Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 1 (40). 2016. 20-31

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Технико-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий

Д.Н. Цейтин [1], Н.И. Ватин [2], Д.В. Немова [3], П.П. Рымкевич [4], А.С. Горшков [5]

[1-3,5] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

[4] Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197082, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 699.86	Подана в редакцию 23 июля 2015	изделия теплоизоляционные из пенополистирола; тепловая защита; расчетные климатические условия; градусо-сутки отопительного периода; трансмиссионные потери тепловой энергии;

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является оценка целесообразности утепления фасадов с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок и изделий теплоизоляционных из минеральной ваты. Объектом исследования является типовой многоквартирный жилой дом массовой постройки 1950-1992 годов. Проведен анализ потерь теплоты через наружные стены жилого многоквартирного здания до и после утепления фасадов. Тепловые потери определены в соответствии с нормативными документами годов постройки. Определена величина эксплуатационных затрат в соответствии с тарифами установленными нормативными документами регионов Санкт-Петербурга и Москвы. В соответствии с этим определена толщина слоя утеплителя для рассматриваемых фасадов. На основании известных значений продолжительности отопительного периода, капитальных затрат на утепление фасадов и эксплуатационных затрат на отопление до и после утепления фасадов была произведена оценка прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, рассчитанная с учетом роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков.

Содержание

[1] *Контактный автор:*
+7 (921) 909 5171, dm.inco@gmail.com (Цейтин Дмитрий Николаевич, заведующий лабораторией)
[2] +7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д-р техн. наук, проф., директор ИСИ)
[3] +7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, инженер, ассистент)
[4] +7 (911) 224 5913, rymkewitch@yandex.ru (Рымкевич Павел Павлович, канд. физ.-мат. наук, проф.)
[5] +7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент)

1. Введение

Большинство эксплуатируемых на территории Российской Федерации жилых объектов не соответствуют современным нормативным требованиям к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций. С 2000 года с введением изменений № 3 к 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 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 эффективные по тепловой защите) [14-15].

Одним из способов снижения потерь тепловой энергии на отопление является дополнительное утепление наружных ограждающих конструкций (стен, покрытий, чердачных перекрытий, наружных дверей и пр.) [19-20]. Повышение уровня теплоизоляции ограждающих конструкций приводит к уменьшению так называемых трансмиссионных потерь тепловой энергии.

Чем меньше потери тепла в здании, тем меньшее количество тепловой энергии требуется подвести к зданию от источника теплоснабжения для компенсации трансмиссионных потерь тепловой энергии в нем (при обеспечении нормативных показателей микроклимата).

Таким образом, утепление приводит к уменьшению потребляемой в здании энергии и, следовательно, к сокращению платежей за отопление.

На этом принципе основан экономический эффект, достигаемый при внедрении данного энергосберегающего мероприятия. Однако его реализация потребует дополнительных капитальных вложений. Экономическую эффективность внедряемого на объекте мероприятия можно характеризовать сроком его окупаемости. В том случае, если период окупаемости окажется меньше предполагаемого срока службы или эксплуатации внедряемого технического решения, его следует признать еще и экономически целесообразным.

В работах [1-5] показаны примеры окупаемости инвестиций, направленных на утепление наружных ограждающих конструкций с применением теплоизоляционных изделий из минеральной ваты на синтетическом связующем. В рамках данного исследования выполнен анализ окупаемости инвестиций при утеплении фасадов с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок [16-18].

2. Исходные данные

2.1. Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрано типовое многоквартирное жилое здание первых массовых серий постройки 50-80-х годов XX века.

Расчеты выполнены применительно для климатических условий двух крупнейших населенных пунктов, расположенных на территории Российской Федерации: г. Москва, г. Санкт-Петербург.

В Москве многоквартирные жилые здания данного типа в основном представлены следующими сериями домов (в скобках указаны годы строительства): I-511 (1950-1960 г.г.), I-513 (1957-1960-е г.г.), I-515/5 (1950-е-1960-е г.г.), I-510 (1957-1968 г.г.), 1-464 (1958-1960-е г.г.), 1605/5 (1958-1966 г.г.), 1605/9 (1965-1972 г.г.), 1605/12 (1969-1985 г.г.), 1-МГ-300 (1962-1969 г.г.), Мм1-3 (1956-1959 г.г.), II-07 (1958-1961 г.г.), II-14 (1957-1960-е г.г.), II-17 (1959-1967 г.г.), II-20 (1960-1965 г.г.), II-28 (1958-1961 г.г.), II-32 (1960-1965 г.г.), II-34 (1958-1973 г.г.), II-35 (1959-1962 г.г.), К-7 (1959-1964 г.г.), II-29 (1965-1970-е г.г.), II-49 (1965-1985 г.г.), II-57 (1963-1970 г.г.), II-66 (1973-1983 г.г.), II-68 [02, 03, 04] (1968-1984 г.г.), II-18/9 (1958-1968 г.г), II-18/12 (1966-1973 г.г.) и другие.

В Санкт-Петербурге: 1-ЛГ-504 (1957-1972 г.г.), 1-ЛГ-502 (1963-1972 г.г.), 1-507 (1956-1972 г.г.), 1-527 (1957-1960-е г.г.), 1-528 (1957-1970-е г.г.), 1-335 (1962-1980-е г.г.), ГИ (1960-1968 г.г.), ОД (1959-1964 г.г.), 1-528КП-40 (1963-1980-е г.г.), 1-528КП-41 (1963-1970-е г.г.), 1-528КП-80 (1968-1985 г.г), 1-528КП-82 (1970-е-1980-е г.г.), Ш5733 (1960-е-1970-е г.г.), Щ9378 (1970-е-1980-е г.г.), 1-ЛГ-600 (1969-1982 г.г.), 1-ЛГ-602 (1966-1981 г.г.), 1-ЛГ-600-I (1970-е-1982 г.г.), 1-ЛГ-606 (1966-1973 г.г.), 121 (1970-е-1980-е г.г.), 131 (1970-е г.г.), 137 (1974-1992 г.г.).

Площадь наружных стен (без учета светопрозрачных заполнений оконных проемов) рассматриваемого жилого многоквартирного здания, вне зависимости от места его расположения, усредним и примем равной 3 000 м^2.

2.2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является расчет потерь тепловой энергии через наружные стены жилого многоквартирного здания до и после утепления фасадов с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок и изделий теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем, а также оценка прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих жилых зданий первых массовых серий, расположенных на территории Москвы и Санкт-Петербурга.

2.3. Исходные данные для расчета

Теплотехнические характеристики наружных стен до проведения работ по утеплению фасадов

В период постройки зданий первых массовых серий действующим документом при проектировании ограждающих конструкций был СНиП II-А.7-62 [6]. Согласно требованиям п. 3.7 [6] величина сопротивления теплопередаче наружных ограждений должна быть не менее требуемого значения $R_0^{\text{тр}}$, определяемого по формуле:

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot b}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно требованиям п. 2.4 [6] равной 18 ºС;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, принимаемая согласно требованиям СНиП II-А.6-62 [7] для массивных ограждающих конструкций равной минус 26 ºС – применительно для климатических условий города Москвы и минус 24 ºС – применительно для климатических условий города Санкт-Петербурга;

n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху и принимаемый по табл. 9 [6] для наружных стен равным 1;

b – коэффициент качества теплоизоляции, принимаемый для стен без утеплителя равным 1 согласно п. 3.11 [6];

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент тепловосприятия, принимаемый для наружных стен жилых зданий равным 7,5 Вт/(м·ºС);

$\Delta t_{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения, принимаемый для наружных стен жилых зданий равным 6 ºС.

Исходя из представленных данных, рассчитаем по формуле (1) требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен для зданий, возводимых в 60-х годах XX века:

- применительно для климатических условий города Москвы:

$$R_0^{\text{тр(исх)}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot b}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{н}}} = \frac{(18 - (-26)) \cdot 1 \cdot 1}{7{,}5 \cdot 6} = 0{,}98 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot {}^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}\right);$$

- применительно для климатических условий города Санкт-Петербурга:

$$R_0^{\text{тр(исх)}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot b}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{н}}} = \frac{(18 - (-24)) \cdot 1 \cdot 1}{7{,}5 \cdot 6} = 0{,}94 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot {}^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}\right).$$

Полученные значения примем в качестве исходных значений $R_0^{\text{тр(исх)}}$ сопротивления теплопередаче наружных стен существующего многоквартирного жилого здания до проведения работ по утеплению фасадов.

3. Анализ

3.1. Требуемые теплотехнические характеристики наружных стен после проведения работ по утеплению фасадов

Согласно требованиям п.п. 1 и 5 Постановления Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521 с 1 июля 2015 года нормативные требования к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций должны регламентироваться согласно СП 50.13330 [8].

Согласно примечанию 1 табл. 3 [8] базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче определяется по формуле:

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где a, b – коэффициенты, численные значения которых следует принимать по данным табл. 3 [8] для соответствующих групп зданий; для стен жилых зданий a = 0,00035, b = 1,4;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}\ , \tag{3}$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная средняя температура внутреннего воздуха в помещениях жилого здания, принимаемая по ГОСТ 30494 [9] равной 20 ºС;

$t_{\text{от}}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая для климатических условий г. Москвы по СП 131.13330 [10] равной минус 2,2 ºС (см. данные табл. 1), для климатических условий г. Санкт-Петербурга – минус 1,3 ºС (см. данные табл. 2);

$z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, принимаемая по СП 131.13330 [10] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 ºС; для жилых зданий, расположенных в Москве z_{ht} = 205 суткам (табл. 1), Санкт-Петербурга z_{ht} =213 суткам (табл. 2).

Таблица 1. Расчетные климатические условия для жилых зданий, расположенных в г. Москве

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{\text{от}}$	°С	- 2,2
Продолжительность отопительного периода	$z_{\text{от}}$	сут/год	205
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	4551
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{\text{в}}$	°С	20

Таблица 2. Расчетные климатические условия для жилых зданий, расположенных в г. Санкт-Петербурге

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{\text{от}}$	°С	- 1,3
Продолжительность отопительного периода	$z_{\text{от}}$	сут/год	213
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	4537
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{\text{в}}$	°С	20

Исходя из представленных данных, рассчитаем по формуле (2) сопротивление теплопередаче наружных стен жилых зданий согласно требованиям СП 50.13330 [8]. Получим:

- применительно для климатических условий города Москвы:

$$R_0^{\text{тр(нов)}} = a \cdot D_d + b = 0{,}00035 \cdot 4551{,}0 + 1{,}4 = 2{,}99\ \left(\frac{\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{С}}{\text{Вт}}\right);$$

- применительно для климатических условий города Санкт-Петербурга:

$$R_0^{\text{тр(нов)}} = a \cdot D_d + b = 0{,}00035 \cdot 4537 + 1{,}4 = 2{,}99\ \left(\frac{\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{С}}{\text{Вт}}\right).$$

Таким образом, для того, чтобы существующие здания, построенные в 50-х–80-х годах прошлого века, соответствовали современным нормативным требованиям по тепловой защите, сопротивление теплопередаче наружных стен должно быть доведено до 2,99 м²·ºС/Вт применительно для климатических условий Москвы и Санкт-Петербурга.

3.2. Методика расчета требуемой толщины слоя теплоизоляции

Расчет требуемой толщины слоя теплоизоляции $\delta_{\text{тр}}$, м, произведем на основании следующей формулы [1, 2]:

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр(нов)}} - R_0^{\text{тр(исх)}}\right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r_{\text{т.о.}}}, \tag{4}$$

где $R_0^{\text{тр(нов)}}$ – современное значение требуемого (нормируемого) сопротивления теплопередаче наружных стен здания, м²·ºС/Вт;

$R_0^{\text{тр(исх)}}$ – исходное (фактическое) значение сопротивления теплопередаче наружных стен зданий до проведения мероприятий по их дополнительному утеплению, м²·ºС/Вт;

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

$r_{\text{т.о.}}$– коэффициент теплотехнической однородности дополнительного слоя теплоизоляции.

Теплопроводность теплоизоляционных изделий из пенополистирола марки ПСБ-С М25Ф для условий эксплуатации Б ($\lambda_{\text{Б}}$) на основании Протокола испытаний № 358 НИИСФ РААСН от 28 июля 2005 года примем равной 0,040 Вт/(м·°С).

На основании исходных данных примем для Санкт-Петербурга следующие исходные и конечные значения сопротивлений теплопередаче фасадов:

- исходное значение: $R_0^{\text{тр(исх)}}$= 0,94 м²·°С/Вт;
- конечное значение, требуемое на основании современных требований стандартов по тепловой защите: $R_0^{\text{тр(нов)}}$= 2,99 м²·°С/Вт.

Аналогичные данные для климатических условий Москвы составят:

- исходное значение: $R_0^{\text{тр(исх)}}$= 0,98 м²·°С/Вт;
- конечное значение: $R_0^{\text{тр(нов)}}$= 2,99 м²·°С/Вт.

Коэффициент теплотехнической однородности $r_{\text{т.о.}}$ для всех вариантов конструктивного исполнения фасадов примем равным 0,75.

Применительно для климатических условий Санкт-Петербурга, по формуле (4) получим следующие значения требуемых толщин:

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр(нов)}} - R_0^{\text{тр(исх)}}\right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r_{\text{т.о.}}} = (2{,}99 - 0{,}94) \cdot \frac{0{,}04}{0{,}75} = 0{,}110\ (\text{м}).$$

Применительно для климатических условий города Москвы требуемые значения толщин слоя теплоизоляции по формуле (4) составят:

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр(нов)}} - R_0^{\text{тр(исх)}}\right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r_{\text{т.о.}}} = (2{,}99 - 0{,}98) \cdot \frac{0{,}04}{0{,}75} = 0{,}108\ (\text{м}).$$

Соответственно, для дальнейших расчетов, вне зависимости от типа применяемой теплоизоляции и месторасположения здания в пределах выбранных населенных пунктов (Санкт-Петербург, Москва), примем, что требуемая толщина теплоизоляционных изделий, предназначенных для утепления плитами из пенополистирола фасадов существующих зданий до удовлетворения современных требований по тепловой защите [8], составляет 110 мм.

3.3. Капитальные затраты на утепление фасадов

В соответствии с исходными данными расчета, площадь фасадов существующего здания принята равной 3 000 м². Стоимость монтажных работ, крепежных и отделочных материалов, используемых при утеплении фасадов существующих зданий, расположенных в Москве и Санкт-Петербурге, примем одинаковыми.

Капитальные затраты на дополнительное утепление **3 000 м²** фасадов существующего здания слоем теплоизоляции из пенополистирола (с противопожарными рассечками и окантовками из жестких минераловатных плит) толщиной **110 мм** с последующим нанесением тонкого штукатурного покрытия ΔK примем равными **5 900 000** руб, из которых:

- **3 750 000** рублей (стоимость комплекса работ по монтажу фасадной системы с учетом строительных лесов, накладных и прочих расходов);
- **2 150 000** рублей (стоимость строительных материалов), в том числе:
    - ***780 000*** рублей – стоимость теплоизоляционных плит из пенополистирола;
    - ***220 000*** рублей – стоимость противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит;
    - ***250 000*** рублей – стоимость клеевой смеси для монтажа утеплителя;
    - ***180 000*** рублей – стоимость дюбелей тарельчатых с термоголовкой и оцинкованным гвоздем 10×260 мм;
    - ***100 000*** рублей – стоимость сетки щелочестойкой 5×5 мм 160 г/м²;
    - ***55 000*** рублей – стоимость самоклеющегося профиля ПФХ примыкания с сеткой;
    - ***30 000*** рублей – стоимость профиля углового;
    - ***310 000*** рублей – стоимость штукатурно-клеевой смеси (для базового армирующего слоя);
    - ***25 000*** рублей – стоимость грунта универсального (под декоративную финишную штукатурку);
    - ***200 000*** рублей – стоимость декоративной минеральной штукатурки.

Как видно из представленной структуры капитальных вложений на дополнительное утепление стен существующего здания, стоимость непосредственно теплоизоляции (1 000 000 руб.) составляет менее 20 % от общей стоимости работ и материалов (5 900 000 руб.).

Примечание. Представленные капитальные затраты на утепление фасадов существующих зданий актуальны для следующих федеральных округов: ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПВФО. Стоимость материалов – рыночная, для оптовой категории клиентов. Стоимость работ соответствует средней по рынку. Стоимость материалов и работ может быть снижена путем проведения торгов по каждому конкретному объекту.

4. Примеры расчетов

Методики расчета потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции и расчета прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий подробно представлены в работах [1-5].

4.1. Пример расчета для Санкт-Петербурга

Рассмотрим вариант утепления наружных стен здания, построенного в Санкт-Петербурге до 2000 года. Примем, что сопротивление теплопередаче наружных стен соответствует требованиям, принимаемым к ограждающим конструкциям до 2000 года, и составляет $R_0^{\text{исх}}$ =0,94 м²·ºС/Вт.

$$\mathrm{U} = \frac{1}{\mathrm{R}} \qquad (5)$$

При $R_0^{\text{исх}}$=0,94 м²·ºС/Вт, по формуле (5) получим, что исходное значение коэффициента теплопередаче $U_{\text{исх}}$ равно 1/0,94=1,064 Вт/(м²·ºС). Количество градусо-суток отопительного периода в Санкт-Петербурге показано в таблице 2 и составляет 4537 ºС·сут. Отопление в здании – централизованное (от городской ТЭЦ). Стоимость тепловой энергии для расчета размера платы за коммунальную услугу по отоплению, предоставляемую гражданам, проживающим в многоквартирных домах, c_T = 1408,01 руб/Гкал с учетом НДС на первое полугодие 2015 года (см. Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 19.12.2014 г. № 596-р).

Требуется утеплить наружные стены существующего здания, расположенного на территории г. Санкт-Петербурга, до соответствия их современным требованиям к уровню тепловой защиты [8] и рассчитать прогнозируемый срок окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению с учетом роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков.

В качестве системы утепления примем систему фасадную теплоизоляционную композиционную (СФТК) с тонким штукатурным слоем по слою утеплителя. В качестве утеплителя примем плиты теплоизоляционные из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит.

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга (*ГСОП*=4537 ºС·сут) $R_0^{\text{тр(нов)}}$= 2,99 м²·ºС/Вт. Значению сопротивления теплопередаче 2,99 м²·ºС/Вт соответствует коэффициент теплопередачи $U_{\text{нов}}$ = 0,335 Вт/(м²·ºС).

Рассчитаем величину уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий [1-5]:

$$\Delta Э = \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}} \cdot \text{с}_{\text{т}}}{1163} = \\ = \frac{(1{,}064 - 0{,}335) \cdot 0{,}024 \cdot 4536{,}9 \cdot 3000 \cdot 1408{,}01}{1163} = 288\ 300\ \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}}\right). \qquad (6)$$

Среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию примем равным 15 %, отсюда параметр модели r, характеризующий средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию примем равным 0,15

Дисконтирование будущих денежных потоков (*i*) произведем по среднестатистическому значению инфляции в России за последние 10 лет (≈ 10 %), на основании которого параметр дисконтирования будущих денежных потоков i, достигаемых за счет уменьшения расхода тепловой энергии после утепления фасадов существующего здания, примем равным 0,1.

На основании принятых в модели исходных данных произведем расчет прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего здания, расположенного на территории Санкт-Петербурга. Получим [1-5]:

$$\mathrm{T} = \frac{ln\left[1 + \frac{5\ 900\ 000}{288\ 300} \cdot \frac{(0{,}15 - 0{,}1)}{(1 + 0{,}1)}\right]}{ln\left[\frac{1 + 0{,}15}{1 + 0{,}1}\right]} = 13{,}5\ (\text{лет экспл.}). \qquad (7)$$

Таким образом, при сложившейся экономической и тарифной ситуации прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующих зданий применительно для климатических условий **Санкт-Петербурга** составит **не более 14 лет эксплуатации**.

Разница затрат тепловой энергии до и после утепления фасадов составит:

$$\Delta Q = \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}}}{1163} = \frac{(1{,}064 - 0{,}335) \cdot 0{,}024 \cdot 4537 \cdot 3000}{1163} \approx 205 \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}}\right). \quad (8)$$

4.2. Пример расчета для Москвы

Произведем аналогичные расчеты применительно к климатическим условиям города Москвы.

Примем, что исходное значение сопротивления теплопередаче наружных стен составляет $R_0^{\text{исх}}$ =0,98 м²·ºС/Вт. При $R_0^{\text{исх}}$=0,98 м²·ºС/Вт, получим, что исходное значение коэффициента теплопередаче $U_{\text{исх}}$ равно 1,021 Вт/(м²·ºС). Количество градусо-суток отопительного периода в Москве показано в таблице 1 и составляет 4943,4 ºС·сут. Отопление в здании – централизованное (от городской ТЭЦ). Стоимость тепловой энергии для расчета размера платы за коммунальную услугу по отоплению, предоставляемую гражданам, проживающим в многоквартирных домах, c_T = 1720,90 руб/Гкал с учетом НДС (см. Приложение 17 Постановления Правительства Москвы 26 ноября 2013 г. N 748-ПП).

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Москвы (*ГСОП*=4551 ºС·сут) $R_0^{\text{тр(нов)}}$= 2,99 м²·ºС/Вт. Значению сопротивления теплопередаче 2,99 м²·ºС/Вт соответствует коэффициент теплопередачи $U_{\text{нов}}$ = 0,335 Вт/(м²·ºС).

Рассчитаем по формуле (6) величину уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий:

$$\Delta Э = \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}} \cdot \text{с}_{\text{т}}}{1163} =$$

$$= \frac{(1{,}021 - 0{,}335) \cdot 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 3000 \cdot 1720{,}90}{1163} = 332\,613 \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}}\right).$$

Произведем расчет по формуле (7) прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего здания, расположенного на территории города Москвы. Получим:

$$\text{Т} = \frac{ln\left[1 + \frac{5\,900\,000}{332\,613} \cdot \frac{(0{,}15-0{,}1)}{(1+0{,}1)}\right]}{ln\left[\frac{1+0{,}15}{1+0{,}1}\right]} = 12{,}2\ (\text{лет экспл.}).$$

Таким образом, при сложившейся экономической и тарифной ситуации прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующих зданий применительно для климатических условий города **Москвы** составит **не более 13 лет эксплуатации**;

Разница затрат тепловой энергии до и после утепления фасадов составит:

$$\Delta Q = \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}}}{1163} = \frac{(1{,}021 - 0{,}335) \cdot 0{,}024 \cdot 4551 \cdot 3000}{1163} \approx 193 \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}}\right).$$

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

5. Заключение

1. Большинство эксплуатируемых на территории Российской Федерации жилых многоквартирных зданий не соответствуют современным нормативным требованиям к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций. Исходные значения сопротивлений теплопередаче наружных стен жилых зданий, расположенных на территории Москвы и Санкт-Петербурга, как правило, не превышают **1 м²·ºС/Вт** (**0,98 м²·ºС/Вт** – для Москвы и **0,94 м²·ºС/Вт** – для Санкт-Петербурга).
2. С 2000 года с введением изменений № 3 к СНиП II-3-79* и последующим утверждением на основании этих изменений СНиП 23-02-2003 требования к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций зданий значительно возросли. Согласно последним изменениям нормативных требований по тепловой защите к ограждающим конструкциям (СП 50.13330 [8]) требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен жилых зданий применительно для климатических условий Москвы и Санкт-Петербурга составляет **2,99 м²·ºС/Вт**.
3. На этом основании все здания постройки до 2000-го года не удовлетворяют современным требованиям к уровню тепловой защиты, т.е. **<u>они морально устарели</u>** и требуют реконструкции (утепления фасадов и кровли, замены наружных входных дверей и светопрозрачных ограждающих конструкций на более эффективные).

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

5. Для достижения требуемого уровня тепловой защиты фасады существующих зданий требуется утеплить. В рамках данного исследования качестве системы утепления фасадов принята система фасадная теплоизоляционная композиционная (СФТК) с тонким штукатурным слоем по слою утеплителя. В качестве слоя теплоизоляции приняты плиты теплоизоляционные из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит;

6. Требуемая толщина слоя теплоизоляции из пенополистирола фасадных марок составляет **110 мм**.

7. Чем меньше потери тепла в здании, тем меньшее количество тепловой энергии требуется подвести к зданию от источника теплоснабжения для компенсации трансмиссионных потерь тепловой энергии в нем (при обеспечении нормативных показателей микроклимата). Таким образом, утепление приводит к уменьшению потребляемой в здании энергии и, следовательно, к сокращению платежей за отопление. На этом принципе основан экономический эффект, достигаемый при внедрении данного энергосберегающего мероприятия.

8. Уменьшение потерь тепловой энергии после утепления **3 000 м^2** фасадов существующих зданий, расположенных на территории г. **Москвы** (ГСОП=**4551 ºС·сут**), до нормативного уровня (**2,99 м^2·ºС/Вт**) составит **193 Гкал/год**, что при стоимости тепловой энергии для населения **1720,90 руб/Гкал** позволит сэкономить после первого отопительного периода **332 613 руб**.

9. Уменьшение потерь тепловой энергии после утепления **3 000 м^2** фасадов существующих зданий, расположенных на территории г. **Санкт-Петербурга**, до нормативного уровня (**2,99 м^2·ºС/Вт**) составит **205 Гкал/год**, что при стоимости тепловой энергии для населения **1408,01 руб/Гкал** позволит сэкономить после первого отопительного периода **288 300 руб**.

10. Реализация любого энергосберегающего мероприятия, как правило, требует дополнительных капитальных вложений. Капитальные затраты на утепление фасадов существующего здания площадью **3 000 м^2** плитами из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит и последующим оштукатуриванием фасадов тонким штукатурным слоем рассчитаны на основании среднерыночных расценок для **Москвы и Санкт-Петербурга** и приняты равными **5 900 000 рублей**. Капитальные затраты на утепление фасадов существующего здания площадью 3 000 м^2 плитами из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем и устройством СФТК с тонким штукатурным слоем по слою утеплителя рассчитаны аналогичным образом и приняты равными **6 500 000 рублей**.

11. Экономическую эффективность внедряемых на объекте энергосберегающих мероприятий можно характеризовать прогнозируемым сроком их окупаемости. В том случае, если период окупаемости окажется меньше предполагаемого срока службы или эксплуатации внедренного технического решения, его следует признать еще и экономически целесообразным.

12. Прогнозируемый срок окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих жилых зданий, рассчитанный с учетом прогнозного роста тарифов на тепловую энергию из расчета 15 %/год и дисконтирования будущих денежных потоков по ставке дисконтирования 10,0 %/год для СФТК <u>с плитами из пенополистирола фасадных марок</u> и устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит, составит:

- для Москвы – **не более 13 лет**;
- для Санкт-Петербурга – **не более 14 лет**.

13. На основании экспертного заключения НИИСФ РААСН [22] и Протокола испытаний № 61160 (Приложение № 1 к экспертному заключению [11]) долговечность фрагмента СФТК Ceresit «Зима» с пенополистирольными плитами ПСБ-С 25Ф и рассечками из минераловатных плит «ТехноФас» вокруг оконного проема составляет 50 годовых циклов, что соответствует **30 условным годам эксплуатации**. На основании Заключения по результатам НИР [12] долговечность СФТК с наружными штукатурными слоями «Ceresit VWS» (с теплоизоляцией из пенополистирольных плит) и «Ceresit WM» (с теплоизоляцией из минераловатных плит) составляет **более 30 лет** на фасадах отапливаемых зданий и сооружений различного назначения (в том числе жилых, промышленных и административных), выполненных в соответствии с областью применения СТО 58239148-001-2006 [13].

14. С учетом полученных значений прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих зданий (**не более 14 лет**) и прогнозируемой долговечности рассматриваемых вариантов СФТК **30 лет и более** [12, 13], данное

энергосберегающее мероприятие следует признать экономически целесообразным и рекомендовать его при проведении капитальных ремонтов существующих зданий на основании Федерального закона Российской Федерации N 271-ФЗ.

Литература

[1]. Технико-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций частного жилого дома / Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 93-115.

[2]. Технико-экономическое обоснование мероприятий по утеплению наружных стен жилого многоквартирного здания с устройством вентилируемого фасада / Немова Д.В., Горшков А.С., Ватин Н.И., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11 (26). С. 70-84.

[3]. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение // Инженерные системы. АВОК - Северо-Запад. 2014. № 3. С. 32-36.

[4]. Романова А.А., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Методика расчета прогнозируемых сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий по утеплению зданий // Технико-технологические проблемы сервиса. 2014. № 4 (30). С. 68-74.

[5]. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Методика и пример расчета окупаемости инвестиций при реализации энергосберегающих мероприятий в строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 9 (188). С. 40-45.

[6]. СНиП II-А.7-62 Строительная теплотехника. Нормы проектирования.

[7]. СНиП II-А.6-62 Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования.

[8]. СП 50.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.

[9]. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

[10]. СП 131.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* Строительная климатология.

[11]. Экспертное заключение ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Академии российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН) от 19.01.2015 г.

[12]. Заключение по результатам научно-исследовательской работы Лаборатории долговечности строительных материалов и герметизации ГУП «НИИМосстрой» по теме «Исследование совместной работы теплоизоляционных и отделочных материалов в лабораторных и натурных условиях на домах с утепленными фасадами жилых, промышленных и общественных зданий».

[13]. СТО 58239148-001-2006 «Системы наружной теплоизоляции стен зданий с отделочным слоем из тонкослойной штукатурки “Ceresit”»

[14]. Нефедова А.В., Чернышев Д.Е., Цейтин Д.Н. Анализ проекта мультикомфортного дома ISOVER// Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014.№10(25).С.73-87

[15]. Результаты обследования здания образовательного учреждения / Немова Д.В., Тарасова Д.С., Старицына А.А., Нефедова А.В. // Строительство уникальных зданий и сооружений.2013.№8(13).С.1-11

[16]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте// Строительство уникальных зданий и сооружений.2013.№3(8).С.1-11

[17]. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффектинвости// Строительство уникальных зданий и сооружений.2013.№7(12).С.49-63

[18]. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий / Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И.// Строительство уникальных зданий и сооружений.2014.№2(17).С.82-106

[19]. Якубсон В. Энергоэффективность зданий и строительная теплофизика// Инженерно-строительный журнал.2009.№8.С.4-5

[20]. Улыбин А.В., Ватин Н.И. Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения// Строительство уникальных зданий и сооружений.2014.№10(25).С.134-146

Feasibility study for renovation of facades heat insulation of residential buildings of the first mass series

D.N. Tseytin [1], N.I. Vatin [2], D.V. Nemova [3], P.P. Rymkevich [4], A.S. Gorshkov [5]

[1-3,5] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russia

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

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
scientific article **doi:**	Received 23 July 2015	Heat insulating products from expanded polystyrene; thermal protection; settlement and climatic conditions; the heating degree-day period; transmission heat losses; reconstruction of buildings; renovation of the facade; additional insulation; energy efficiency;

ABSTRACT

The aim of the study is to assess the feasibility of facade insulation using products from expanded polystyrene thermal insulation facade of brands and products thermal insulation of mineral wool. The object of the study is a typical apartment building built in 1950-1992's mass. Analysis of heat loss through the exterior wall of a residential apartment building before and after the thermal insulation of facades. Heat losses are determined in accordance with the regulations of the years of construction. The value of the operating costs in accordance with the rates established by the regulations of the regions of St. Petersburg and Moscow. In accordance with the determined thickness of the insulation for the facades considered. Based on the known values of the duration of the heating period, capital expenditures for the insulation of facades and operating costs for heating before and after the facade insulation was assessed projected payback period of energy-saving measures, adjusted to the growth of tariffs for thermal energy and discounting future cash flows.

1. *Corresponding author:*
+7 (921) 909 5171, dm.inco@gmail.com (Dmitriy Nikolaevich Tseytin, Head of Laboratory)
2. +7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Nikolai Ivanovich Vatin, PhD, professor, Director of Civil Engineering Institute)
3. +7 (921) 890 0267, darya.nemova@gmail.com (Darya Viktorovna Nemova, engineer, assistant)
4. +7 (911) 224 5913, rymkewitch@yandex.ru (Pavel Pavlovich Rymkevich, PhD, professor)
5. +7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Alexander Sergeevich Gorshkov, PhD, assistant professor)

References

[1]. Feasibility study of measures on warming walling private house / Nemova D.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Kashabin A.V., Rymkevich P.P., Tseytin D.N. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 8 (23). S. 93-115 (rus)

[2]. Feasibility study of measures on warming the exterior walls of a residential apartment building with a device ventilated facade / Nemova D.V., Gorshkov A.S., Vatin N.I., Kashabin A.V., Rymkevich P.P., Tseytin D.N. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 11 (26). S. 70-84 (rus)

[3]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Economic efficiency investments in energy efficiency // Inzhenernyye sistemy. AVOK - Severo-Zapad. 2014. № 3. S. 32-36 (rus)

[4]. Romanova A.A., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Methods of calculating the projected payback period of energy-saving measures for thermal insulation of buildings // Tekhniko-tekhnologicheskiye problemy servisa. 2014. № 4 (30). S. 68-74 (rus)

[5]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Methods and an example of calculating of return on investment in the implementation of energy saving measures in the construction // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2014. № 9 (188). S. 40-45 (rus)

[6]. SNiP II-A.7-62 Stroitelnaya teplotekhnika. Normy proyektirovaniya (rus)

[7]. SNiP II-A.6-62 Stroitelnaya klimatologiya i geofizika. Osnovnyye polozheniya proyektirovaniya (rus)

[8]. SP 50.13330.2012. Aktualizirovannaya versiya SNiP 23-02-2003 Teplovaya zashchita zdaniy (rus)

[9]. GOST 30494-2011. Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh (rus)

[10]. SP 131.13330.2012. Aktualizirovannaya versiya SNiP 23-01-99* Stroitelnaya klimatologiya.

[11]. Ekspertnoye zaklyucheniye FGBU «Nauchno-issledovatelskiy institut stroitelnoy fiziki Akademii rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk» (NIISF RAASN) ot 19.01.2015 g (rus)

[12]. Zaklyucheniye po rezultatam nauchno-issledovatelskoy raboty Laboratorii dolgovechnosti stroitelnykh materialov i germetizatsii GUP «NIIMosstroy» po teme «Issledovaniye sovmestnoy raboty teploizolyatsionnykh i otdelochnykh materialov v laboratornykh i naturnykh usloviyakh na domakh s uteplennymi fasadami zhilykh, promyshlennykh i obshchestvennykh zdaniy» (rus)

[13]. STO 58239148-001-2006 «Sistemy naruzhnoy teploizolyatsii sten zdaniy s otdelochnym sloyem iz tonkosloynoy shtukaturki “Ceresit”» (rus)

[14]. Nefedova A.V., Chernyshev D.Ye., Tseytin D.N. Analysis of a project Multi-Comfort House ISOVER// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014.№10(25).S.73-87 (rus)

[15]. Results of the survey of the building of the educational institution/ Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A., Nefedova A.V. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy.2013.№8(13).S.1-11 (rus)

[16]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energy efficiency building envelopes during overhaul// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy.2013.№3(8).S.1-11 (rus)

[17]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. Formula of energy efficiency// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy.2013.№7(12).S.49-63 (rus)

[18]. Methods of calculating of return on investment for the renovation of the facades of the existing buildings // Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I.// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy.2014.№2(17).S.82-106 (rus)

[19]. Yakubson V. Energy efficiency of buildings and building thermal physics// Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal.2009.№8.S.4-5 (rus)

[20]. Ulybin A.V., Vatin N.I. A visual inspection of buildings and structures and methods of its implementation// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy.2014.№10(25).S.134-146 (rus)

Цейтин Д.Н., Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Технико-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий. 2016. №1 (40). С. 20-31.

Tseytin D.N., Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Feasibility study for renovation of facades heat insulation of residential buildings of the first mass series. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 1 (40), Pp. 20-31. (rus)