiency*. Longman. 1990. 400 p.
44. Raymond C. Bryant. *Managing Energy for Buildings*. Government Inst. 1983. 807 p.
45. Richard R. Vaillencourt. *Simple Solutions to Energy Calculations, Fourth Edition*. Fairmont Press. 2007. 225 p.
46. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone / W. Guoa, X. Qiaoa, Y. Huang, M. Fanga, X. Hanb. // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 50. Pp. 196-203.
47. Wei Li, Jinzhong Zhu, Zhimin Zhu. The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory // *Energy Procedia*. Vol.17. Part A. 2012. Pp. 227–232.
48. Na Na Kanga, Sung Heui Choa, Jeong Tai Kimb. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior // *Energy and Buildings*. Vol. 46. 2012. Pp. 112–122.
49. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. *Energy Procedia*. Volume 14. 2012. Pages 1523–1527.
50. Uygunođlua T., Keçebaşb A. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks // *Energy and Buildings*. Vol. 43. Issue 9. 2011. Pp. 2077–2085.
51. Johannes Reichla, Andrea Kollmann. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options // *Applied Energy*. Vol. 88, Issue 2. 2011. Pp. 422–431.
52. 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 // *Energy and Buildings*. Vol. 42. Issue 5. 2010. Pp. 618–629.
53. Influence of building envelope thermal protection on heat loss value in the building / Vatin N. I., Nemova D. V., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. // *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 8(34). Pp. 4-14.