



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Инженерно-строительный институт

УТВЕРЖДАЮ

Директор инженерно-строительного института
Д.т.н., профессор _____ Ватин Н.И.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

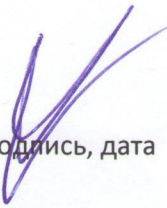
Расчет прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих зданий с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок и из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем применительно к климатическим условиям Москвы и Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург

2015

Список исполнителей

Научный руководитель,
д.т.н., профессор



подпись, дата

Ватин Н.И.

Исполнители

Преподаватель кафедры
«Строительство уникальных зданий и
сооружений»



подпись, дата

Немова Д.В.

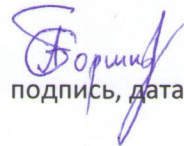
Заведующий лабораторией кафедры
«Гидравлика»



подпись, дата

Цейтин Д.Н.

к.т.н., директор учебно-научного
центра «Мониторинг и реабилитация
природных систем»



подпись, дата

Горшков А.С.

Реферат

Отчет 30 стр., 2 табл., 24 источника

Расчет прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих зданий с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок и из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем применительно к климатическим условиям Москвы и Санкт-Петербурга

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наружные стены, фасады, теплоизоляция, изделия теплоизоляционные из пенополистирола, изделия теплоизоляционные из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем, тепловая защита, расчетные климатические условия, градусо-сутки отопительного периода, трансмиссионные потери тепловой энергии, реконструкция зданий, реновация фасадов, дополнительное утепление, энергосбережение, энергетическая эффективность зданий.

АННОТАЦИЯ: в отчете представлена методика расчета потерь тепловой энергии через наружные стены жилого многоквартирного здания до и после утепления фасадов с использованием изделий теплоизоляционных из пенополистирола фасадных марок и минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем применительно к климатическим условиям Москвы и Санкт-Петербурга. На основании известных параметров отопительного периода для рассматриваемых населенных пунктов, капитальных затрат на утепление фасадов и эксплуатационных затрат на отопление до и после утепления фасадов произведена оценка прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, рассчитанная с учетом роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Объект исследования.....	6
2 Цель исследования.....	6
3 Исходные данные для расчета.....	7
3.1 Теплотехнические характеристики наружных стен до проведения работ по утеплению фасадов.....	7
3.2 Теплотехнические характеристики наружных стен после проведения работ по утеплению фасадов.....	8
4 Методики расчетов.....	10
4.1 Методика расчета потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции.....	10
4.2 Методика расчета прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий.....	13
4.3 Методика расчета требуемой толщины слоя теплоизоляции.....	16
5 Капитальные затраты на утепление фасадов.....	18
5.1 Капитальные затраты на утепление фасадов с применением теплоизоляционных изделий (плит) из пенополистирола фасадных марок.....	18
5.2 Капитальные затраты на утепление фасадов с применением теплоизоляционных изделий (плит) из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем.....	19
6 Примеры расчетов.....	20
6.1 Пример расчета для Санкт-Петербурга.....	20
6.2 Пример расчета для Москвы.....	22
Заключение.....	25
Список литературы.....	29

Введение

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, повышение уровня тепловой защиты (теплоизоляции) наружных ограждающих конструкций позволяет добиться сокращения потерь тепловой энергии и как следствие, уменьшить затраты на эксплуатацию зданий (уменьшить коммунальные платежи на отопление для зданий, оборудованных общедомовыми или индивидуальными счетчиками тепловой энергии). На этом принципе основан один из возможных путей энергосбережения и повышения энергетической эффективности существующих зданий.

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* [1] и последующим утверждением на основании этих изменений СНиП 23-02-2003 [2] 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).

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.

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.

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, принята равной 3 000 м².

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.

3. Исходные данные для расчета

3.1 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 [3]. Согласно требованиям п. 3.7 [3] величина сопротивления теплопередаче наружных ограждений должна быть не менее требуемого значения $R_0^{тр}$, определяемого по формуле:

$$R_0^{тр} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n \cdot b}{\alpha_B \cdot \Delta t_H}, \quad (1)$$

где t_B – температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно требованиям п. 2.4 [3] равной 18 °С;

t_H – температура наружного воздуха, принимаемая согласно требованиям СНиП II-А.6-62 [4] для массивных ограждающих конструкций равной минус 26 °С – применительно для климатических условий города Москвы и минус 24 °С – 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 [3] для наружных стен равным 1;

b – коэффициент качества теплоизоляции, принимаемый для стен без утеплителя равным 1 согласно п. 3.11 [3];

α_B – коэффициент тепловосприятия, принимаемый для наружных стен жилых зданий равным 7,5 Вт/(м·°С);

Δt_H – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения, принимаемый для наружных стен жилых зданий равным 6 °С.

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:

$$R_0^{тр(исх)} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n \cdot b}{\alpha_B \cdot \Delta t_H} = \frac{(18 - (-26)) \cdot 1 \cdot 1}{7,5 \cdot 6} = 0,98 \left(\frac{м^2 \cdot °С}{Вт} \right);$$

- применительно для климатических условий города Санкт-Петербурга:

$$R_0^{тр(исх)} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n \cdot b}{\alpha_B \cdot \Delta t_H} = \frac{(18 - (-24)) \cdot 1 \cdot 1}{7,5 \cdot 6} = 0,94 \left(\frac{м^2 \cdot °С}{Вт} \right).$$

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.

Примечание. В стандарте СНиП II-A.7-62 [3] расчетная температура внутреннего воздуха принята равной 18 °С согласно требованиям п. 1.64 СНиП II-Л.1-62 [5].

С введением в действие СНиП 31-01 [6] при теплотехническом расчете ограждающих конструкций жилых зданий температуру внутреннего воздуха отапливаемых помещений следует принимать не менее 20 °С (см. п. 9.4 [6]).

Несмотря на эти различия в стандартах разных лет, температура внутреннего воздуха в существующих домах от этого не зависит. Она может быть и 18 °С и 24 °С. ГОСТ 30494 [7] для температуры внутреннего воздуха в жилых помещениях регламентирует допустимый (18÷24 °С) и оптимальный (20÷22 °С) диапазоны, а в качестве расчетного принимается минимальное значение из оптимального диапазона температур, т.е. 20 °С (см. п. 5.3 СНиП 23-02 [2]).

Утеплено здание или нет, в нем следует поддерживать эту, комфортную для большинства людей, температуру внутреннего воздуха. Поэтому в последующих расчетах температура внутреннего воздуха будет приниматься равной 20 °С.

3.2 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 СП 50.13330 [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 [8]:

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

где $t_{\text{в}}$ – расчетная средняя температура внутреннего воздуха в помещениях жилого здания, принимаемая по ГОСТ 30494 [7] равной 20 °С;

$t_{\text{от}}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая для климатических условий г. Москвы по СП 131.13330 [9] равной минус 2,2 °С (см. данные табл. 1), для климатических условий г. Санкт-Петербурга – минус 1,3 °С (см. данные табл. 2);

$z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, принимаемая по СП 131.13330 [9] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °С; 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	$t_{от}$	°С	- 2,2
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	205
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	4551,0
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{в}$	°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	$t_{от}$	°С	- 1,3
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	213
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	4536,9
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{в}$	°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:

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

- применительно для климатических условий города Санкт-Петербурга:

$$R_0^{тр(нов)} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 4536,9 + 1,4 = 2,99 \left(\frac{м^2 \cdot °С}{Вт} \right).$$

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 $2,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ применительно для климатических условий Москвы и Санкт-Петербурга согласно [8, 9].

4. Методики расчетов

4.1 Методика расчета потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции

Для расчета теплотерь через наружные ограждающие конструкции зданий удобно пользоваться величиной, обратной сопротивлению теплопередаче, которая в международных стандартах называется коэффициентом теплопередачи ограждающих конструкций зданий и обозначается литерой U . Значение коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{R_0}. \quad (4)$$

Например, значению сопротивления теплопередаче $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ соответствует коэффициент теплопередачи:

$$U = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1,0} = 1,0 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right).$$

Удобство введения коэффициента теплопередачи определяется удобством его размерности: $[\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})]$. Эта величина показывает какое количество теплоты (в Вт) проходит через ограждающую конструкцию площадью 1 м^2 при разности внутренней и наружной температур с разных сторон ограждающей конструкции 1 °C . Это значит, что при $U=1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ через наружное ограждение площадью 1 м^2 и разности температур с разных ее сторон 1 °C плотность теплового потока составляет 1 Вт , а при разности 20 °C – 20 Вт и т.д. Для расчета количества тепловой энергии (кВт·ч), проходящей через 1 м^2 ограждающей конструкции эту величину (U) следует умножить на число часов отопительного периода и среднюю за отопительный период разность температур. Эти данные для каждого климатического района определены в СП 131.13330 [9]. Для Москвы эти данные представлены в таблице 1, для Санкт-Петербурга – в таблице 2. Аналитически представленные выше рассуждения можно выразить формулой [10-13]:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \cdot 24}{1000}, \quad (5)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная средняя температура внутреннего воздуха в помещениях жилого здания, принимаемая по ГОСТ 30494 [7] равной 20 °С; то же, что и в формуле (3);

$t_{\text{от}}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая для климатических условий г. Москвы по СП 131.13330 [9] равной минус 2,2 °С (см. данные табл. 1), для климатических условий г. Санкт-Петербурга – минус 1,3 °С (см. данные табл. 2); то же, что и в формуле (3);

$z_{\text{от}}$ – количество суток отопительного периода, принимаемой для жилых зданий, расположенных в Москве равным 205 суткам (табл. 1), Санкт-Петербурга – 213 суткам (табл. 2); то же, что и в формуле (3);

24 – количество часов в сутках;

1000 – переводной коэффициент для плотности теплового потока из Вт в кВт.

Примечание: при более высокой (выше 20 °С) температуре внутреннего воздуха, поддерживаемой в течение отопительного периода в здании, суммарные потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции окажутся выше, соответствующим образом возрастут и эксплуатационные расходы.

Таким образом, используя формулу (5) мы можем рассчитать средние за отопительный период потери тепловой энергии через 1 м², выраженные в кВт·ч. Эту же величину можно выразить в гигакалориях (Гкал), если разделить выражение (5) на 1163, т.к. 1 Гкал=1162,7 кВт·ч. Расчет потерь тепловой энергии в Гкал удобнее пользоваться по той причине, что стоимость тепловой энергии для потребителей, так называемый тариф на тепловую энергию, рассчитывается в руб/Гкал. Тогда формула (5) может быть записана в виде:

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \cdot 24}{1000 \cdot 1163}. \quad (6)$$

Здесь обозначения те же, что и в формуле (5), 1163 – переводной коэффициент из кВт·ч в Гкал.

Если отопление здание производится электричеством, то удобнее пользоваться формулой (5), если централизованно от ТЭЦ – формулой (6).

Сравнивая формулы (3) и (5) видим, что выражение $(t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}$, в формулах (5) и (6) означает градусо-сутки отопительного периода (сокращенно – ГСОП; то же, что и в формуле (3)). Для жилых зданий,

расположенных в Москве величина ГСОП составляет 4551 °С·сут (табл. 1), в Санкт-Петербурге – 4536,9 °С·сут (табл. 2). Таким образом, формулы (5) и (6) можно привести к более удобному виду:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000} = 0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}; \quad (7)$$

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000 \cdot 1163} = \frac{0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}}{1163}. \quad (8)$$

Если нам известна площадь ограждающей конструкции $A_{\text{ок}}$, м², например наружных стен, то суммарные потери тепловой через нее за отопительный период могут быть рассчитаны по формулам:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = 0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}}; \quad (9)$$

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}}}{1163}, \quad (10)$$

где $A_{\text{ок}}$ – площадь соответствующей ограждающей конструкции, м².

Следовательно, эксплуатационные затраты (Э) можно рассчитать по формуле [10, 11]:

$$\text{Э} = Q \cdot c_{\text{т}}, \quad (11)$$

где Q – суммарные потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции рассматриваемого здания, рассчитываемые для зданий, отапливаемых централизованно (от городской или районной ТЭЦ) по формуле (10), для зданий, отапливаемых электрическими нагревателями – по формуле (9);

$c_{\text{т}}$ – величина тарифа, принимаемая:

- руб/Гкал – при централизованном отоплении от городской ТЭЦ;
- руб/кВт·ч – при электрическом теплоснабжении.

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

4.2 Методика расчета прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий

Применим для расчета сроков окупаемости утепления наружных стен существующих жилых зданий метод приведенных затрат.

Положим, что

$$П_1 = K_1 + Э_1 \cdot T; \quad (12)$$

$$П_2 = K_2 + Э_2 \cdot T, \quad (13)$$

где $П_1$, $П_2$ – затраты на капитализацию и эксплуатацию наружных ограждающих конструкций (например, стен), руб;

K_1 – капитальные затраты на возведение наружного ограждения здания (с учетом того, что мы рассматриваем существующее здание, $K_1=0$), руб;

K_2 – капитальные затраты на дополнительное утепление, руб;

$Э_1$ – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции за один отопительный сезон до проведения утепления, руб/год;

$Э_2$ – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции за один отопительный сезон после проведения работ по их утеплению, руб/год;

T – время, исчисляемое в годах.

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

$$П_1 = П_2, \quad (14)$$

Или с учетом уравнений (12), (13):

$$K_1 + Э_1 \cdot T = K_2 + Э_2 \cdot T. \quad (15)$$

Или с учетом того, что $K_1=0$:

$$Э_1 \cdot T = K_2 + Э_2 \cdot T. \quad (16)$$

Тогда из уравнения (12) можно рассчитать срок простой окупаемости [10, 11]:

$$T = \frac{K_2}{\Delta_1 - \Delta_2} = \frac{\Delta K}{\Delta \Delta} \quad (17)$$

где ΔK – затраты на утепление наружных ограждающих конструкций (с учетом того, что в рассматриваемом примере $K_1=0$: $\Delta K=K_2-K_1=K_2$), руб;

$\Delta \Delta$ – разность потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции до проведения мероприятий по утеплению стен (Δ_1) и после утепления (Δ_2), руб/год.

С учетом полученных ранее выражений (10) и (11) значение $\Delta \Delta$ можно рассчитать по формуле:

$$\Delta \Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = Q_1 \cdot c_T - Q_2 \cdot c_T = \frac{0,024 \cdot U_1 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}} \cdot c_T}{1163} - \frac{0,024 \cdot U_2 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}} \cdot c_T}{1163} = \frac{(U_1 - U_2) \cdot 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot A_{\text{ок}} \cdot c_T}{1163} \quad (18)$$

Отметим, что срок окупаемости, рассчитанный по формуле (17) получен без учета:

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

По этой причине, рассчитанное по формуле (17) значение прогнозируемого срока окупаемости инвестиций можно рассматривать только как оценочное.

С учетом обозначенных выше дополнительных факторов, прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в дополнительное утепление фасадов определяется выражением [14-20]:

$$T = \frac{\ln \left[1 + \frac{\Delta K}{\Delta \Delta} \frac{(r-i)}{(1+i)} \right]}{\ln \left[\frac{1+r}{1+i} \right]}, \quad (19)$$

где ΔK – то же, что в формуле (17), руб;

$\Delta \Delta$ – то же, что в формуле (18), руб/год;

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию;

i – процентная ставка дисконтирования.

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

$$\Delta \tilde{K} = m \cdot A \cdot \Delta K, \quad (20)$$

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

A – коэффициент аннуитета;

ΔK – сметная стоимость работ (инвестиции без учета платежей по кредиту).

Коэффициент аннуитета A рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{p_{кр} \cdot (1+p_{кр})^m}{(1+p_{кр})^m - 1}, \quad (21)$$

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

m – то же, что и в формуле (20).

Таким образом, уравнение (19) позволяет вычислить период окупаемости T рассматриваемого энергосберегающего мероприятия с учетом суммарных капитальных затрат на его реализацию $\Delta \tilde{K}$, платежей по кредиту ($p_{кр}$), роста стоимости тарифов на тепловую энергию (r), дисконтирования будущих денежных потоков (i), достигаемых за счет экономии средств в результате внедрения данного энергосберегающего мероприятия.

В связи с тем, что в рамках данного исследования утепление фасадов производится за счет средств, собранных по программе капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах, капитальные затраты на монтаж теплоизоляции и штукатурного покрытия будем рассматривать без учета процентных ставок по кредиту.

Как известно, тарифы на энергетические ресурсы ежегодно возрастают. Это означает, что с каждым последующим годом (отопительным периодом), годовая экономия денежных средств $\sum_{(i)} \Delta \mathcal{E}_i$ будет увеличиваться. Пренебречь данным обстоятельством в рассматриваемой модели не представляется возможным.

Средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию для населения России Δc_T составляет примерно 15 % в год [11, 21]. Т.о. среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию r в формуле (19) примем равным 0,15.

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

Мерой дисконтирования будущих денежных потоков можно выбрать средний уровень инфляции за определенный промежуток времени (например, за 5 или 10 последних лет), ставку рефинансирования Центрального Банка, доходность альтернативных вложений (например, открытие вклада в банке на депозитный счет), прочие факторы, влияющие на величину будущих денежных потоков.

Для данной конкретной модели в качестве меры дисконтирования примем среднее значение инфляции. За последние 10 лет среднегодовой показатель инфляции в России составляет 9,3 %. С целью округления примем значение показателя дисконтирования i в формуле (19) равным 0,1.

4.3. Методика расчета требуемой толщины слоя теплоизоляции

Расчет требуемой толщины слоя теплоизоляции $\delta_{тр}$, м, произведем на основании следующей формулы [10]:

$$\delta_{тр} = \left(R_0^{тр(нов)} - R_0^{тр(исх)} \right) \cdot \frac{\lambda_{ут}}{r_{т.о.}}, \quad (22)$$

где $R_0^{тр(нов)}$ – современное значение требуемого (нормируемого) сопротивления теплопередаче наружных стен здания, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

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

$\lambda_{ут}$ – теплопроводность утеплителя, Вт/(м·°С); принимается для условий эксплуатации Б (λ_B);

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

Теплопроводность теплоизоляционных изделий из пенополистирола марки ПСБ-С М25Ф для условий эксплуатации Б (λ_B) на основании Протокола испытаний № 358 НИИСФ РААСН от 28 июля 2005 года примем равной 0,040 Вт/(м·°С), теплопроводность теплоизоляционных изделий из минеральной каменной ваты примем равной 0,042 Вт/(м·°С).

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

- исходное значение: $R_0^{тр(исх)} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$;

- конечное значение, требуемое на основании современных требований стандартов по тепловой защите: $R_0^{тр(нов)} = 2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

Аналогичные данные для климатических условий Москвы составят:

- исходное значение: $R_0^{тр(исх)} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$;

- конечное значение: $R_0^{тр(нов)} = 2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

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

Применительно для климатических условий Санкт-Петербурга, получим следующие значения требуемых толщин:

- при утеплении фасадов плитами из пенополистирола:

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

- при утеплении фасадов плитами из минеральной каменной ваты:

$$\delta_{тр} = \left(R_0^{тр(нов)} - R_0^{тр(исх)} \right) \cdot \frac{\lambda_{ут}}{r_{т.о.}} = (2,99 - 0,94) \cdot \frac{0,042}{0,75} = 0,115 \text{ (м)}.$$

Применительно для климатических условий города Москвы требуемые значения толщин слоя теплоизоляции составят:

- при утеплении фасадов плитами из пенополистирола:

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

- при утеплении фасадов плитами из минеральной каменной ваты:

$$\delta_{\text{тр}} = \left(R_0^{\text{тр(нов)}} - R_0^{\text{тр(исх)}} \right) \cdot \frac{\lambda_{\text{ут}}}{r_{\text{т.о.}}} = (2,99 - 0,98) \cdot \frac{0,042}{0,75} = 0,113 \text{ (м)}.$$

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 фасадов существующих зданий до удовлетворения современных требований по тепловой защите [8], составляет 110 мм – при утеплении плитами фасадных марок из пенополистирола, 120 мм – при утеплении плитами из минеральной (каменной) ваты.

5. 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.

5.1 Капитальные затраты на утепление фасадов с применением теплоизоляционных изделий (плит) из пенополистирола фасадных марок

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).

5.2 Капитальные затраты на утепление фасадов с применением теплоизоляционных изделий (плит) из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем

Капитальные затраты на дополнительное утепление **3 000 м²** фасадов существующего здания слоем теплоизоляции из каменного волокна на синтетическом связующем толщиной **120 мм** с последующим нанесением тонкого штукатурного покрытия ΔK примем равными **6 500 000 руб**, из которых:

- **3 750 000** рублей (стоимость комплекса работ по монтажу фасадной системы с учетом строительных лесов, накладных и прочих расходов);
- **2 750 000** рублей (стоимость строительных материалов), в том числе:
 - **1 600 000** рублей – стоимость теплоизоляционных плит из каменной ваты;
 - **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 (1 600 000 руб) составляет менее 25 % от общей стоимости работ и материалов (6 500 000 руб).

Примечание. Представленные в п.п. 5.1. и 5.2 капитальные затраты на утепление фасадов существующих зданий актуальны для следующих федеральных округов: ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФФО. 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.

6. Примеры расчетов

6.1 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 $R_0^{\text{исх}} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

При $R_0^{\text{исх}} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, получим, что исходное значение коэффициента теплопередаче $U_{\text{исх}}$ (см. формулу (4)) равно $1,064 \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot \text{°C})$. Количество градусо-суток отопительного периода в Санкт-Петербурге показано в таблице 2 и составляет $4536,9 \text{ °C} \cdot \text{сут}$. 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, $c_T = 1408,01 \text{ руб}/\text{Гкал}$ 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:

- в одном случае – плиты теплоизоляционные из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит;

- во втором случае – плиты из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем (примеры: ТЕХНОФАС, ТЕХНОФАС Л, ФАСАД БАТТС, ФАСАД БАТТС Д, ФАСАД ЛАМЕЛЛА, ISOVER Штукатурный Фасад, ISOVER Фасад и пр.).

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга ($GCOП=4536,9 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$) $R_0^{\text{тр(нов)}} = 2,99 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Значению сопротивления теплопередаче $2,99 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$ соответствует коэффициент теплопередачи $U_{\text{нов}} = 0,335 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$.

Рассчитаем по формуле (2) величину уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0,024 \cdot GCOП \cdot A_{\text{ок}} \cdot c_T}{1163} = \\ &= \frac{(1,064 - 0,335) \cdot 0,024 \cdot 4536,9 \cdot 3000 \cdot 1408,01}{1163} = 288\,300 \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right). \end{aligned}$$

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 (9,3 %), 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 полученных исходных данных произведем расчет прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего здания, расположенного на территории Санкт-Петербурга. Получим:

- при утеплении фасадов плитами из пенополистирола фасадных марок:

$$T = \frac{\ln\left[1 + \frac{5\,900\,000 \cdot (0,15 - 0,1)}{288\,300 \cdot (1 + 0,1)}\right]}{\ln\left[\frac{1 + 0,15}{1 + 0,1}\right]} = 14,8 \text{ (лет экпл.)};$$

- при утеплении фасадов плитами из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем:

$$T = \frac{\ln\left[1 + \frac{6\,500\,000 \cdot (0,15 - 0,1)}{288\,300 \cdot (1 + 0,1)}\right]}{\ln\left[\frac{1 + 0,15}{1 + 0,1}\right]} = 15,9 \text{ (лет экпл.)}.$$

Таким образом, при сложившейся экономической и тарифной ситуации прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующих зданий применительно для климатических условий **Санкт-Петербурга** составит:

- при использовании в качестве теплоизоляции плит из пенополистирола фасадных марок толщиной 110 мм с учетом устройства противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит – **не более 15 лет эксплуатации**;

- при использовании в качестве теплоизоляции плит из минеральной каменной ваты на синтетическом связующем толщиной 120 мм – **не более 16 лет эксплуатации**.

Разница затрат тепловой энергии до и после утепления фасадов составит:

$$\Delta Q = \frac{(U_{исх} - U_{нов}) \cdot 0,024 \cdot ГСОП \cdot A_{ок}}{1163} = \frac{(1,064 - 0,335) \cdot 0,024 \cdot 4536,9 \cdot 3000}{1163} \approx 205 \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}}\right).$$

6.2 Пример расчета для Москвы

Произведем аналогичные расчеты применительно к климатическим условиям города Москвы.

Примем, что исходное значение сопротивления теплопередаче наружных стен составляет $R_0^{исх} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. При $R_0^{исх} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, получим, что исходное значение коэффициента теплопередаче $U_{исх}$ (см. формулу (4)) равно $1,021 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Количество градусо-суток отопительного периода в Москве показано в таблице 1 и составляет $4943,4 \text{ °C} \cdot \text{сут}$. 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, $c_T = 1720,90 \text{ руб} / \text{Гкал}$ с учетом НДС (см.

Приложение 17 Постановления Правительства Москвы 26 ноября 2013 г. N 748-ПП).

Требуется утеплить наружные стены существующего здания, расположенного на территории г. Москвы, 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:

- в одном случае – плиты теплоизоляционные из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит;

- во втором случае – плиты из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем (примеры: ТЕХНОФАС, ТЕХНОФАС Л, ФАСАД БАТТС, ФАСАД БАТТС Д, ФАСАД ЛАМЕЛЛА, ISOVER Штукатурный Фасад, ISOVER Фасад и пр.).

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых зданий применительно к климатическим условиям Москвы ($G_{СОП}=4551 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$) $R_0^{\text{тр(нов)}} = 2,99 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Значению сопротивления теплопередаче $3,13 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$ соответствует коэффициент теплопередачи $U_{\text{нов}} = 0,335 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$.

Рассчитаем по формуле (2) величину уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \frac{(U_{\text{исх}} - U_{\text{нов}}) \cdot 0,024 \cdot G_{\text{СОП}} \cdot A_{\text{ок}} \cdot c_{\text{T}}}{1163} = \\ &= \frac{(1,021 - 0,335) \cdot 0,024 \cdot 4551 \cdot 3000 \cdot 1720,90}{1163} = 332\,613 \left(\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right). \end{aligned}$$

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 (9,3 %), 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 полученных исходных данных произведем расчет прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующего здания, расположенного на территории города Москвы. Получим:

- при утеплении фасадов плитами из пенополистирола фасадных марок:

$$T = \frac{\ln\left[1 + \frac{5\,900\,000 \cdot (0,15 - 0,1)}{332\,613 \cdot (1 + 0,1)}\right]}{\ln\left[\frac{1 + 0,15}{1 + 0,1}\right]} = 13,3 \text{ (лет экспл.)};$$

- при утеплении фасадов плитами из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем:

$$T = \frac{\ln\left[1 + \frac{6\,500\,000 \cdot (0,15 - 0,1)}{332\,613 \cdot (1 + 0,1)}\right]}{\ln\left[\frac{1 + 0,15}{1 + 0,1}\right]} = 14,3 \text{ (лет экспл.)}.$$

Таким образом, при сложившейся экономической и тарифной ситуации прогнозируемый срок окупаемости инвестиций в утепление фасадов существующих зданий применительно для климатических условий города **Москвы** составит:

- при использовании в качестве теплоизоляции плит из пенополистирола фасадных марок толщиной 110 мм с учетом устройства противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит – **не более 14 лет эксплуатации;**

- при использовании в качестве теплоизоляции плит из минеральной каменной ваты на синтетическом связующем толщиной 120 мм – **не более 15 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.

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 $1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ($0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ – для Москвы и $0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ – 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 $2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

3. На этом основании 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).

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 утеплителя рассмотрены 2 варианта конструктивного исполнения:

- в первом случае – плиты теплоизоляционные из пенополистирола фасадных марок с устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит;

- во втором случае – плиты из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем (примеры: ТЕХНОФАС, ТЕХНОФАС Л, ФАСАД БАТТС, ФАСАД БАТТС Д, ФАСАД ЛАМЕЛЛА, ISOVER Штукатурный Фасад, ISOVER Фасад и пр.).

6. Требуемая толщина слоя теплоизоляции из пенополистирола фасадных марок составляет **110 мм**, из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем – **120 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 м²** фасадов существующих зданий, расположенных на территории г. **Москвы** (ГСОП=**4551 °С·сут**), до нормативного уровня (**2,99 м²·°С/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 м²** фасадов существующих зданий, расположенных на территории г. **Санкт-Петербурга**, до нормативного уровня (**2,99 м²·°С/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 м²** 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 м²** 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 (равной среднегодовому уровню инфляции в России за последние 10 лет) составит:

- для СФТК с плитами из пенополистирола фасадных марок и устройством противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит противопожарных рассечек и окантовок из жестких минераловатных плит:

- для Москвы – **не более 14 лет**;
- для Санкт-Петербурга – **не более 15 лет**;

- для СФТК с плитами из минеральной (каменной) ваты на синтетическом связующем:

- для Москвы – **не более 15 лет**;
- для Санкт-Петербурга – **не более 16 лет**.

13. На основании экспертного заключения НИИСФ РААСН [22] и Протокола испытаний № 61160 (Приложение № 1 к экспертному заключению [22]) 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 [23] 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 [24].

14. С учетом полученных значений прогнозируемого срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, направленных на утепление фасадов существующих зданий (**не более 16 лет**) и прогнозируемой долговечности рассматриваемых вариантов СФТК **30 лет и более** [23, 24], 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.

Список литературы

1. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
3. СНиП II-A.7-62 Строительная теплотехника. Нормы проектирования.
4. СНиП II-A.6-62 Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования.
5. СНиП II-Л.1-62 Жилые здания. Нормы проектирования.
6. СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные.
7. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
8. СП 50.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
9. СП 131.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* Строительная климатология.
10. Горшков А.С., Немова Д.В. Формула энергоэффективности // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2013. № 7 (12). С. 49-63.
11. 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. – 160 с.
12. Горшков А.С. Принципы энергосбережения в зданиях // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2014. №7. С. 26-35.
13. Горшков А., Ватин Н., Немова Д. Строительная физика. Энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций по стандартам Финляндии: учеб. пособие. – Saarbrücken: Lap Lambert, 2014. – 136 с.
14. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение // *Инженерные системы*. 2014. № 3. С. 32-37.
15. Горшков А.С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // *Энергосбережение*. 2014. № 4. С. 12-19.
16. Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Технико-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций частного жилого дома // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 8 (23). С. 93-115.

17. Немова Д.В., Горшков А.С., Ватин Н.И., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению наружных стен жилого многоквартирного здания с устройством вентилируемого фасада // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 11 (26). С. 70-84.
18. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 2 (17). С. 82-106.
19. Романова А.А., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий // *Техничко-технологические проблемы сервиса*. 2014. № 4 (30). С. 68-74.
20. 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.
21. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 8. С. 4-14.
22. Экспертное заключение ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Академии российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН) от 19.01.2015 г.
23. 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 натуральных условиях на домах с утепленными фасадами жилых, промышленных и общественных зданий».
24. СТО 58239148-001-2006 «Системы наружной теплоизоляции стен зданий с отделочным слоем из тонкослойной штукатурки “Ceresit”».