Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2 (17). 2014. 82-106

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий

А.С. Горшков[1], П.П. Рымкевич[2], Д.В. Немова[3], Н.И. Ватин[4]

[1,3,4]ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

[2]ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, 197082, Россия, Санкт-Петербург, Ждановская ул., 13.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 699.86

Efficient Energy Management SE 693

История

Подана в редакцию 17 января 2014
Оформлена 28 февраля 2014
Согласована 28 февраля 2014

Ключевые слова

наружные стены;
теплоизоляция;
расчетные климатические условия;
градусо-сутки отопительного периода;
трансмиссионные потери тепловой энергии;
реновация фасадов;
инвестиции;
срок окупаемости инвестиций;
энергосбережение;

АННОТАЦИЯ

В работе представлена методика расчета сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий. Рассмотрены мероприятия, направленные на повышение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий. Расчеты выполнены применительно к теплоизоляционным изделиям из каменной ваты на синтетическом связующем. Приведены примеры расчета простой окупаемости дополнительного утепления наружных стен зданий и окупаемости, рассчитанной с учетом роста тарифов на тепловую энергию. Объектами исследования выбраны многоквартирное панельное жилое здание, а также одноквартирный жилой каменный дом. Расчеты выполнены применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Содержание

1. *Контактный автор:*
+7 (921) 388 4315; alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)
2. +7 (911) 224 5913; rymkewitch@yandex.ru (Рымкевич Павел Павлович, к.ф-м.н., профессор)
3. +7 (921) 890 0267; darya0690@mail.ru (Немова Дарья Викторовна, инженер)
4. +7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор, директор Инженерно-строительного института)

Введение

Вопросы энергосбережения актуальны для экономики любой страны [1-17]. Однако не менее важными являются вопросы окупаемости вложенных в энергосбережение средств, что обуславливает их экономическую эффективность [18-20].

Чем выше уровень тепловой защиты наружных ограждающих конструкций (стен, окон, покрытий и т.п.), тем меньшими оказываются потери тепла через них и тем меньше требуется подводить к зданию тепловой энергии для компенсации теплопотерь. Таким образом, повысив уровень тепловой защиты (теплоизоляции) наружных ограждающих конструкций можно добиться сокращения потерь тепловой энергии и как следствие, уменьшить затраты на эксплуатацию здания (уменьшить коммунальные платежи на отопление для зданий, оборудованных общедомовыми или индивидуальными счетчиками тепловой энергии). На этом принципе основан один из путей энергосбережения и повышения энергетической эффективности существующих зданий.

Большинство эксплуатируемых на территории Российской Федерации жилых объектов не соответствуют нормативным требованиям по уровню тепловой защиты ограждающих конструкций [21]. С 2000 года введением изменений №3 в СНиП II-3-79* [22] и последующим утверждением на основании этих изменений СНиП 23-02-2003 [23] требования к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций зданий значительно возросли. Это означает, что все здания постройки до 2000-го года не удовлетворяют современным требованиям к уровню тепловой защиты, т.е. они морально устарели и требуют реконструкции (утепления фасадов и кровли, замены наружных входных дверей и светопрозрачных ограждающих конструкций на более энергоэффективные).

Цель исследования

Целью настоящей работы является расчет сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение уровня тепловой защиты фасадов (наружных стеновых конструкций) 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 окупаемость;
- сложная окупаемость с учетом роста тарифов на тепловую энергию.

При расчете простой окупаемости не учитываются:

- дисконтирование;
- инфляция;
- проценты по кредиту (в случае использования заемных средств на проведение мероприятий по утеплению наружных стен здания);
- рост тарифов на тепловую энергию.

Применительно для данной модели будем считать, что норма дисконтирования соответствует инфляции, и они покрывают друг друга в полной мере за рассматриваемый промежуток времени. Будем считать также, что для утепления фасадов не используются заемные средства (кредиты). В случае с многоквартирным жилым зданием для утепления фасадов используются средства, накопленные жильцами на капитальный ремонт, в случае с владельцами жилого одноквартирного дома – личные средства домовладельца. Тем самым, мы получаем приближенную модель, которую впоследствии можем усложнять введением соответствующих коэффициентов или функциональных зависимостей.

При расчете сложной окупаемости будем учитывать рост тарифов на тепловую энергию. Примем следующие параметры динамики роста тарифов (в год): 5, 10 и 15 %.

Объекты исследования

В качестве объектов исследования приняты:

- многоквартирное панельное жилое здание;

– одноквартирный жилой дом с наружными стенами из пустотного керамического кирпича плотностью 1400 кг/м^3 на цементно-песчаном растворе.

Исходные данные для расчета

В качестве исходных климатических данных для проектирования выбраны:

– применительно для жилого многоквартирного здания – климатические условия города Санкт-Петербурга;

– применительно для жилого одноквартирного дома – климатические условия Ленинградской области (для расчета приняты климатические параметры п.г.т. Свирица).

Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры здания для климатических условий города Санкт-Петербурга приняты по СП 131.13330 [24] и представлены в таблице 1.

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

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха	$t_н$	°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	$t_в$	°C	20

Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры для населенных пунктов, расположенных на территории Ленинградской области, приняты согласно СП 131.13330 [24] и представлены в таблице 2.

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 м^2 наружных фасадов.

Исходя из данных, представленных в таблицах 1 и 2, рассчитывается базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций $R_0^{\text{тр}}$. Значение $R_0^{\text{тр}}$ (см. примечание к таблице 3 СП 50.13330 [1]) рассчитывается по формуле:

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \tag{1}$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода (см. данные таблиц 1 и 2);

a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 СП 50.13330 [21] для соответствующих групп зданий; для наружных стен жилых зданий a = 0,00035, b = 1,4.

Таблица 2. Расчетные условия для жилых зданий, расположенных на территории Ленинградской области

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха	$t_н$	°C	- 29
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	- 2,9
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	228
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°C· сут/год	5221
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_в$	°C	20

На основании полученных исходных данных рассчитаем по формуле (1) базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче для двух рассматриваемых вариантов зданий.

Получим:

– для наружных стен многоквартирного жилого здания, расположенного в г. Санкт-Петербурге:

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0{,}0035 \cdot 4537 + 1{,}4 = 2{,}99\ (\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}/\text{Вт});$$

– для наружных стен жилого одноквартирного дома, расположенного на территории Ленинградской области:

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0{,}0035 \cdot 5221 + 1{,}4 = 3{,}23\ (\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}/\text{Вт}).$$

В качестве материала для наружного утепления стен зданий примем плиты из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем марки ТЕХНОФАС (производитель: ООО «Завод ТЕХНО», г. Рязань, филиал ООО «Завод ТЕХНО», Республика Татарстан, г. Заинск). Характеристики плит марки ТЕХНОФАС представлены в таблице 3.

Плиты ТЕХНОФАС предназначены для применения в качестве теплоизоляционного слоя в фасадных системах с тонким штукатурным слоем при новом, строительстве, реконструкции, капитальном и текущем ремонте зданий и сооружений различного назначения (см. Приложение к ТС от 21 мая 2012 г. № 3655-12).

Таблица 3. Характеристики плит из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем марки ТЕХНОФАС

Наименование параметра	Численное значение
Плотность, кг/м^3	145±14
Теплопроводность λ_{25}, Вт/(м·К), не более	0,038
Расчетная теплопроводность для условий эксплуатации А $\lambda_{\text{А}}$, Вт/(м·К), не более	0,040
Расчетная теплопроводность для условий эксплуатации Б $\lambda_{\text{Б}}$, Вт/(м·К), не более	0,042
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па), не менее	0,3
Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, кПа, не менее	45
Водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, кг/м^2, не более	1,0

Методика расчета

Методика расчета эксплуатационных затрат

Рассмотрим вариант утепления наружных стен здания, построенного в Санкт-Петербурге до 2000 года. Примем, что сопротивление теплопередаче наружных стен соответствует требованиям, принятым до 2000 года, и составляет в среднем $R_0^{\text{исх}}$ =1,0 м^2·ºС/Вт. Для расчета теплопотерь через наружные ограждающие конструкции зданий удобно пользоваться величиной, обратной приведенному сопротивлению теплопередаче, которая в международных стандартах называется коэффициентом теплопередачи ограждающих конструкций зданий и обозначается литерой U. Значение коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{R_0}. \qquad (2)$$

Удобство введения коэффициента теплопередачи определяется удобством его размерности: Вт/(м^2·ºС). 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 ºС. Это значит, что при U =1/ R_0= 1 / 1,0 м^2·ºС/Вт = 1 Вт/(м^2·ºС) через стену площадью 1 м^2 и разности температур с разных ее сторон 1 ºС мощность теплового излучения составляет 1 Вт, а при разности 20 ºС будет составлять 20 Вт и т.д. Для расчета количества тепловой энергии (кВт·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 СП 131.13330 [24]. Для примера рассмотрим пример для Санкт-Петербурга с учетом того, что мы рассматриваем жилое здание. Получим, что суммарные потери тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены при величине коэффициента теплопередачи U =1,0 Вт/(м^2·ºС):

$$Q_{\text{кВт·ч}} = \frac{U \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \cdot 24}{1000}, \tag{3}$$

где $t_{\text{в}}$– температура внутреннего воздуха в помещениях жилого здания, принимаемая по ГОСТ 30494 [25] равной 20 ºС;

$t_{\text{от}}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая для климатических условий Санкт-Петербурга по СП 131.13330 [24] равной -1,8 ºС (см. данные таблицы 1), для населенных пунктов, расположенных на территории Ленинградской области -2,9 ºС (см. данные таблицы 2);

$z_{\text{от}}$ – количество суток отопительного периода, принимаемой для жилых зданий, расположенных в Санкт-Петербурге равным 213 суток (таблица 1), для населенных пунктов, расположенных на территории Ленинградской области – 228 суток (таблица 2);

24 – количество часов в сутках;

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

Таким образом, используя формулу (3) мы можем рассчитать средние за отопительный период потери тепловой энергии через 1 м^2, выраженные в кВт·ч. Эту же величину можно выразить в гигакалориях (Гкал), если разделить выражение (3) на 1163, т.к. 1 Гкал=1162,(7) кВт·ч. Расчетом потерь тепловой энергии в Гкал удобнее пользоваться по той причине, что стоимость тепловой энергии для потребителей, так называемый тариф на тепловую энергию, рассчитывается в руб/Гкал. Тогда формула (3) может быть записана в виде:

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \cdot 24}{1000 \cdot 1163}. \tag{4}$$

Здесь обозначения те же, что и в формуле (3), 1163 – переводной коэффициент из кВт·ч в Гкал.

Если отопление здание производится электричеством, то удобнее пользоваться формулой (3), если централизованным отоплением – формулой (4).

Отметим, что выражение $(t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}$, в формулах (3) и (4) в СП 50.13330 [21] обозначает градусо-сутки отопительного периода (сокращенно - ГСОП). Для жилых зданий, расположенных в Санкт-Петербурге величина ГСОП составляет 4537 ºС·сут (таблица 1), для домов, расположенных на территории Ленинградской области – 5221 ºС·сут (таблица 2). Таким образом, формулы (3) и (4) можно привести к более удобному виду:

$$Q_{\text{кВт·ч}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000} = 0{,}024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}; \tag{5}$$

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000 \cdot 1163} = \frac{0{,}024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}}{1163}. \tag{6}$$

Тогда для расчета стоимости эксплуатационных затрат (Э) через 1 м^2 площади стены за один отопительный период выражение в формуле (6) необходимо умножить на стоимость тепловой или электрической энергии (в зависимости от принятой в здании системы отопления и используемых для отопления источников энергоснабжения).

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

$$\text{Э} = Q \cdot \text{с}_{\text{т}}, \tag{7}$$

где Q - суммарные потери тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены рассматриваемого здания, рассчитываемые для зданий, отапливаемых централизованно (от городской ТЭЦ) по формуле (6), для зданий, отапливаемых электрическими нагревателями – по формуле (5);

$\text{с}_{\text{т}}$ - величина тарифа, принимаемая в:

– руб/Гкал – при централизованном отоплении от городской ТЭЦ;

– руб/кВт·ч – при электрическом теплоснабжении.

Перейдем непосредственно к оценке экономической эффективности дополнительного утепления и расчету сроков окупаемости дополнительного утепления наружных стен существующих зданий. Для этого воспользуемся методом приведенных затрат.

Методика расчета сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий по дополнительному утеплению фасадов

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

Положим, что

$$П_1 = К_1 + Э_1 \cdot Т; \tag{8}$$

$$П_2 = К_2 + Э_2 \cdot Т, \tag{9}$$

где $П_1$, $П_2$ – затраты на капитализацию и эксплуатацию наружных стен, приведенные к 1 м^2 площади, руб/м^2;

$К_1$ – капитальные затраты на возведение 1 м^2 наружной стены (с учетом того, что мы рассматриваем существующее здание, $К_1$=0), руб/м^2;

$К_2$ – капитальные затраты на дополнительное утепление, руб/м^2;

$Э_1$ – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены за один отопительный сезон до проведения утепления, руб/м^2·год;

$Э_2$ – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены за один отопительный сезон после утепления стен, руб/м^2·год;

Т – время, исчисляемое в годах.

Условием окупаемости для принятой модели будет равенство приведенных затрат $П_1$ и $П_2$, т.е.

$$П_1 = П_{2,} \tag{10}$$

С учетом уравнений (8), (9) уравнение (10) можно записать в виде:

$$К_1 + Э_1 \cdot Т = К_2 + Э_2 \cdot Т. \tag{11}$$

Или с учетом того, что $К_1$=0:

$$Э_1 \cdot Т = К_2 + Э_2 \cdot Т. \tag{12}$$

Тогда из уравнения (12) можно получить следующую формулу для расчета срока простой окупаемости:

$$Т = \frac{К_2}{Э_1 - Э_2} = \frac{ΔК}{ΔЭ}, \tag{13}$$

где ΔК – разность капитальных затрат, приведенных к 1 м^2 наружной стены (с учетом того, что в рассматриваемом примере $К_1$=0: ΔК=$К_2$-$К_1$=$К_2$);

ΔЭ – разность потерь тепловой энергии через 1 м^2 наружной стены до проведения мероприятий по утеплению стен ($Э_1$) и после утепления ($Э_2$).

С учетом полученных ранее выражений (5) и (6) ΔЭ можно определить по формуле:

$$ΔЭ = Э_1 - Э_2 = Q_1 \cdot с_т - Q_2 \cdot с_т = \frac{0{,}024 \cdot U_1 \cdot ГСОП}{1163} \cdot с_т - \frac{0{,}024 \cdot U_2 \cdot ГСОП}{1163} \cdot с_т = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0{,}024 \cdot ГСОП}{1163} \cdot с_т. \tag{14}$$

Расчет простой окупаемости

Расчет для многоквартирного жилого здания, расположенного в г. Санкт-Петербурге

Рассмотрим следующую модель.

Существующее здание постройки до 2000 года, расположенное в г. Санкт-Петербурге. Примем, что приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен $R_0^{\text{исх}}$ соответствует требованиям СНиП II-3-79* [22] и составляет 1,0 м^2·ºС/Вт (что соответствует санитарно-гигиеническим требованиям применительно для климатических условий Санкт-Петербурга). Соответственно, коэффициент теплопередачи наружных стен: U =1,0 Вт/(м^2·ºС). Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для жилых зданий в Санкт-Петербурге, как показано в таблице 1, составляет 4537 ºС·сут. Отопление – централизованное (от городской ТЭЦ), стоимость тепловой энергии $c_т$ – 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 м^2·ºС/Вт по СП 50.13330 [21]) и рассчитать срок окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению. В качестве утеплителя примем минераловатный марки ТЕХНОФАС, с последующим оштукатуриванием стены по слою утеплителя.

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

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр}} - R_0^{\text{исх}}\right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r}, \tag{15}$$

где $R_0^{\text{тр}}$ - требуемое (базовое) значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания, м^2·ºС/Вт;

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

$\lambda_{\text{ут}}$ – теплопроводность утеплителя, Вт/ м·ºС; принимается для условий эксплуатации Б ($\lambda_Б$);

r – коэффициент теплотехнической однородности дополнительного слоя утеплителя.

В формуле (15) не учтено термическое сопротивление штукатурного слоя ввиду его малости по сравнению с термическим сопротивлением слоя утеплителя.

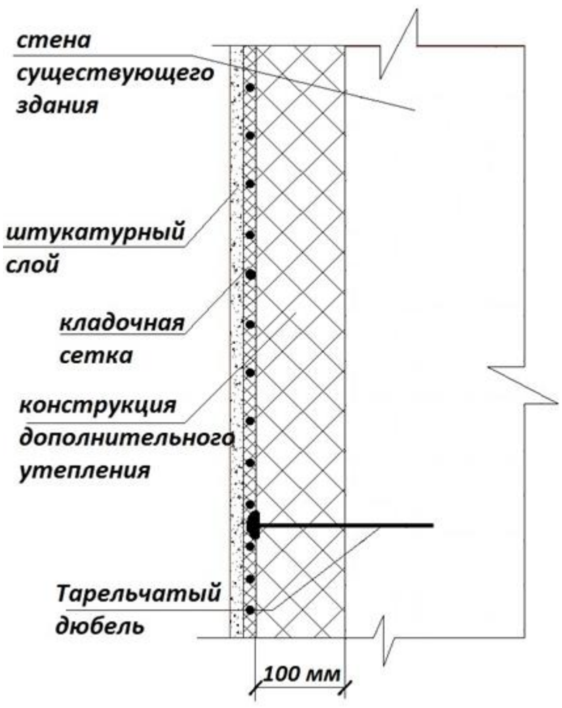

Рисунок 1. Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены многоквартирного панельного здания

Примем для минераловатного утеплителя марки ТЕХНОФАС коэффициент теплопроводности в условиях эксплуатации Б ($\lambda_Б$), равным 0,042 Вт/(м·ºС), а коэффициент теплотехнической однородности r равным 0,87 (при количестве дюбелей диаметром 6 мм на 1 м^2 площади стены в количестве 4 штук).

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

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

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр}} - R_0^{\text{исх}}\right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r} = (2{,}99 - 1{,}0) \cdot \frac{0{,}042}{0{,}87} \approx 0{,}1\ (\text{м}).$$

Соответственно для дальнейших экономических расчетов примем, что требуемая толщина утеплителя составляет 100 мм. Схематичное изображение рассматриваемой стеновой конструкции представлено на рисунке 1.

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:

$$\Delta Э = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0{,}024 \cdot ГСОП}{1163} \cdot c_т = (1 - 0{,}335) \cdot \frac{0{,}024 \cdot 4537}{1163} \cdot 1351{,}25 \approx 84{,}1\ (\frac{руб}{м^2}).$$

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего панельного здания ΔК, рассчитанные согласно ТЕР 26-01-045-03, составляют 1662,6 руб/м^2.

Подставим значения ΔК и ΔЭ в формулу (14). Получим срок простой окупаемости утепления наружной стены существующего здания при толщине утеплителя 100 мм (рисунок 1):

$$Т = \frac{\Delta К}{\Delta Э} = \frac{1662{,}6}{84{,}1} = 19{,}8\ (лет).$$

Отметим, что срок окупаемости Т=19,8 лет получен без учета роста тарифов на тепловую энергию.

По этой причине, полученное значение срока окупаемости 19,8 лет можно рассматривать только как оценочную величину.

Примечание *– выполненный выше расчет справедлив при условии наличия в многоквартирном жилом здании автоматизированного теплового пункта (АИТП) с автоматическим регулированием параметров теплоносителя.*

Следует отметить, что при большей толщине утеплителя (> 100 мм), срок простой окупаемости будет уменьшаться (составит менее 19,8 лет), т.к. капитальные затраты будут увеличиваться незначительно по сравнению с уменьшением эксплуатационных затрат. Связано это с тем, что основные расходы в структуре капитальных затрат составляют расходы по нанесению штукатурного слоя, которые останутся неизменными для любой толщины утеплителя.

Расчет для жилого одноквартирного дома, расположенного на территории Ленинградской области

Рассмотрим аналогичную модель применительно для частного одноквартирного жилого дома, построенного из керамического пустотного кирпича плотностью 1400 кг/м^3 на цементно-песчаном растворе толщиной 510 мм (2 кирпича) с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_0^{исх}$ = 0,95 м^2·°С/Вт, что соответствует коэффициенту теплопередачи U = 1,05 Вт/(м^2·°С). Требуемое сопротивление теплопередаче $R_0^{тр}$ для жилого дома, расположенного на территории Ленинградской области составляет 3,23 м^2·°С/Вт, что соответствует коэффициенту теплопередачи наружной стены U = 0,31 Вт/(м^2·°С). Коэффициент теплотехнической однородности r для кладки из керамического пустотного кирпича примем равным 0,85.

Рассчитаем по формуле (15) требуемую толщину утеплителя. Получим:

$$\delta_{тр} = \left(R_0^{тр} - R_0^{исх}\right) \cdot \frac{\lambda_{ут}}{r} = (3{,}23 - 0{,}95) \cdot \frac{0{,}042}{0{,}85} = 0{,}113 \approx 0{,}12\ (м).$$

Соответственно для дальнейших экономических расчетов примем, что требуемая толщина утеплителя составляет 120 мм. Схематичное изображение рассматриваемой стеновой конструкции представлено на рисунке 2.

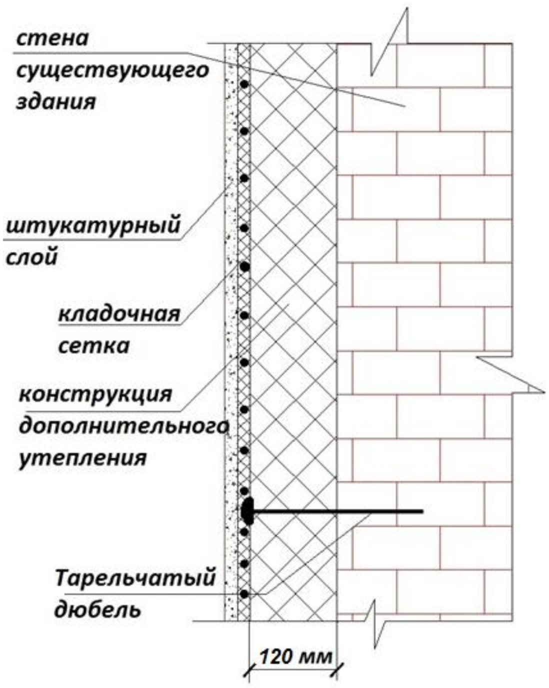

Рисунок 2. Схематичное изображение рассматриваемой конструкции наружной стены одноквартирного жилого кирпичного дома

Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для жилых домов, расположенных на территории

Ленинградской области, составляет 5221 ºС·сут (см. данные табл. 2). Отопление – индивидуальное, электрическое. В соответствии с приказом Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской области N 167-п от 29 ноября 2012 г. стоимость электрической энергии для городского населения составляет 3,14 руб/кВт·ч, для сельского населения – 2,20 руб/кВт·ч.

Тогда для городского населения сокращение эксплуатационных затрат (потерь тепловой энергии через 1 м^2 в течение одного отопительного периода) после утепления наружных стен составит:

$$\Delta Э = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0{,}024 \cdot ГСОП}{1163} \cdot c_т = (1{,}05 - 0{,}31) \cdot 0{,}024 \cdot 5221 \cdot 3{,}14 \approx 291{,}2 \left(\frac{руб}{м^2}\right).$$

Для населения, проживающего в сельской местности (2,20 руб/кВт·ч), уменьшение эксплуатационных затрат составит:

$$\Delta Э = (U_1 - U_2) \cdot \frac{0{,}024 \cdot ГСОП}{1163} \cdot c_т = (1{,}05 - 0{,}31) \cdot 0{,}024 \cdot 5221 \cdot 2{,}20 \approx 204{,}0 \left(\frac{руб}{м^2}\right).$$

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего кирпичного дома изделиями ТЕХНОФАС толщиной 120 мм с последующим нанесением тонкого штукатурного покрытия ΔК составляют 2038,5 руб/м^2 (согласно ТЕР 26-01-045-03).

Тогда срок простой окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению наружных стен жилого одноквартирного дома, выполненных из керамического пустотного кирпича плотностью 1400 кг/м^3 на цементно-песчаном растворе толщиной 510 мм составит:

– для городского населения Ленинградской области:

$$T = \frac{\Delta К}{\Delta Э} = \frac{2038{,}5}{291{,}2} = 7\ (лет).$$

– для сельского населения:

$$T = \frac{\Delta К}{\Delta Э} = \frac{2038{,}5}{204{,}0} = 10\ (лет).$$

Расчет окупаемости дополнительного утепления фасадов с учетом роста тарифов на тепловую энергию

Тарифы на тепловую энергию в России возрастают с каждым годом. Это приводит к увеличению затрат на эксплуатацию зданий. В таблице 4 представлена динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге за период с 2006-го по 2011-й годы.

Таблица 4. Динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге с 2006 по 2011 годы при централизованном отоплении зданий

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

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

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 ($\Delta c_т$)	+ 16,0

Таким образом, за рассматриваемый период времени (с 2006 по 2011 г.г.) средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию в год $\Delta c_т$ составила 16 %. Если принять эту величину в качестве базовой для прогнозирования стоимости тепловой энергии на последующие годы, то из представленной схемы следует, что каждые 5 лет тарифы на тепло должны возрастать в 2,1 раза ($1{,}16^5$). Это же означает, что если эта динамика сохранится и далее, то через 10 лет они могут вырасти по геометрической прогрессии в 4,4 раза ($1{,}16^{10}$) и т.д. По крайне мере, до сих пор, как свидетельствуют данные, представленные в таблице 4, так и происходит (1050,0 руб/Гкал (2011 год) **/** 500,4 руб/Гкал (2006 год) =2,1).

Правительство Российской Федерации планирует снизить рост тарифов ЖКХ. Но как это будет происходить на практике пока неизвестно, поэтому рассмотрим три возможных сценария:

- среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 5 %;
- среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 10 %;
- среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 15 %.

Результаты расчета представлены в таблицах 6-14 (Приложение 1).

Заключение

В работе представлена методика расчета сроков простой окупаемости и окупаемости с учетом роста тарифов на тепловую энергию энергосберегающих мероприятий, направленных на дополнительное утепление фасадов двух типов рассматриваемых зданий:

- жилого многоквартирного панельного здания, расположенного на территории Санкт-Петербурга с централизованным отоплением от городской ТЭЦ;
- жилого одноквартирного каменного дома, расположенного на территории Ленинградской области, с индивидуальным электрическим отоплением.

В качестве материала для утепления фасадов приняты плиты из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем марки ТЕХНОФАС с расчетной теплопроводностью $\lambda_Б$ = 0,042 Вт/(м·К). Конструктивное решение – дополнительное утепление фасадов существующих зданий с тонким штукатурным слоем поверх слоя утеплителя (плит ТЕХНОФАС).

Для одноквартирного жилого дома расчеты выполнены применительно для двух типов населения:

- городского;
- сельского.

Толщина уровня теплоизоляции была выбрана исходя из условия обеспечения требуемого уровня тепловой защиты наружных стен зданий (согласно нормативным требованиям свода правил СП 50.13330 [21]):

- 2,99 $м^2$·ºС/Вт – для наружных стен зданий применительно для климатических условий Санкт-Петербурга;
- 3,23 $м^2$·ºС/Вт – для наружных стен зданий применительно для климатических условий населенных пунктов, расположенных на территории Ленинградской области.

Получены следующие результаты.

Простая окупаемость

Срок простой окупаемости дополнительного утепления фасадов существующих зданий составил:

- для многоквартирного жилого панельного здания – не более 20 лет;
- для одноквартирного жилого каменного дома, расположенного в городской местности на территории Ленинградской области – не более 7 лет;
- для одноквартирного жилого каменного дома, расположенного в сельской местности на территории Ленинградской области – не более 10 лет.

Окупаемость с учетом роста тарифов на тепловую энергию

Окупаемость дополнительного утепления фасадов с учетом роста тарифов на тепловую энергию применительно для жилого многоквартирного панельного здания, расположенного в Санкт-Петербурге, составит:

- при росте тарифов 5 % в год – не более 14 лет;
- при росте тарифов 10 % в год – не более 12 лет;
- при росте тарифов 15 % в год – не более 10 лет.

Окупаемость дополнительного утепления фасадов с учетом роста тарифов на тепловую энергию применительно для жилого одноквартирного каменного здания, расположенного в городской местности на территории Ленинградской области (для городского населения), составит:

- при росте тарифов 5 % в год – не более 7 лет;
- при росте тарифов 10 % в год – не более 6 лет;
- при росте тарифов 15 % в год – не более 5 лет.

Окупаемость дополнительного утепления фасадов с учетом роста тарифов на тепловую энергию применительно для жилого одноквартирного каменного здания, расположенного в сельской местности на территории Ленинградской области (для сельского населения), составит:

- при росте тарифов 5 % в год – не более 8 лет;
- при росте тарифов 10 % в год – не более 7 лет;
- при росте тарифов 15 % в год – не более 6 лет.

Полученные результаты периода окупаемости вложенных средств в дополнительное утепление фасадов следует сопоставить с прогнозируемой долговечностью (эксплуатационным сроком службы) принятого конструктивного решения [26-31]. Если период окупаемости окажется меньше прогнозируемого срока службы конструктивного решения, такое решение следует признать экономически целесообразным.

Приложение 1

Расчет окупаемости дополнительного утепления фасадов многоквартирного панельного жилого здания

Таблица 6. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 5 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-1662,6																			
Экономия тепловой энергии		84,10	88,31	92,72	97,36	102,22	107,34	112,70	118,34	124,25	130,47	136,99	143,84	151,03	158,58	166,51	174,84	183,58	192,76	202,40	212,52
Баланс с накоплением		**-1578,5**	**-1490,20**	**-1397,47**	**-1300,12**	**-1197,89**	**-1090,56**	**-977,86**	**-859,52**	**-735,27**	**-604,80**	**-467,81**	**-323,97**	**-172,94**	**-14,36**	**152,16**	**327,00**	**510,57**	**703,33**	**905,73**	**1118,25**

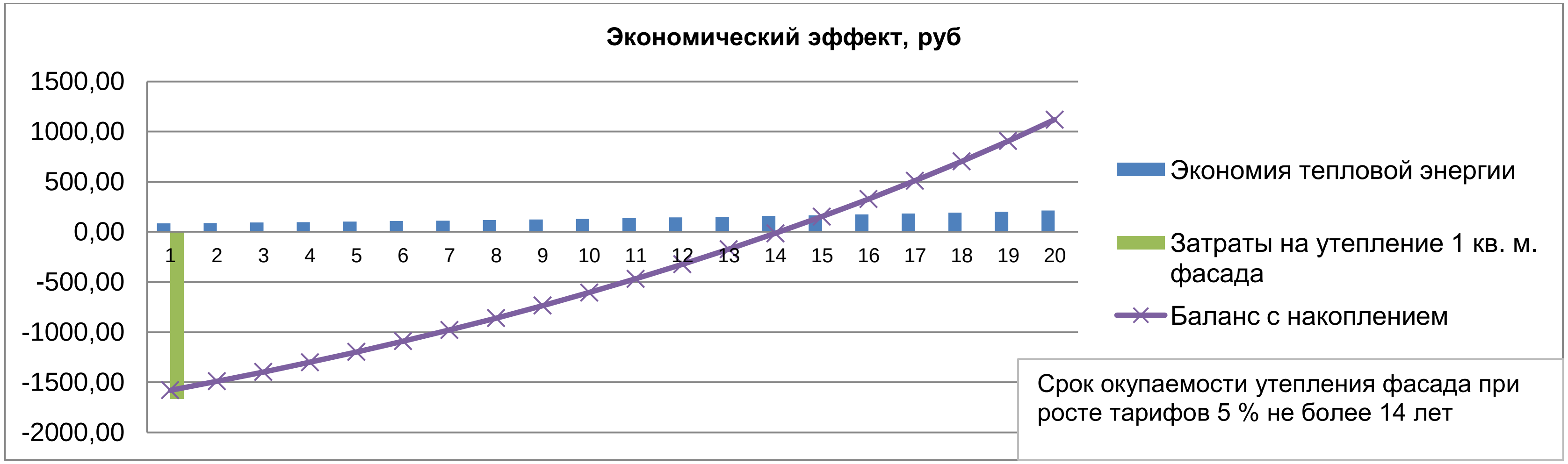

Рисунок 3. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 5%

Таблица 7. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 10 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-1662,6																			
Экономия тепловой энергии		84,10	92,51	101,76	111,94	123,13	135,44	148,99	163,89	180,28	198,30	218,13	239,95	263,94	290,34	319,37	351,31	386,44	425,08	467,59	514,35
Баланс с накоплением		**-1578,5**	**-1485,99**	**-1384,23**	**-1272,29**	**-1149,16**	**-1013,72**	**-864,73**	**-700,84**	**-520,57**	**-322,26**	**-104,13**	**135,82**	**399,76**	**690,10**	**1009,47**	**1360,77**	**1747,21**	**2172,29**	**2639,88**	**3154,23**

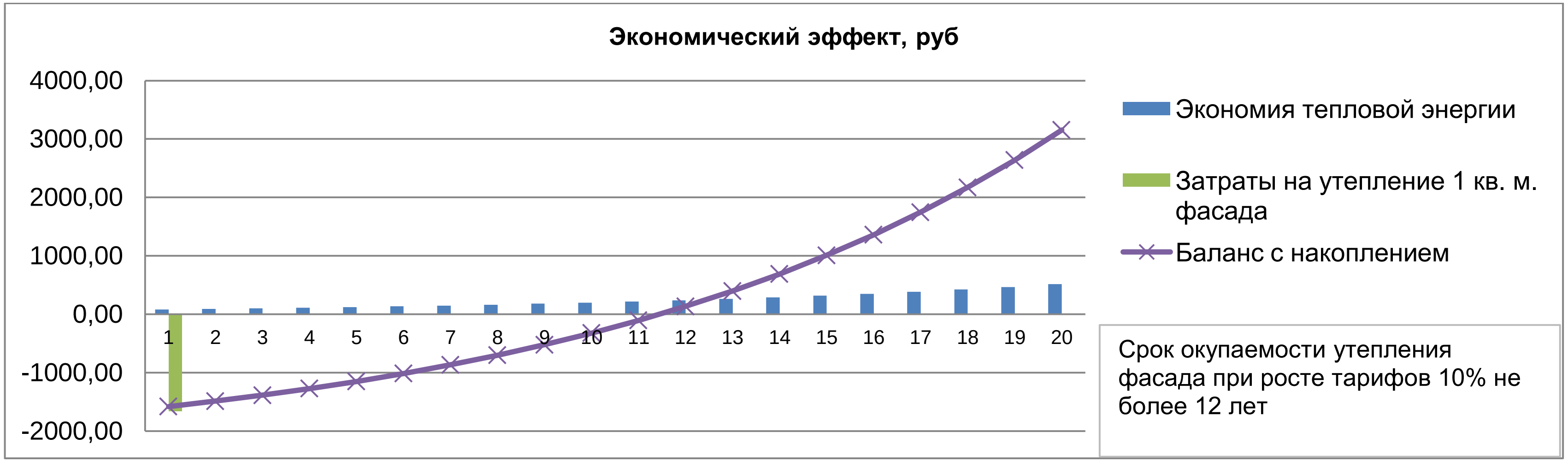

Рисунок 4. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 10 %

Таблица 8. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 15 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-1662,6																			
Экономия тепловой энергии		84,10	96,72	111,22	127,91	147,09	169,16	194,53	223,71	257,26	295,85	340,23	391,27	449,96	517,45	595,07	684,33	786,98	905,02	1040,78	1196,89
Баланс с накоплением		**-1578,5**	**-1481,79**	**-1370,56**	**-1242,66**	**-1095,57**	**-926,41**	**-731,88**	**-508,17**	**-250,91**	**44,94**	**385,17**	**776,44**	**1226,40**	**1743,85**	**2338,91**	**3023,24**	**3810,22**	**4715,24**	**5756,01**	**6952,91**

Рисунок 5. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 15%

Расчет окупаемости дополнительного утепления фасадов одноквартирного жилого каменного дома (для городского населения)

Таблица 9. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 5 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		291,20	305,76	321,05	337,10	353,96	371,65	390,24	409,75	430,24	451,75	474,33	498,05	522,95	549,10	576,56	605,38	635,65	667,44	700,81	735,85
Баланс с накоплением		**-1747,3**	**-1441,54**	**-1120,49**	**-783,39**	**-429,44**	**-57,78**	**332,45**	**742,20**	**1172,44**	**1624,18**	**2098,52**	**2596,57**	**3119,52**	**3668,62**	**4245,18**	**4850,56**	**5486,21**	**6153,65**	**6854,46**	**7590,31**

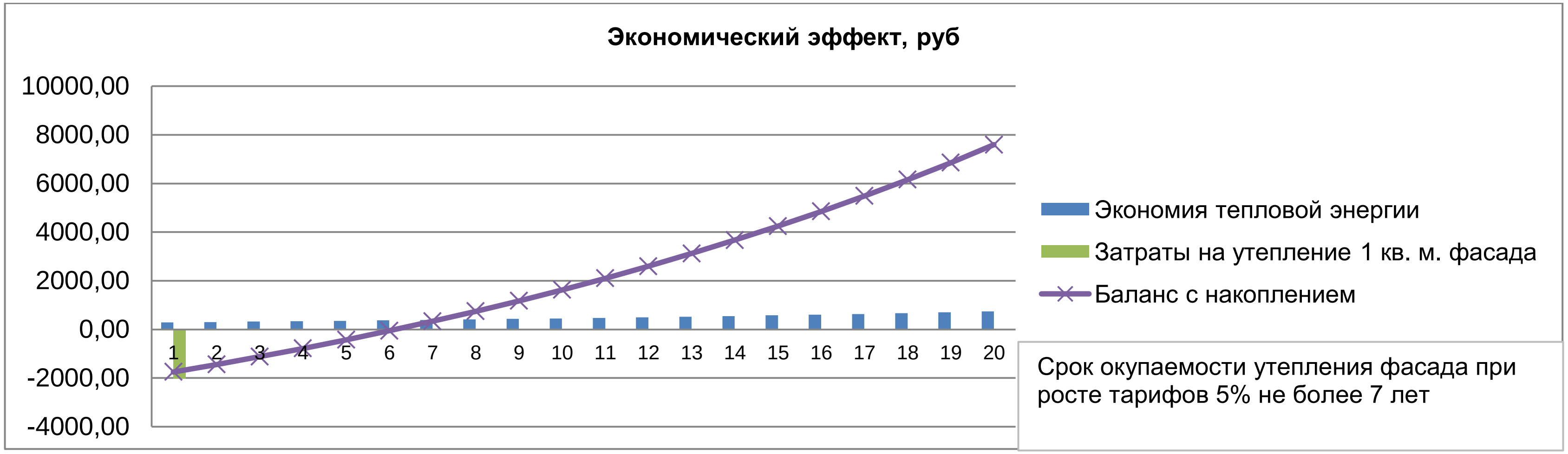

Рисунок 6. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 5%

Таблица 10. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 10 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		291,20	320,32	352,35	387,59	426,35	468,98	515,88	567,47	624,21	686,63	755,30	830,83	913,91	1005,30	1105,83	1216,41	1338,06	1471,86	1619,05	1780,95
Баланс с накоплением		**-1747,3**	**-1426,98**	**-1074,63**	**-687,04**	**-260,69**	**208,29**	**724,16**	**1291,63**	**1915,84**	**2602,48**	**3357,78**	**4188,60**	**5102,51**	**6107,82**	**7213,65**	**8430,06**	**9768,12**	**11239,98**	**12859,03**	**14639,98**

Рисунок 7. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 10%

Таблица 11. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 15 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		291,20	334,88	385,11	442,88	509,31	585,71	673,56	774,60	890,79	1024,41	1178,07	1354,78	1557,99	1791,69	2060,45	2369,51	2724,94	3133,68	3603,73	4144,29
Баланс с накоплением		**-1747,3**	**-1412,42**	**-1027,31**	**-584,43**	**-75,12**	**510,59**	**1184,15**	**1958,75**	**2849,54**	**3873,94**	**5052,01**	**6406,79**	**7964,78**	**9756,47**	**11816,92**	**14186,43**	**16911,37**	**20045,05**	**23648,78**	**27793,07**

Рисунок 8. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 15%

Расчет окупаемости дополнительного утепления фасадов одноквартирного жилого каменного дома (для сельского населения)

Таблица 12. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 5 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		204,00	214,20	224,91	236,16	247,96	260,36	273,38	287,05	301,40	316,47	332,29	348,91	366,35	384,67	403,91	424,10	445,31	467,57	490,95	515,50
Баланс с накоплением		**-1834,5**	**-1620,30**	**-1395,39**	**-1159,23**	**-911,27**	**-650,91**	**-377,53**	**-90,48**	**210,92**	**527,39**	**859,68**	**1208,59**	**1574,95**	**1959,62**	**2363,53**	**2787,63**	**3232,93**	**3700,51**	**4191,46**	**4706,95**

Рисунок 9. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 5%

Таблица 13. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 10 %

		Финансовые показатели, руб																			
		по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		204,00	224,40	246,84	271,52	298,68	328,54	361,40	397,54	437,29	481,02	529,12	582,04	640,24	704,26	774,69	852,16	937,37	1031,11	1134,22	1247,65
Баланс с накоплением		**-1834,5**	**-1610,10**	**-1363,26**	**-1091,74**	**-793,06**	**-464,52**	**-103,12**	**294,42**	**731,71**	**1212,73**	**1741,86**	**2323,89**	**2964,13**	**3668,40**	**4443,09**	**5295,24**	**6232,62**	**7263,73**	**8397,95**	**9645,60**

Рисунок 10. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 10%

Таблица 14. Среднегодовой рост тарифов на тепловую и электрическую энергию 15 %

		Финансовые показатели, руб по годам																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Затраты на утепление 1 кв. м. фасада		-2038,5																			
Экономия тепловой энергии		204,00	234,60	269,79	310,26	356,80	410,32	471,86	542,64	624,04	717,65	825,29	949,09	1091,45	1255,17	1443,44	1659,96	1908,95	2195,30	2524,59	2903,28
Баланс с накоплением		**-1834,5**	**-1599,90**	**-1330,11**	**-1019,85**	**-663,05**	**-252,74**	**219,13**	**761,77**	**1385,81**	**2103,46**	**2928,75**	**3877,84**	**4969,29**	**6224,46**	**7667,90**	**9327,86**	**11236,82**	**13432,12**	**15956,71**	**18859,99**

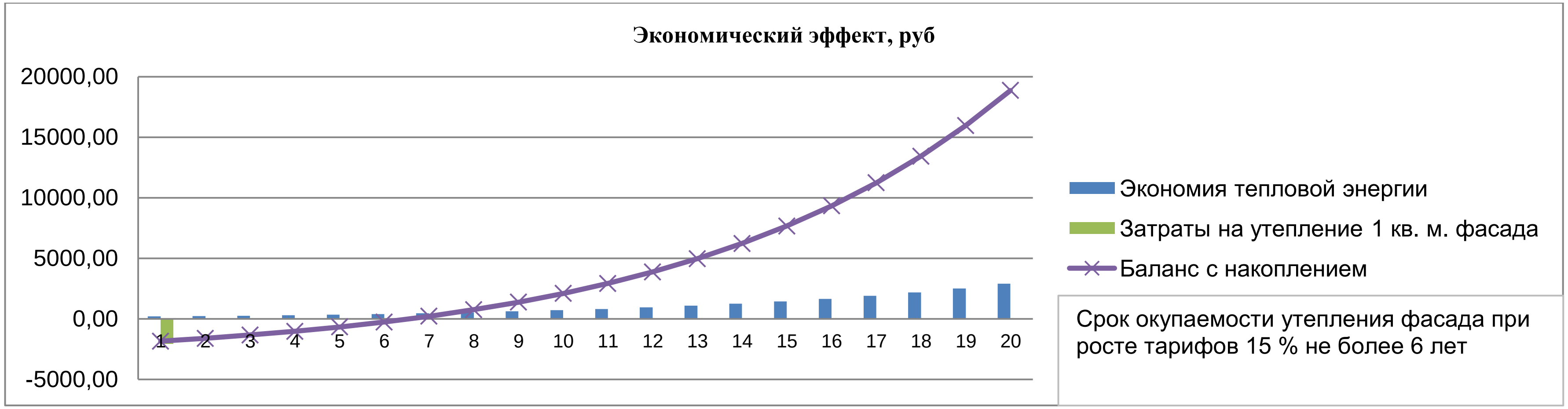

Рисунок 11. Экономический эффект в денежном выражении при росте тарифов на 15%

Литература

1. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. Pp. 13-22.
2. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure // Journal of Building Physics. 2008. Vol. 31. Pp. 361-387.
3. Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon / Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R. // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. Pp. 294-307.
4. Гертис К. Здания XXI века — здания с нулевым потреблением энергии // Энергосбережение. 2007. № 3. С. 36-47.
5. Ehhort H., Reiss J., Hellwig R. Энергоэффективные здания. Анализ современного состояния и перспектив развития на основе реализованных проектов // АВОК. 2006. №2. С. 36-49.
6. Шилкин Н.В. «Пассивные» здания: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2011. №4. С. 34-40.
7. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 100 с.
8. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №7 (12). С. 49-63.
9. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3 (8). С. 12-23.
10. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана марки «SPU-INSULATION» в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий / Ватин Н.И., Величкин В.З., Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3 (8). С. 1-264.
11. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в зданиях / Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8 (34). С. 4-14.
12. Горшков А.С., Гладких А.А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 39-42.
13. Ватин Н.И., Горшков А.С., Глумов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 28-33.
14. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий / Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
15. Горшков А.С., Байкова С.А., Крянев А.С. Нормативное и законодательное обеспечение государственной программы об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий и пример ее реализации на региональном уровне // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2012. № 3. С. 24.
16. Горшков А.С. Нормирование потребления зданиями энергии. Расчет потребления зданиями тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период: учеб. пособие / А.С. Горшков, Н.И. Ватин. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 212 с.
17. Горшков А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии: учеб. пособие / А.С. Горшков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 162 с.
18. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. №3 (8). 2013. С. 1-11.
19. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13.
20. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246-250.
21. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
22. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника.

23. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
24. СП 131.13330.2012 Строительная климатология.
25. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
26. 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.
27. Горшков А.С., Попов Д.Ю., Глумов А.В. Конструктивное исполнение вентилируемого фасада повышенной надежности // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 5-8.
28. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12-17.
29. Горшков А.С., Кнатько М.В., Рымкевич П.П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.
30. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича / Горшков А.С., Рымкевич П.П., Пестряков И.И., Кнатько М.В. // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 49-53.
31. Орлович Р.Б, Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 14-23.

Method of calculating the payback period of investment for renovation of building facades

A.S. Gorshkov[1], **P.P. Rymkevich**[2], **D.V. Nemova**[3], **N.I. Vatin**[4]

[1,3,4] *Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

[2] *Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, 13 Zhdanovskaya st., St.Petersburg, 197082, Russia.*

ARTICLE INFO

Efficient Energy Management SE 693

Article history

Received 17 January 2014
Received in revised form 28 February 2014
Accepted 28 February 2014

Keywords

exterior walls
insulation
calculated climatic conditions
the heating degree-day period
transmission heat losses
renovation of facades
investment
payback period
energy saving
energy efficiency in buildings

ABSTRACT

The paper presents a method of calculating the payback period of energy-saving measures. The described measures are aimed at improving the thermal protection of the external walling maintained buildings with thermal insulation products (stone wool synthetic binder). Examples of calculation for simple payback of additional thermal insulation of external walls of buildings are provided. The authors also present examples of calculations for payback calculated taking into account the growth of tariffs for heat energy. Selected objects of study are panel tenement apartment building, as well as single-family residential stone house. The above mentioned calculations are made for climate conditions of St. Petersburg region and Leningrad Region.

[1] *Corresponding author:*
+7 (921) 388 4315; alsgor@yandex.ru (Aleksandr Sergeevich Gorshkov, Ph. D., Associate Professor)
[2] +7 (911) 224 5913; rymkewitch@yandex.ru (Pavel Pavlovich Rymkevich, Ph.D., Professor)
[3] +7 (921) 890 0267; darya0690@mail.ru (Darya Viktorovna Nemova, Engineer)
[4] +7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru (Nikolay Ivanovich Vatin, D.Sc., Professor, Director of Institute of Civil Engineering)

References

1. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. Pp. 13-22.
2. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure // Journal of Building Physics. 2008. Vol. 31. Pp. 361-387.
3. Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon / Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R. // Journal of Building Physics. 2013. Vol. 36. Pp. 294-307.
4. *Gertis K. Zdaniya XXI veka — zdaniya s nulevym potrebleniyem energii* [Buildings of XXI century are buildings with zero-energy consumption] // *Energosberezheniye*. 2007. № 3. Pp. 36-47. (rus)
5. Ehhort H., Reiss J., Hellwig R. *Energoeffektivnyye zdaniya. Analiz sovremennogo sostoyaniya i perspektiv razvitiya na osnove realizovannykh proyektov* [Energy-efficient buildings. Analysis of the current state and prospects of development based on completed projects] // *AVOK*. 2006. №2. Pp. 36-49. (rus)
6. *Shilkin N.V. «Passivnyye» zdaniya: vozmozhnosti sovremennogo stroitelstva* ["Passive" buildings: Opportunities of modern construction] // *Energosberezheniye*. 2011. №4. Pp. 34-40. (rus)
7. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. Energoeffektivnyye zdaniya* [Energy-efficient buildings] M.: *AVOK-PRESS*, 2003. 100 p. (rus)
8. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. The energy saving formula // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №7 (12). Pp. 49-63. (rus)
9. Gorshkov A.S., Derunov D.V., Zavgorodnij V.V. Technology and organization of the building with zero energy consumption // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №3 (8). Pp. 12-23. (rus)
10. *Albom tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu teploizolyatsionnykh izdeliy iz penopoliuretana marki «SPU-INSULATION» v stroitelstve zhilykh, obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy* [Album of technical solutions for the application of polyurethane foam thermal insulation products of the brand «SPU-INSULATION» in the construction of residential, public and industrial buildings] / Vatin N.I., Velichkin V.Z., Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Peshkov A.A., Nemova D.V, Kiski S.S. // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №3 (8). Pp. 1-264. (rus)
11. 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. №. 8(34). Pp. 4-14. (rus)
12. *Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Vliyaniye rastvornykh shvov kladki na parametry teplotekhnicheskoy odnorodnosti sten iz gazobetona* [Influence of mortar joints on masonry walls uniformity of heat engineering parameters of aerated] // Magazine of Civil Engineering. 2010. № 3. Pp. 39-42. (rus)
13. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Glumov A.V. *Vliyaniye fiziko-tekhnicheskikh i geometricheskikh kharakteristik shtukaturnykh pokrytiy na vlazhnostnyy rezhim odnorodnykh sten iz gazobetonnykh blokov* [Influence of the physicotechnical and geometrical characteristics of plastering covering on moisture conditions of AAC-blocks homogeneous walls // Magazine of Civil Engineering. 2011. № 1. Pp. 28-33. (rus)
14. *Regionalnaya kontseptsiya obespecheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Regional concept of providing energy efficiency of residential and public buildings] / Averyanov V.K., Baykova S.A., Gorshkov A.S., Grishkevich A.V., Kochnev A.P., Leontyev D.N., Melezhik A.A., Mikhaylov A.G., Rymkevich P.P., Tyutyunnikov A.I. // Housing Construction. 2012. № 3. Pp. 2-4. (rus)
15. Gorshkov A.S., Baykova S.A., Kryanev A.S. *Normativnoye i zakonodatelnoye obespecheniye gosudarstvennoy programmy ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoy effektivnosti zdaniy i primer yeye realizatsii na regionalnom urovne* [Regulatory and legislative support of the state program on energy saving and energy efficiency of buildings and an example of its implementation at the regional level] // *Inzhenernyye sistemy. AVOK – Severo-Zapad*. 2012. № 3. 24 p. (rus)
16. Gorshkov A.S. *Normirovaniye potrebleniya zdaniyami energii. Raschet potrebleniya zdaniyami teplovoy energii na otopleniye i ventilyatsiyu za otopitelnyy period: ucheb. posobiye* [Rationing energy buildings. Calculation of thermal energy consumption of buildings for heating and ventilation during the heating period] / A.S. Gorshkov, N.I. Vatin. – SPb.: *Izd-vo Politekhn. un-ta*, 2011. 212 p. (rus)
17. Gorshkov A.S. *Inzhenernyye sistemy. Rukovodstvo po proyektirovaniyu, stroitelstvu i rekonstruktsii zdaniy s nizkim potrebleniyem energii: ucheb. posobiye* [Systems Engineering. Guidelines for the design, construction and reconstruction of buildings with low energy consumption] / A.S. Gorshkov. – SPb.: *Izd-vo Politekhn. un-ta*., 2013. 162 p. (rus)

18. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energy efficiency of envelopes at major repairs // Construction of Unique Buildings and Structures. №3 (8). 2013. Pp. 1-11. (rus)

19. Gorshkov A.S. *Energoeffektivnost v stroitelstve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy* [Energy efficiency in buildings: the valuation issues and measures to reduce energy consumption of buildings] // Magazine of Civil Engineering. 2010. № 1. Pp. 9-13. (rus)

20. Gorshkov A., Gladkikh A. Measures for energy efficiency in construction // Academia. Architecture and Construction. 2010. № 3. Pp. 246-250. (rus)

21. SP 50.13330.2012 *Teplovaya zashchita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. (rus)

22. SNiP II-3-79* *Stroitelnaya teplotekhnika* [Construction thermotechnics]. (rus)

23. SNiP 23-02-2003 *Teplovaya zashchita zdaniy*. [Thermal protection of buildings]. (rus)

24. СП 131.13330.2012 *Stroitelnaya klimatologiya* [Construction climatology] (rus)

25. GOST 30494-96 *Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh* [Residential and public buildings. Indoor climate parameters]. (rus)

26. Knatko M.V., Yefimenko M.N., Gorshkov A.S. *K voprosu o dolgovechnosti i energoeffektivnosti sovremennykh ograzhdayushchikh stenovykh konstruktsiy zhilykh, administrativnykh i proizvodstvennykh zdaniy*. [The question of durability and energy efficiency of modern fencing wall construction of residential, office and industrial buildings] // Magazine of Civil Engineering. 2008. № 2. Pp. 50-53. (rus)

27. Gorshkov A.S., Popov D.Y., Glumov A.V. *Konstruktivnoye ispolneniye ventiliruyemogo fasada povyshennoy nadezhnosti* [Constructional approach of ventilated facade with increased reliability] // Magazine of Civil Engineering. 2010. №8 (18). Pp. 5–9. (rus)

28. Gorshkov A.S. *Otsenka dolgovechnosti stenovoy konstruktsii na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy* [Evaluation of durability of the wall structure on the basis of laboratory and field tests] // Construction Materials. 2009. № 8. Pp. 12-17. (rus)

29. Gorshkov A.S., Knatko M.V., Rymkevich P.P. Laboratory and natural researches of durability (operational service life) of the autoclaved aerocrete wall designs with the facing silicate brick layer // Magazine of Civil Engineering. 2009. № 8. Pp. 20-26. (rus)

30. *Prognozirovaniye ekspluatatsionnogo sroka sluzhby stenovoy konstruktsii iz gazobetona s oblitsovochnym sloyem iz silikatnogo kirpicha* [Prediction operational life of aerated concrete wall construction with facing layer of sand-lime brick] / Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pestryakov I.I., Knatko M.V. // Construction Materials. 2010. № 9. Pp. 49-53. (rus)

31. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. *Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogosloynykh sten* [Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls] // Magazine of Civil Engineering. 2013. № 8 (43). Pp. 14-23. (rus)