**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЯ И ОБОСНОВАНИЮ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

**Москва 2018 г.**

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ


| | | |
|---|---|---|
| | Введение | 3 |
| 1 | Область применения | 5 |
| 2 | Нормативные ссылки | 6 |
| 3 | Термины и определения | 7 |
| 4 | Общие положения | 9 |
| 5 | Методика оптимизации теплозащитной оболочки | 10 |
| 5.1 | Описание методики | 10 |
| 5.2 | Расчет удельной прибыли от экономии энергетической единицы и требуемого класса теплозащитной эффективности здания | 11 |
| 5.3 | Упорядочивание вариантов теплозащитного элемента по их теплотехническим характеристикам и стоимости | 14 |
| 5.4 | Расчет удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы | 16 |
| 5.5 | Оптимизация теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий | 20 |
| 5.6 | Пример оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий | 34 |
| 6 | Методика выбора иных энергосберегающих решений | 37 |
| 6.1 | Описание методики | 37 |
| 6.2 | Удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы для различных энергосберегающих мероприятий | 38 |
| 6.3 | Выбор оптимального источника энергии | 44 |

# Введение

Методические рекомендации по оптимизации теплозащитной оболочки здания и обоснованию применения энергосберегающих мероприятий по экономическим критериям» разработаны в рамках комплекса мероприятий по развитию нормативной технической и научной базы в области строительства с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Тепловая защита зданий регламентируется СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», содержащем обязательные нормативные требования к основным характеристикам тепловой защиты ограждающих конструкций. В этом своде правил приводятся только минимально необходимые требования к конструкциям и зданию в целом, и вопрос эффективности, окупаемости, тех или иных теплозащитных мероприятий в СП 50.13330.2012 не рассматривается. Поэтому перед проектировщиком часто возникают вопросы оптимального уровня применения тех или иных мероприятий, эффективности их применения. Частично ответы на эти вопросы даны в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты». Однако, в этом своде правил даны лишь общие рекомендации, которые для своего полноценного применения требуют разъяснений и дополнений. Полное описание необходимых методик оптимизации, их расширение на различные энергосберегающие мероприятия, пояснения и примеры собраны в настоящих Методических рекомендациях.

Рекомендации разработаны для применения широким кругом специалистов, чья деятельность связана со строительством, проектированием, или экспертизой проектов. Применение настоящих Методических рекомендаций даст проектировщику механизм выбора оптимальных энергосберегающих решений адаптированных к уникальным условиям проектируемого объекта.

Настоящие Методические рекомендации разработаны авторским коллективом Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитекту-

ры и строительных наук»: д. т. н. В.Г. Гагарин, к. т. н. В.В. Козлов, к. т. н. А.Ю. Неклюдов, к. т. н. П.П. Пастушков, к. т. н. Д.Ю. Желдаков.

# 1 Область применения

Настоящие Методические рекомендации распространяются на проектируемые, реконструируемые и эксплуатируемые жилые и общественные здания. Уровень тепловой защиты указанных зданий устанавливается в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Основные методики проверки тепловой защиты и ее совершенствования изложены в СП 50.13330.2012, СП 345.1325800.2017, СП 230.1325800.2015. Ключевые методики оптимизации теплозащитной оболочки здания по экономическим критериям изложены в СП 345.1325800.2017.

## 2 Нормативные ссылки

1. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме»
2. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»
3. ГОСТ Р 56733 2015 «Здания и сооружения. Метод определения удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающей конструкции»
4. ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией»
5. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий»
6. СП 54.13330.2011. «СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные»
7. СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения»
8. СП 131.13330.2012. «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
9. СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей»
10. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»

## 3 Термины и определения

Термины и их определения принимаются в соответствии с разделом 3 СП 50.13330.2012 и разделом 3 СП 230.1325800.2015.

Дополнительно используются следующие термины.

3.1 **Гармонично утепленная оболочка здания**: оболочка здания, состоящая из гармонично утепленных ограждающих конструкций одного класса. Этот же класс теплозащитной эффективности является характеристикой и всей оболочки здания.

3.2 **Гармонично утепленная ограждающая конструкция**: ограждающая конструкция, все элементы которой относятся к одному классу теплозащитной эффективности. Этот же класс теплозащитной эффективности является характеристикой и всей конструкции.

3.3 **Класс теплозащитной эффективности элемента, мероприятия, здания**: характеристика теплозащитной эффективности, представленная интервалом значений удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы. Величина математически обратная к энергетической эффективности.

3.4 **Срок окупаемости, $Z_{ок}$, лет**: срок в течение которого оценивается экономический эффект от конструкции или мероприятия, назначается как половина срока службы элемента до замены или ремонта, но не более 12 лет.

3.5 **Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год $\Omega_{кон}$, руб/(кВт·ч/год)**: единовременные затраты на энергосберегающее мероприятие, отнесенные к величине экономии тепловой энергии от применения мероприятия за год эксплуатации при ГСОП =1000 °С сут/год, руб/м$^2$.

3.6 **Удельная прибыль от экономии энергетической единицы 1 кВт·ч/год, руб/(кВт·ч/год) $\Omega_T$, руб/(кВт·ч/год)**: прибыль, получаемая за счет энергосберегающего мероприятия (совокупная стоимость сэкономленной энергии и оборудования за срок окупаемости), отнесенная к величине экономии тепловой энергии 1 кВт·ч/год при ГСОП =1000 °С сут/год , руб/(кВт·ч/год).

3.7 **Удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции, П, руб./(м$^2$·год)**: сумма всех затрат как на возведение, так и на эксплуатацию 1 м$^2$ ограждающей конструкции в течении установленного срока окупаемости.

## 4 Общие положения

4.1 При проектировании тепловой защиты зданий следует руководствоваться нормативными требованиями, установленными СП 50.13330.2012, указаниями СП 345.1325800.2017 и других документов, утвержденных и согласованных в установленном порядке.

При проектировании тепловой защиты следует предпочитать варианты проектных решений, которые позволяют обеспечивать нормативные требования с наименьшими энергетическими и материальными затратами.

4.2 Климатические данные для проектирования тепловой защиты зданий следует принимать по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Параметры микроклимата внутренних помещений следует принимать по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

4.3 Ценовые данные по строительным материалам, конструкциям (в частности узлам) и инженерным решениям следует принимать по смете объекта. Стоимость отдельных теплозащитных решений находится как разница стоимости конструкции или объекта с этим решением и без него.

# 5 Методика оптимизации теплозащитной оболочки

Требования к тепловой защите зданий устанавливаются в СП 50.13330.2012. В основном эти требования ограничивают регулируемую величину только с одной стороны, не давая сделать хуже, некоторого стандарта, но никак не ограничивая его превышение. Предполагается, что такая свобода выбора проектировщика, позволит ему подобрать наиболее оптимальные для проекта решения. Принципов выбора оптимального решения может оказаться огромное множество. В настоящем документе описывается методика, основанная на принципе окупаемости энергосберегающих мероприятий.

В настоящем разделе описывается методика оптимизации отдельных ограждающих конструкций и теплозащитной оболочки здания в целом. Расширение этой методики на иные энергосберегающие мероприятия описано в разделе 6.

## 5.1 Описание методики

Ключевые моменты методики оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий приведены в разделе 5.10 СП 345.1325800.2017.

Основной принцип оптимизации оболочки здания заключается в сравнении альтернативных вариантов конструкций или их элементов.

Методика содержит три уровня оптимизации:

1) выбор оптимальных теплозащитных характеристик отдельных элементов конструкции из условия окупаемости энергосбережения.

2) сравнение по эффективности энергосбережения конструкций с различной базовой комплектацией.

3) гармонизация отдельных конструкций и оболочки здания в целом.

Для проведения максимально объективного и универсального сравнения вариантов вводится характеристика эффективности вложений в энергосберегающее мероприятие - удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год, $\Omega_{кон}$ (или $\Omega_{эл}$ если оценивается отдельный теплозащитный элемент, а не вся конструк-

ция), руб/(кВт·ч/год). Эта характеристика показывает количество денег, которые необходимо затратить для экономии 1 кВт·ч тепловой энергии в год в эталонных климатических условиях, для которых ГСОП = 1000 °С сут/год (примерно соответствует климату Сочи). Чтобы ввести эту характеристику требуется особая процедура, которая описывается в разделе 5.3 настоящего документа. Введение удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год позволяет единообразно и в равных условиях сравнивать эффективность вложений в самые разные энергосберегающие мероприятия. Например, сравнить замену тарельчатого анкера для крепления утеплителя и установку рекуператора, дополнительные 30 мм утеплителя и солнцезащитное покрытие на окнах, и т.п. У каждого энергосберегающего мероприятия есть стоимость его внедрения и энергетический эффект от его применения. Выразив эффект в кВтч за год, любые мероприятия можно сравнить между собой грамотно выровняв условия их применения. Этот подход и реализован в описываемой методике.

5.2 Расчет удельной прибыли от экономии энергетической единицы и требуемого класса теплозащитной эффективности здания

5.2.1 Для того чтобы оценить какой из рассматриваемых вариантов конструкции, или отдельного ее элемента, оптимален для исследуемого объекта, необходимо строительному объекту сопоставить характеристику аналогичную удельным единовременным затратам на экономию 1 кВт·ч/год. Эта характеристика будет зависеть от климатических и экономических параметров района строительства и самого строительного объекта. Такая характеристика введена в разделе 5.10 СП 345.1325800.2017, это удельная прибыль от экономии энергетической единицы, $\Omega_{пр}$, руб/(кВт·ч/год).

Удельная прибыль от экономии энергетической единицы рассчитывается по формуле

$$\Omega_{пр} = C_{тепл} \cdot m_{кп} \cdot Z_{ок} + C_{от} \cdot m_{кп}, \quad (5.1)$$

где $C_{тепл}$ – тарифная цена тепловой энергии в районе строительства проектируемого здания, руб./кВт·ч;

$C_{от}$ – удельная цена отопительного оборудования и подключения к тепловой сети

в районе строительства проектируемого здания, руб./(кВт·ч/год);

$m_{кл}$ – климатический коэффициент района строительства, определяемый по формуле

$$m_{кл} = \frac{ГСОП}{ГСОП(Э)}, \quad (5.2)$$

где ГСОП – значение градусо-суток отопительного периода для района строительства, °С сут/год, определяемое по формуле (5.2) СП 50.13330.2012;

ГСОП(Э) – эталонное значение градусо-суток отопительного периода, °С сут/год, принимаемое равным 1000 °С сут/год.

$Z_{ок}$ – срок окупаемости определяемый как половина срока службы элемента до замены или ремонта, но не более 12 лет.

Наибольшую сложность представляет нахождение удельной цены отопительного оборудования и подключения к тепловой сети $С_{от}$. Традиционно отопительное оборудование проектируют исходя из максимальных потребностей в тепловой энергии, а энергоэффективность и энергосбережение рассчитываются исходя из всего потребленного тепла за год. Эти величины связаны лишь косвенно, поэтому формула (5.1) не может быть упрощена и требует отдельного расчета указанной величины для каждого конкретного объекта. Сначала рассчитывается необходимое отопительное оборудование и полная подключаемая мощность на весь объект в целом. Находится их стоимость, включая все сопутствующие затраты. А затем суммарная стоимость делится на расчетное количество тепловой энергии в кВтч, потребляемое объектом за год.

5.2.2 Пример расчета удельной цены отопительного оборудования и подключения к тепловой сети.

По энергетическому паспорту расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период составляет 897739 кВтч/год[1].

Стоимость подключения к тепловой сети 22,45 млн руб.

Стоимость отопительного оборудования 12,5 млн руб.

[1] Здесь и далее в примерах используются численные величины не соответствующие какому-либо конкретному объекту или региону строительства.

$C_{от}$ = (22450000+12500000)/ 897739 =38,9 руб./(кВт·ч/год).

5.2.3 Пример расчета удельной прибыли от экономии энергетической единицы

Этот пример продолжает пример, разобранный в п. 5.2.2.

Градусо-сутки отопительного периода в районе строительства 4990 °С сут/год.

Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания 1,55 руб./кВт·ч.

Срок окупаемости принимается равным 12 годам.

$$m_{кл} = 4990/1000 = 4,99$$

Удельная прибыль от экономии энергетической единицы

$$\Omega_{пр} = 1,55 \cdot 4,99 \cdot 12 + 38,9 \cdot 4,99 = 92,8 + 194,1 = 287 \text{ руб./(кВт·ч/год).}$$

В рассмотренном примере стоимость подключения к тепловой сети внесла наибольший вклад в удельную прибыль от экономии энергетической единицы, которая в дальнейшем задает уровень энергосберегающих мероприятий необходимых для данного объекта. В общем случае наибольший вклад может вносить, как стоимость подключения к тепловой сети, так и стоимость отопительного оборудования или цена тепловой энергии.

5.2.4 Классы теплозащитной эффективности элементов конструкции назначаются по удельным единовременным затратам на экономию 1 кВт·ч/год. Классификация проводится по таблице 5.1 СП 345.1325800.2017.

Таблица 5.1 – Классы теплозащитной эффективности элементов конструкции

| Класс | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Границы Ω, руб./(кВт·ч /год) | ≤2 | 2 < ≤ 4 | 4 < ≤ 8 | 8 < ≤ 14 | 14 < ≤ 24 | 24 < ≤ 40 | 40 < ≤ 65 | 65 < ≤ 100 | 100 < ≤ 160 | 160 < ≤ 250 | 250 < ≤ 380 | 380 < ≤ 570 | 570 < ≤ 850 | 850< |

Классы теплозащитной эффективности может быть присвоен любому варианту теплозащитного элемента, он определяется по таблице 5.1 по тому в какой промежуток попадают его удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год.

Для ограждающей конструкции или оболочки здания в целом класс теплозащитной эффективности может быть присвоен не всегда, а только гармонично утепленной ограждающей конструкции и гармонично утепленной оболочки здания. Эти понятия введены в разделе 5.10 СП 345.1325800.2017.

*Гармонично утепленной* называется ограждающая конструкция, все элементы которой относятся к одному классу теплозащитной эффективности. Этот же класс энергетической эффективности является характеристикой и всей конструкции.

*Гармонично утепленной* называется оболочка здания, состоящая из гармонично утепленных ограждающих конструкций одного класса. Этот же класс теплозащитной эффективности является характеристикой и всей оболочки здания.

Требуемый класс теплозащитной эффективности определяется по удельной прибыли от экономии энергетической единицы и таблице 5.1. Это требование к зданию в целом.

В разделе 5.2.3 в примере найдена удельная прибыль от экономии энергетической единицы для некоторой модельной ситуации (287 руб/(кВт·ч/год)). Соответствующий требуемый класс теплозащитной эффективности –«11».

5.3 Упорядочивание вариантов теплозащитного элемента по их теплотехническим характеристикам и стоимости

5.3.1 В общем случае для максимально объективного проведения расчетов необходимо рассмотреть как можно больше альтернативных вариантов каждого теплозащитного элемента конструкции. Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год вычисляются по упорядоченному набору альтернативных вариантов теплозащитного элемента.

Для упорядочивания все варианты выстраиваются в порядке возрастания стоимости. Предполагается, что с возрастанием стоимости потери теплоты через теплозащитный элемент снижаются (уменьшаются удельные потери теплоты или коэффициент теплопередачи). Если для какого-то из вариантов с увеличением стоимости потери теплоты не снизились, такой вариант очевидно невыгодный и его нужно исключить из дальнейшего рассмотрения. Это первичное упорядочивание вариантов теплозащитного элемента, его результаты следует представлять в табличном виде, как это показано в примере п. 5.3.2.

После расчета удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год проводится вторичное упорядочивание. К использовавшимся при первичном упорядочивании характеристикам вариантов теплозащитного элемента добавляются удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год (правила их расчета

описаны в следующем разделе). Варианты снова выстраиваются в ряд, упорядоченный по стоимости. В норме с увеличением стоимости варианта растут удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы. Если для какого-то из вариантов с увеличением стоимости $\Omega_{эд}$ уменьшается, предшествующий вариант был невыгодным и его нужно исключить из дальнейшего рассмотрения, после чего пересчитать единовременные затраты на экономию энергетической единицы.

В ряде случаев альтернативные варианты отличаются друг от друга не только ценой и потерями теплоты, но и иными факторами важными для рассмотрения (прочностью, стойкостью к коррозии, внешним видом). Такие случаи либо не могут исследоваться изложенной в данном документе методикой, либо дополнительные факторы должны быть монетизированы. Для этого влияние дополнительного фактора оценивается в денежном выражении, и стоимость варианта теплозащитного элемента корректируется на эту величину. Снижается, если влияние дополнительного фактора на конструкцию положительное, и увеличивается, если влияние дополнительного фактора на конструкцию отрицательное.

5.3.2 Пример упорядочивания вариантов теплозащитного элемента по их теплотехническим характеристикам и стоимости.

Рассматриваются варианты кронштейнов НФС, которые могут быть применены на исследуемом объекте.

Упорядочивание будет сразу проводиться в табличной форме. В таблице необходимо указывать вариант элемента (это может быть название детали, размер, описание и т.п., в данном случае варианты просто пронумерованы), стоимость варианта и удельные потери теплоты.

Таблица 5.2 – Варианты кронштейнов доступные на рассматриваемом объекте

| Вариант кронштейна | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/шт | 100 | 120 | 170 | 180 | 250 | 280 | 340 | 440 |
| $\chi_{кр}$, Вт/°С | 0,09 | 0,07 | 0,055 | 0,06 | 0,035 | 0,032 | 0,015 | 0,007 |

В таблице 5.2 сведены все доступные на исследуемом объекте варианты кронштейнов. Сразу видно, что вариант 4 невыгодный, так как при большей цене у него худшие теплотехнические показатели (удельные потери теплоты больше, чем у предыдущего варианта). Этот два вариант должен быть удален из рассмотрения.

Упорядоченные варианты кронштейна, подготовленные для расчета удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год, приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Упорядоченные варианты кронштейнов

| Вариант кронштейна | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/шт | 100 | 120 | 170 | 250 | 280 | 340 | 440 |
| $\chi_{кр}$, Вт/°С | 0,09 | 0,07 | 0,055 | 0,035 | 0,032 | 0,015 | 0,007 |

Для проведения вторичного упорядочивания требуется расчет удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год, который описывается в следующем разделе, поэтому окончательное упорядочивание вариантов будет проведено в п.п. 5.4.3.

5.4 Расчет удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы

5.4.1 Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год вычисляются по упорядоченному набору альтернативных вариантов теплозащитного элемента. Методика упорядочивания показана в разделе 5.3 настоящего документа. Формулы необходимые для вычисления удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год приведены в разделе 5.10 СП 345.1325800.2017.

для плоского элемента

$$\Omega_{эл} = -\frac{\Delta К^{ед}}{24 \cdot \left[\left(\frac{1}{R_{о,2}^{усл}}\right) - \left(\frac{1}{R_{о,1}^{усл}}\right)\right]}; \quad (5.3)$$

для линейного элемента

$$\Omega_{эл} = -\frac{\Delta К^{ед}}{24 \cdot [\Psi_2 - \Psi_1]}; \quad (5.4)$$

для точечного элемента

$$\Omega_{эл} = -\frac{\Delta К^{ед}}{24 \cdot [\chi_2 - \chi_1]}, \quad (5.5)$$

где $\Delta К^{ед}$ – разница единовременных затрат вариантов 2 и 1 исследуемого элемента, руб. Для плоского элемента единовременные затраты вычисляются на квадратный метр, для линейного элемента – на погонный метр, для точечного элемента – на 1 шт.

Для использования формул (5.3) – (5.5) должен быть составлен ряд из экономически обоснованных вариантов исследуемого элемента, упорядоченный по стоимости. В формулах индексы 1 и 2 обозначают соседние варианты ряда (т.е. ближайшие по потерям теплоты и стоимости экономически обоснованные варианты элемента). Причем вариант 2 дороже варианта 1. Полученное по формулам (5.3) – (5.5) значение $\Omega_{эл}$ соответствует 2 варианту элемента.

5.4.2 Само по себе значение удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год не позволяет определить выгодность или эффективность применения теплозащитного элемента или конструкции в целом. Ключом к определению эффективности является сравнение удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год и удельной прибыли от экономии энергетической единицы. Чем больше отличаются друг от друга эти два значения, тем ниже эффективность, *максимальная эффективность достигается при равенстве удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год и удельной прибыли от экономии энергетической единицы.*

Для максимальной эффективности ограждающие конструкции должны формироваться таким образом, чтобы классы теплозащитной эффективности всех элементов были равны требуемому классу теплозащитной эффективности здания. В случае отсутствия варианта элемента с необходимым классом теплозащитной эффективности следует использовать вариант элемента с ближайшим классом теплозащитной эффективности.

Из приведенного правила следует, что максимальную эффективность обеспечивают ограждающие конструкции, у которых классы теплозащитной эффективности всех элементов равны между собой. Это - гармонично утепленные ограждающие конструкции. Для каждого типа конструкции можно подобрать гармонично утепленный вариант с любым классом теплозащитной эффективности, возможно даже по нескольку вариантов на один класс. Все эти конструкции будут реализовывать максимум эффективности, но каждая в своих климатических и экономических условиях. Подбор максимально эффективной ограждающей конструкции для конкретного объекта осуществляется по удельной прибыли от экономии энергетической единицы и требуемому классу теплозащитной эффективности.

5.4.3 Пример расчета удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год.

Продолжим упорядочивание вариантов кронштейнов НФС из примера в п.п. 5.3.2.

По данным таблицы 5.2 и формуле (5.5) рассчитываются удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год.

Для иллюстрации приведен расчет удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год для варианта кронштейна 3.

$$\Omega_{\text{кронз}} = -\frac{170 - 120}{24 \cdot [0{,}055 - 0{,}07]} = 139 \text{ руб/(кВт·ч/год)}$$

Для остальных вариантов кронштейна удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год рассчитываются аналогично. Результаты сведены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Экономические и теплотехнические показатели кронштейнов

| Вариант кронштейна | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/шт | 100 | 120 | 170 | 250 | 280 | 340 | 440 |
| $\chi_{кр}$, Вт/°С | 0,09 | 0,07 | 0,055 | 0,035 | 0,032 | 0,015 | 0,007 |
| $\Omega_{кр}$, руб./(кВт·ч /год) | | 41,7 | 139 | 167 | 417 | 147 | 521 |
| Класс | | 7 | 9 | 10 | 12 | 9 | 12 |

В таблице 5.4 рост удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год вместе со стоимостью варианта нарушается для варианта 7, это означает, что вариант 6 невыгодный и должен быть удален. Окончательно ряд экономически обоснованных вариантов кронштейнов НФС приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Экономические и теплотехнические показатели кронштейнов после упорядочивания

| Вариант кронштейна | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/шт | 100 | 120 | 170 | 250 | 340 | 440 |
| $\chi_{кр}$, Вт/°С | 0,09 | 0,07 | 0,055 | 0,035 | 0,015 | 0,007 |
| $\Omega_{кр}$, руб./(кВт·ч /год) | | 41,7 | 139 | 167 | 188 | 521 |
| Класс | | 7 | 9 | 10 | 10 | 12 |

Если снижение потерь теплоты через теплозащитный элемент с возрастанием стоимости достаточно очевидно, и нетрудно понять, почему нарушающие эту закономерность варианты невыгодны, то, как появляются невыгодные вариант при повторном упорядочивании, понять значительно сложнее. Дело в том, что с возрастанием стоимости потери теплоты через теплозащитный элемент должны не просто снижаться, а снижаться с некоторым темпом. Если этот темп не выдерживается, то ломается зависимость удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год от стоимости теплозащитного элемента, что и позволяет заметить неэффективный (слишком медленно снижающий тепловые потери) элемент.

5.5 Оптимизация теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий

5.5.1 Прежде чем приступать к оптимизации теплозащитной оболочки здания необходимо провести процедуру оптимизации каждой ограждающей конструкции ее составляющей.

Процедура оптимизации отдельного варианта конструкции описана в «Пособии по расчетам тепловой защиты зданий» выпущенном ФАУ ФЦС в 2017 г.

Она предполагает следующую последовательность действий:

1. Требуется выделить все теплозащитные элементы, составляющие конструкцию и имеющие несколько вариантов своего решения.

Для каждого элемента проводится вспомогательная работа по упорядочиванию его вариантов.

2. Для каждого из вариантов элемента находится стоимость и теплозащитная характеристика. Наиболее просто это может быть сделано из сравнения тепловых потерь и стоимости конструкции с этим вариантом элемента и без него.
3. Все возможные варианты элемента выстраиваются в ряд, упорядоченный по теплозащитной характеристике. Из всех возможных вариантов элемента оставляют только экономически целесообразные, то есть те у которых с возрастанием стоимости снижаются потери теплоты.
4. Для каждого варианта элемента, рассчитываются удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы (по формулам (5.3) – (5.5)).
5. По значениям удельных единовременных затрат на экономию энергетической

единицы и таблице 5.1, каждому варианту элемента присваивается класс теплозащитной эффективности.

После того как действия, описанные в п. 2 – 5, проведены для всех элементов, составляющих конструкцию, проводится ее оптимизация.

6. Определяется удельная прибыль от экономии энергетической единицы и требуемый класс теплозащитной эффективности здания.
7. Для всех элементов конструкции выбираются варианты требуемого класса. Если вариантов требуемого класса не существует, или, наоборот, существует несколько, то выбирается вариант элемента с $\Omega_{эл}$ ближайшей к $\Omega_{пр}$.

Полученная с помощью описанной процедуры конструкция позволяет достичь минимума приведенных затрат в данных экономических и климатических условиях для выбранного вида конструкции. Формулы (Е.1) СП 50.13330.2012 и (5.16) СП 345.1325800.2017 позволяют найти приведенное сопротивление теплопередаче и стоимость выбранной конструкции.

5.5.2 Пример оптимизации наружной стены с навесной фасадной системой

Рассматривается конструкция, в которой варьируется пять различных теплозащитных элементов: плоского (стена по глади), узла установки кронштейна, тарельчатого анкера для крепления утеплителя, выхода балконной плиты, оконного откоса. В целом конструкция содержит больше теплозащитных элементов, но ряд из них на рассматриваемом объекте не может быть изменен, а значит, не может принимать участия в оптимизации конструкции. На неизменяемые теплозащитные элементы приходятся дополнительные потери теплоты в количестве 0,04 Вт/(м$^{2o}$С). Принимается что плоский элемент один просто для упрощения примера, так как различие в основании стены уже является причиной для выделения нескольких плоских элементов.

Для каждого элемента проводится работа по подбору его возможных вариантов, сбору их характеристик и упорядочиванию, как это показано в 5.3, 5.4 настоящего документа. В данном примере эта работа будет проиллюстрирована только для одного плоского элемента. Из соображений краткости для остальных элементов эта работа будет пропущена.

*Плоский элемент*

Стена по глади имеет базовую стоимость (наиболее холодный вариант всех элементов конструкции) 3600 рублей/м$^2$.

Каждые дополнительные 10 мм МВП повышают стоимость конструкции на 80 рублей/м$^2$. Сюда входит как стоимость утеплителя, так и стоимость доставки до места монтажа, работа и косвенное изменение стоимости других элементов вследствие увеличения толщины утеплителя. Коэффициент теплопроводности МВП 0,042 Вт/(м °С). Сопротивление теплопередаче базового варианта (толщина МВП 0 мм) 0,6 м$^2$ °С/Вт, включая сопротивления теплообмену на поверхностях конструкции. Каждые 30 мм (начиная с 80 мм) возникают дополнительные затраты на смену кронштейнов и тарельчатых анкеров на более длинные, а значит и более дорогие. Эти дополнительные траты каждый раз составляют 100 рублей/м$^2$.

Первичные характеристики вариантов приведены в таблице 5.6. Толщина утеплителя изменяется с шагом 10 мм, в чисто методических целях. Стоимость варианта приводится, отсчитывая от базовой стоимости, т.е. только добавка.

Таблица 5.6 – Экономические и теплотехнические показатели стены по глади

| Толщина МВП, мм | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 400 | 480 | 560 | 740 | 820 | 900 | 1080 | 1160 | 1240 | 1420 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^2$°С) | 0,5585 | 0,4930 | 0,4412 | 0,3992 | 0,3646 | 0,3355 | 0,3107 | 0,2893 | 0,2706 | 0,2542 |

Таблица 5.6 – Экономические и теплотехнические показатели стены по глади (продолжение)

| Толщина МВП, мм | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 1500 | 1580 | 1760 | 1840 | 1920 | 2100 | 2180 | 2260 | 2440 | 2520 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^2$°С) | 0,2397 | 0,2268 | 0,2152 | 0,2047 | 0,1952 | 0,1865 | 0,1786 | 0,1713 | 0,1646 | 0,1584 |

Для рассматриваемого вида теплозащитного элемента очевидно невыгодных вариантов ожидать не приходится. Иная картина получается при переходе к удельным единовременным затратам на экономию 1 кВт·ч/год.

Таблица 5.7 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности стены по глади

| Толщина МВП, мм | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 400 | 480 | 560 | 740 | 820 | 900 | 1080 | 1160 | 1240 | 1420 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^{2o}$С) | 0,5585 | 0,4930 | 0,4412 | 0,3992 | 0,3646 | 0,3355 | 0,3107 | 0,2893 | 0,2706 | 0,2542 |
| $\Omega_{ст}$, руб./(кВт·ч/год) | | 51 | 64 | 179 | 96 | 115 | 302 | 156 | 178 | 457 |
| Класс | | 7 | 7 | 10 | 8 | 9 | 11 | 9 | 10 | 12 |

Таблица 5.7 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности стены по глади (продолжение)

| Толщина МВП, мм | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 1500 | 1580 | 1760 | 1840 | 1920 | 2100 | 2180 | 2260 | 2440 | 2520 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^{2o}$С) | 0,2397 | 0,2268 | 0,2152 | 0,2047 | 0,1952 | 0,1865 | 0,1786 | 0,1713 | 0,1646 | 0,1584 |
| $\Omega_{ст}$, руб./(кВт·ч/год) | 230 | 258 | 646 | 318 | 350 | 865 | 420 | 458 | 1117 | 537 |
| Класс | 10 | 11 | 13 | 11 | 11 | 14 | 12 | 12 | 14 | 12 |

Рост удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год вместе со стоимостью варианта нарушается для толщин 90 мм, 120 мм, 150 мм, 180 мм, 210 мм, 240 мм, это означает, что предшествующие им варианты невыгодны и должны быть удалены. После удаления лишних вариантов таблица 5.7 принимает следующий вид.

Таблица 5.8 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности стены по глади (поправленные)

| Толщина МВП, мм | 50 | 60 | 70 | 90 | 100 | 120 | 130 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 400 | 480 | 560 | 820 | 900 | 1160 | 1240 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^{2o}$С) | 0,5585 | 0,4930 | 0,4412 | 0,3646 | 0,3355 | 0,2893 | 0,2706 |
| $\Omega_{ст}$, руб./(кВт·ч/год) | | 51 | 64 | 141 | 115 | 234 | 178 |
| Класс | | 7 | 7 | 9 | 9 | 10 | 10 |

Таблица 5.8 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности стены по глади (поправленные) (продолжение)

| Толщина МВП, мм | 150 | 160 | 180 | 190 | 210 | 220 | 240 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 1500 | 1580 | 1840 | 1920 | 2180 | 2260 | 2520 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^{2o}$С) | 0,2397 | 0,2268 | 0,2047 | 0,1952 | 0,1786 | 0,1713 | 0,1584 |
| $\Omega_{ст}$, руб./(кВт·ч/год) | 351 | 258 | 490 | 351 | 653 | 457 | 840 |
| Класс | 11 | 11 | 12 | 11 | 13 | 12 | 13 |

Как видно из таблицы 5.8, после удаления невыгодных вариантов зависимость удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год от стоимости варианта стала намного более гладкой, но нарушения зависимости все равно остались. Значит, процедуру нужно повторить вновь, удалив выделяющиеся варианты. Результат приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности стены по глади (поправленные повторно)

| Толщина МВП, мм | 50 | 60 | 70 | 100 | 130 | 160 | 190 | 220 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м$^2$ | 400 | 480 | 560 | 900 | 1240 | 1580 | 1920 | 2260 |
| $U_{усл}$, Вт/(м$^{2o}$С) | 0,5585 | 0,493 | 0,4412 | 0,3355 | 0,2706 | 0,2268 | 0,1952 | 0,1713 |
| $\Omega_{ст}$, руб./(кВт·ч /год) | | 51 | 64 | 134 | 218 | 323 | 448 | 593 |
| Класс | | 7 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |

Из-за неравномерного повышения стоимости при увеличении толщины утеплителя оказалось, что не все варианты толщины утепления равно выгодны. В рассматриваемом примере влияние скачкообразного повышения стоимости каждые 30 мм столь велико, что эффективными оказались только толщины утеплителя, предшествующие скачку.

*Кронштейн*

Расчет удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год и упорядочивание вариантов для кронштейнов НФС проведен в п. 5.4.3 настоящего документа, результаты приведены в таблице 5.5.

На квадратный метр стены приходится 2,7 кронштейна.

*Тарельчатые анкеры*

Доступные варианты тарельчатых анкеров, после упорядочивания приведены в таблице 5.10

Таблица 5.10 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности для тарельчатых анкеров

| Вариант тарельчатого анкера | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/шт | 7 | 9 | 12 | 15 | 20 | 27 |
| $\chi_{ан}$, Вт/°С | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,0022 | 0,0015 | 0,0007 |
| $\Omega_{ан}$, руб./(кВт·ч /год) | | 83 | 125 | 156 | 298 | 365 |
| Класс | | 8 | 9 | 9 | 11 | 11 |

На квадратный метр стены приходится 9,5 тарельчатых анкеров.

*Выход балконной плиты*

Доступные варианты узлов приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности выходов балконных плит

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м | 500 | 700 | 950 | 1600 | 2400 |
| $\Psi_{бал}$, Вт/(м°С) | 0,65 | 0,45 | 0,28 | 0,18 | 0,1 |
| $\Omega_{бал}$, руб./(кВт·ч /год) | | 41,7 | 61,3 | 271 | 417 |
| Класс | | 7 | 7 | 11 | 12 |

На квадратный метр стены приходится 0,12 погонных метра выхода балконной плиты.

*Оконный откос*

Доступные варианты оконного откоса приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности узла примыкания оконного блока к стене

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, руб/м | 100 | 150 | 240 | 390 | 570 | 690 |
| $\Psi_{отк}$, Вт/(м°С) | 0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,017 |
| $\Omega_{отк}$, руб./(кВт·ч /год) | | 41,7 | 75 | 156 | 250 | 385 |
| Класс | | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |

На квадратный метр стены приходится 0,8 погонных метра оконного откоса.

Полученные данные позволяют, как найти оптимальную конструкцию стены при наличии данных по климату и экономической ситуации района строительства, так и построить ряд оптимальных конструкций для разных классов теплозащитной эффективности. В настоящем примере строится ряд оптимальных конструкций для классов теплозащитной эффективности 7, 9, 10, 11, 12. Для каждого члена ряда перечисляются элементы составляющие конструкцию, рассчитывается приведенное сопротивление теплопередаче и стоимость квадратного метра.

*Класс 7*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 7

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 60 мм | $U_{усл}$=0,493 Вт/(м$^{2}$°С) | 480 | 51 |
| Кронштейн | 2 | $\chi_{кр}$=0,07 Вт/°С | 120 | 41,7 |
| Тарельчатый анкер | 1 | $\chi_{ан}$=0,005 Вт/°С | 7 | - |
| Балконная плита | 2 | $\Psi_{бал}$=0,45 Вт/(м°С) | 700 | 41,7 |
| Оконный откос | 2 | $\Psi_{отк}$=0,15 Вт/(м°С) | 150 | 41,7 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}493 + 2{,}7 \cdot 0{,}07 + 9{,}5 \cdot 0{,}005 + 0{,}12 \cdot 0{,}45 + 0{,}8 \cdot 0{,}15 + 0{,}04} = 1{,}06 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 480 + 2{,}7 \cdot 120 + 9{,}5 \cdot 7 + 0{,}12 \cdot 700 + 0{,}8 \cdot 150 = 4675 \text{ руб./м}^2.$$

Практически эта конструкция может быть названа гармонично утепленной, хотя теплозащитный класс тарельчатого анкера для этого необходимо уточнить.

*Класс 9*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 9

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 100 мм | $U_{усл}$=0,336 Вт/(м$^{2}$°С) | 900 | 134 |
| Кронштейн | 3 | $\chi_{кр}$=0,055 Вт/°С | 170 | 139 |
| Тарельчатый анкер | 3 | $\chi_{ан}$=0,003 Вт/°С | 12 | 125 |
| Балконная плита | 3 | $\Psi_{бал}$=0,28 Вт/(м°С) | 950 | 61,3 |
| Оконный откос | 4 | $\Psi_{отк}$=0,06 Вт/(м°С) | 390 | 156 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}336 + 2{,}7 \cdot 0{,}055 + 9{,}5 \cdot 0{,}003 + 0{,}12 \cdot 0{,}28 + 0{,}8 \cdot 0{,}06 + 0{,}04} = 1{,}58 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 900 + 2,7 \cdot 170 + 9,5 \cdot 12 + 0,12 \cdot 950 + 0,8 \cdot 390 = 5499 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 10*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.15.

Таблица 5.15 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 10

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 130 мм | $U_{усл}$=0,271 Вт/(м$^2$°С) | 1240 | 218 |
| Кронштейн | 5 | $\chi_{кр}$=0,035 Вт/°С | 250 | 167 |
| Тарельчатый анкер | 4 | $\chi_{ан}$=0,0022 Вт/°С | 15 | 156 |
| Балконная плита | 4 | $\Psi_{бал}$=0,18 Вт/(м°С) | 1600 | 271 |
| Оконный откос | 5 | $\Psi_{отк}$=0,03 Вт/(м°С) | 570 | 250 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0,271 + 2,7 \cdot 0,035 + 9,5 \cdot 0,0022 + 0,12 \cdot 0,18 + 0,8 \cdot 0,03 + 0,04} = 2,12 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 1240 + 2,7 \cdot 250 + 9,5 \cdot 15 + 0,12 \cdot 1600 + 0,8 \cdot 570 = 6306 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 11*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.16.

Таблица 5.16 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 11

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 160 мм | $U_{усл}$=0,227 Вт/(м$^2$°С) | 1580 | 323 |
| Кронштейн | 7 | $\chi_{кр}$=0,015 Вт/°С | 340 | 188 |
| Тарельчатый анкер | 5 | $\chi_{ан}$=0,0015 Вт/°С | 20 | 298 |
| Балконная плита | 4 | $\Psi_{бал}$=0,18 Вт/(м°С) | 1600 | 271 |
| Оконный откос | 5 | $\Psi_{отк}$=0,03 Вт/(м°С) | 570 | 250 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0,227 + 2,7 \cdot 0,015 + 9,5 \cdot 0,0015 + 0,12 \cdot 0,18 + 0,8 \cdot 0,03 + 0,04} = 2,72 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 1580 + 2{,}7 \cdot 340 + 9{,}5 \cdot 20 + 0{,}12 \cdot 1600 + 0{,}8 \cdot 570 = 6936 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 12*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.17.

Таблица 5.17 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 12

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 190 мм | $U_{усл}$=0,195 Вт/(м$^{2o}$С) | 1920 | 448 |
| Кронштейн | 8 | $\chi_{кр}$=0,007 Вт/°С | 440 | 521 |
| Тарельчатый анкер | 6 | $\chi_{ан}$=0,0007 Вт/°С | 27 | 365 |
| Балконная плита | 5 | $\Psi_{бал}$=0,1 Вт/(м°С) | 2400 | 417 |
| Оконный откос | 6 | $\Psi_{отк}$=0,017 Вт/(м°С) | 690 | 385 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}195 + 2{,}7 \cdot 0{,}007 + 9{,}5 \cdot 0{,}0007 + 0{,}12 \cdot 0{,}1 + 0{,}8 \cdot 0{,}017 + 0{,}04} = 3{,}49 \text{ м}^2\,^{o}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 1920 + 2{,}7 \cdot 440 + 9{,}5 \cdot 27 + 0{,}12 \cdot 2400 + 0{,}8 \cdot 690 = 7805 \text{ руб./м}^2.$$

5.5.3 Выше описан процесс оптимизации ограждающей конструкции, когда уже сделан выбор, какого она вида, и выбранную конструкцию можно разделить на теплозащитные элементы. Описанная методика не годится для выбора вида ограждающей конструкции или сравнения ограждающих конструкций отличающихся составом теплозащитных элементов. Для этого случая в СП 345.1325800.2017 предусмотрена отдельная методика – п. 5.10.2 «Сравнение по эффективности энергосбережения конструкций с различной базовой комплектацией». Основу этой методики составляют удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции, П, руб./(м$^2$·год).

$$П = \frac{К_{кон}^{ед}}{Z_{ок}} + 0{,}024 \frac{ГСОП}{R_o^{пр}} \left( С_{тепл} + \frac{С_{от}}{Z_{ок}} \right), \qquad (5.6)$$

где $К_{кон}^{ед}$ – полные единовременные затраты на производство 1 м$^2$ конструкции, руб./м$^2$, которые рассчитываются по формуле

$$К_{кон}^{ед} = К_0^{ед} + \sum a_i К_i^{ед} + \sum l_j К_j^{ед} + \sum n_k К_k^{ед}, \quad (5.7)$$

где $a_i$, $l_j$ и $n_k$ – те же, что и в расшифровке к формуле (Е1) приложения Е СП 50.13330.2012;

$К_0^{ед}$ – базовая стоимость 1 м$^2$ конструкции (наиболее холодный вариант всех элементов конструкции), руб./м$^2$.

В принципе, формулой (5.6) можно пользоваться для сравнения любых двух ограждающих конструкций являющихся альтернативой друг другу, например, различных видов окон или кровель. В расширенном смысле формулой (5.6) можно пользоваться для сравнения не только ограждающих конструкций, но и почти любых энергосберегающих мероприятий и даже здания в целом. Но одно лишь сравнение не позволяет оптимизировать ни ограждающую конструкцию, ни здание в целом. Поэтому, в целях оптимизации оболочки здания, формулу (5.6) следует использовать только для сравнения оптимизированных под один класс теплозащитной эффективности ограждающих конструкций разного вида, служащих альтернативой друг другу. Для этого для выбранных и оптимизированных ограждающих конструкций нужно рассчитать удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию по формуле (5.6), и та конструкция для которой они меньше окажется выгодней и эффективней в заданных условиях. При проведении этой процедуры также надо учитывать, что некоторые дополнительные факторы, кроме тепловой защиты могут оказаться важны для рассмотрения. Если это так, то конструкции либо не могут сравниваться изложенной в данном документе методикой, либо дополнительные факторы должны быть монетизированы.

5.5.4 Пример сравнения ограждающих конструкций с разным составом теплозащитных элементов

Для примера сравниваются уже рассмотренная выше стена с НФС и стена – кладка из ячеистого бетона с наружной облицовкой в полкирпича.

Варианты стены с НФС подробно описаны и оптимизированы в.п. 5.5.2. Сравнение ограждающих конструкций также проводится для классов теплозащит-

ной эффективности 7, 9, 10, 11, 12. Для этого ниже описаны уже оптимизированные варианты стен из ячеистого бетона с наружной облицовкой в полкирпича для каждого класса. Промежуточные шаги подбора отдельны теплозащитных элементов и оптимизации конструкции в целом аналогичны п.п. 5.5.2 и пропущены для краткости.

Рассматриваемый вид стены состоит из четырех видов элементов: плоского (стена по глади), кладочных швов, выхода плиты перекрытия (балконные плиты сюда включены), оконного откоса.

*Класс 7*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.18.

Таблица 5.18 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 7

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 200 мм | $U_{усл}$=0,562 Вт/(м$^2$°С) | 1320 | 97 |
| Кладочный шов | 2 | $\Psi_{ш}$=0,035 Вт/(м°С) | 70 | 55,6 |
| Плита перекрытия | 3 | $\Psi_{пер}$=0,25 Вт/(м°С) | 700 | 55,6 |
| Оконный откос | 2 | $\Psi_{отк}$=0,14 Вт/(м°С) | 150 | 52,1 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}562 + 3{,}2 \cdot 0{,}035 + 0{,}4 \cdot 0{,}25 + 0{,}8 \cdot 0{,}14 + 0{,}02} = 1{,}1 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 1320 + 3{,}2 \cdot 70 + 0{,}4 \cdot 700 + 0{,}8 \cdot 150 = 3844 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 9*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.19.

Таблица 5.19 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 9

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 250 мм | $U_{усл}$=0,468 Вт/(м$^2$°С) | 1650 | 146 |
| Кладочный шов | 4 | $\Psi_{ш}$=0,02 Вт/(м°С) | 110 | 125 |
| Плита перекрытия | 4 | $\Psi_{пер}$=0,15 Вт/(м°С) | 1100 | 167 |
| Оконный откос | 4 | $\Psi_{отк}$=0,065 Вт/(м°С) | 390 | 179 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}468 + 3{,}2 \cdot 0{,}02 + 0{,}4 \cdot 0{,}15 + 0{,}8 \cdot 0{,}065 + 0{,}02} = 1{,}51 \text{ м}^2 \text{°С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 1650 + 3{,}2 \cdot 110 + 0{,}4 \cdot 1100 + 0{,}8 \cdot 390 = 4654 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 10*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.20.

Таблица 5.20 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 10

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 300 мм | $U_{усл}$=0,401 Вт/(м$^2$°С) | 1980 | 206 |
| Кладочный шов | 5 | $\Psi_{ш}$=0,013 Вт/(м°С) | 150 | 238 |
| Плита перекрытия | 4 | $\Psi_{пер}$=0,15 Вт/(м°С) | 1100 | 167 |
| Оконный откос | 4 | $\Psi_{отк}$=0,065 Вт/(м°С) | 390 | 179 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}401 + 3{,}2 \cdot 0{,}013 + 0{,}4 \cdot 0{,}15 + 0{,}8 \cdot 0{,}065 + 0{,}02} = 1{,}74 \text{ м}^2 \text{°С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 1980 + 3{,}2 \cdot 150 + 0{,}4 \cdot 1100 + 0{,}8 \cdot 390 = 5112 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 11*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.21.

Таблица 5.21 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 11

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 400 мм | $U_{усл}$=0,312 Вт/(м$^2$°С) | 2640 | 353 |
| Кладочный шов | 6 | $\Psi_{ш}$=0,008 Вт/(м°С) | 190 | 333 |
| Плита перекрытия | 5 | $\Psi_{пер}$=0,09 Вт/(м°С) | 1800 | 486 |
| Оконный откос | 5 | $\Psi_{отк}$=0,04 Вт/(м°С) | 570 | 300 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}312 + 3{,}2 \cdot 0{,}008 + 0{,}4 \cdot 0{,}09 + 0{,}8 \cdot 0{,}04 + 0{,}02} = 2{,}35 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 2640 + 3{,}2 \cdot 190 + 0{,}4 \cdot 1800 + 0{,}8 \cdot 570 = 6324 \text{ руб./м}^2.$$

*Класс 12*

Конструкция стены сведена в таблицу 5.22.

Таблица 5.22 – Конструкция стены и характеристики теплозащитных элементов для класса теплозащитной эффективности 12

| Элемент | Вариант элемента | Теплозащитная характеристика | Стоимость, руб | $\Omega_{эл}$, руб./(кВт·ч /год) |
|---|---|---|---|---|
| Стена по глади | 450 мм | $U_{усл}$=0,281 Вт/(м$^2$°С) | 2970 | 444 |
| Кладочный шов | 6 | $\Psi_{ш}$=0,008 Вт/(м°С) | 190 | 333 |
| Плита перекрытия | 5 | $\Psi_{пер}$=0,09 Вт/(м°С) | 1800 | 486 |
| Оконный откос | 5 | $\Psi_{отк}$=0,04 Вт/(м°С) | 570 | 300 |

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}281 + 3{,}2 \cdot 0{,}008 + 0{,}4 \cdot 0{,}09 + 0{,}8 \cdot 0{,}04 + 0{,}02} = 2{,}53 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 2970 + 3{,}2 \cdot 190 + 0{,}4 \cdot 1800 + 0{,}8 \cdot 570 = 6654 \text{ руб./м}^2.$$

Для продолжения сравнения ограждающих конструкций необходимо задаться климатическими и экономическими условиями. Для удобства примера сделаем это в обобщенном виде. Формулу (5.6) можно преобразовать

$$П = \frac{К_{кон}^{ед}}{Z_{ок}} + 0{,}024\frac{ГСОП}{R_o^{пр}}\left(С_{тепл} + \frac{С_{от}}{Z_{ок}}\right) = \frac{К_{кон}^{ед}}{Z_{ок}} + \frac{\Omega_{пр}}{R_o^{пр}}, \qquad (5.8)$$

Так как это отвлеченный пример, для каждого класса теплозащитной эффективности удельная прибыль от экономии энергетической единицы принимается равной средней из определения класса по таблице 5.1. Продолжительность отопительного периода принимается равной 140 суток для 7 класса теплозащитной эффективности, 180 суток – для 9 класса, 200 суток – для 10 класса, 210 суток – для 11 класса и 220 суток – для 12 класса. Конечно это допущение весьма условно и для одного и того же отопительного периода могут требоваться различные классы теплозащитной эффективности в зависимости от экономической ситуации.

По приведенным данным и формуле (5.8) можно рассчитать удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции. Например, для класса теплозащитной эффективности 7 они составляют

для стены с НФС

$$П_{НФС7} = \frac{4675}{140} + \frac{52{,}5}{1{,}06} = 33{,}4 + 49{,}5 = 82{,}9 \text{ руб./(м}^2\text{·год)},$$

для стены из ячеистого бетона

$$П_{яч7} = \frac{3844}{140} + \frac{52{,}5}{1{,}1} = 27{,}5 + 47{,}7 = 75{,}2 \text{ руб./(м}^2\text{·год)}.$$

В описанных условиях выгодней и эффективней оказывается использование кладки из ячеистого бетона. Собственно, это и так видно без применения формулы (5.6), так как у стены из ячеистого бетона при меньшей стоимости больше приведенное сопротивление теплопередаче.

Для удобства сравнения теплотехнические и экономические характеристики обоих видов стены сведены в одну таблицу (таблица 5.23), упорядоченную по классам теплозащитной эффективности.

Таблица 5.23 – Сравнение теплотехнических и экономических характеристик стены с НФС и стены из ячеистого бетона для различных классов теплозащитной эффективности

| | НФС | | | Кладка из ячеистого бетона | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ | П, руб./(м$^2$·год) | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ | П, руб./(м$^2$·год) |
| 7 | 1,06 | 4675 | 82,9 | 1,1 | 3844 | **75,2** |
| 9 | 1,58 | 5499 | 113 | 1,51 | 4654 | **89** |
| 10 | 2,12 | 6306 | 128 | 1,74 | 5112 | 143 |
| 11 | 2,72 | 6936 | 149 | 2,35 | 6324 | 164 |
| 12 | 3,49 | 7805 | 172 | 2,53 | 6654 | 218 |

Из таблицы 5.23 видно удобство сравнения ограждающих конструкций по предложенной методике.

При достаточно теплом климате преимущество получают более простые, но более дешевые конструкции. С ужесточением климатических и экономических условий постепенно более эффективными становятся более сложные и дорогие, но позволяющие достигать больших приведенных сопротивления теплопередаче конструкции.

Конкретная ситуация показанная в примере не может служить для каких либо выводов. При других соотношениях теплозащитных характеристик и стоимостей элементов ограждающих конструкций могут получиться совсем иные, в том числе и качественно, результаты.

5.6 Пример оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий

Когда все ограждающие конструкции, составляющие теплозащитную оболочку здания, описаны и оптимизированы, можно проводить оптимизацию самой теплозащитной оболочки здания. В строгом смысле оптимизировать можно только оболочку здания, состоящую из гармонично утепленных ограждающих конструкций, которым присвоен класс теплозащитной эффективности.

Для примера рассматривается оболочка здания, состоящая из шести видов ограждающих конструкций: двух видов стен, двух видов окон, совмещенного кровельного покрытия и пола первого этажа над неотапливаемым подпольем. Конечно,

в оболочку входят еще несколько ограждающих конструкций, но ввиду их незначительной площади и влияния на общие потери теплоты они в примере пропущены.

Процесс оптимизации каждой ограждающей конструкции здесь пропускается, так как он подробно описывался в предыдущих разделах. Для каждой ограждающей конструкции приводится только сводная таблица приведенного сопротивления теплопередаче и стоимости.

Таблица 5.24 –Теплотехнические и экономические характеристики стены 1 для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 1,06 | 4675 |
| 9 | 1,58 | 5499 |
| 10 | 2,12 | 6306 |
| 11 | 2,72 | 6936 |
| 12 | 3,49 | 7805 |

Таблица 5.25 –Теплотехнические и экономические характеристики стены 2 для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 1,1 | 3844 |
| 9 | 1,51 | 4654 |
| 10 | 1,74 | 5112 |
| 11 | 2,35 | 6324 |
| 12 | 2,53 | 6654 |

Таблица 5.26 –Теплотехнические и экономические характеристики окна 1 для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 0,47 | 1850 |
| 9 | 0,59 | 3250 |
| 10 | 0,68 | 3940 |
| 11 | 0,77 | 4670 |
| 12 | 0,84 | 5560 |

Таблица 5.27 –Теплотехнические и экономические характеристики окна 2 для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 0,46 | 1950 |
| 9 | 0,58 | 3380 |
| 10 | 0,66 | 4140 |
| 11 | 0,75 | 4820 |
| 12 | 0,81 | 5750 |

Таблица 5.28 –Теплотехнические и экономические характеристики совмещенного кровельного покрытия для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 1,9 | 4980 |
| 9 | 2,75 | 5850 |
| 10 | 3,26 | 6675 |
| 11 | 3,78 | 7430 |
| 12 | 4,23 | 8210 |

Таблица 5.29 –Теплотехнические и экономические характеристики пола первого этажа над неотапливаемым подпольем для различных классов теплозащитной эффективности

| Класс | $R_o^{пр}$, м$^2$ °С/Вт | К$^{ед}$, руб./м$^2$ |
|---|---|---|
| 7 | 1,8 | 2850 |
| 9 | 2,6 | 3720 |
| 10 | 3,15 | 4560 |
| 11 | 3,66 | 5300 |
| 12 | 4,24 | 6140 |

Выбирая из таблиц 5.24 – 5.29 ограждающие конструкции одного класса, можно сформировать гармонично утепленные теплозащитные оболочки соответствующего класса теплозащитной эффективности.

## 6 Методика выбора иных энергосберегающих решений

В настоящем разделе рассматриваются любые энергосберегающие решения (или мероприятия), дающие измеряемый энергетический эффект, кроме изменений теплозащитной оболочки здания, оптимизация которой разобрана в предыдущем разделе. Разнообразие таких энергосберегающих решений очень велико, поэтому в разделе перечислены не все возможности.

### 6.1 Описание методики

Методика оптимизации энергосберегающих решений в целом аналогична методике оптимизации ограждающих конструкций и теплозащитной оболочки. Можно выделить два случая: энергосберегающее решение не может быть разделено и частично изменено в процессе строительства и эксплуатации или энергосберегающее решение состоит из нескольких частей, которые могут быть изменены независимо друг от друга.

Когда энергосберегающее решение неделимо, например, это солнцезащитное покрытие, жалюзи и т.д., для него вводятся удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год аналогично теплозащитному элементу, но с поправочным коэффициентом описанным ниже.

Если энергосберегающее решение делимо и можно независимо изменять его части, влияя на потребление энергии зданием, то для него сначала вводятся удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год для каждой части, а затем проводится оптимизация этого решения аналогично оптимизации ограждающей конструкции, также с поправочным коэффициентом описанным ниже.

Процедура оптимизации делимого энергосберегающего решения проводится в следующей последовательности:

1. Необходимо выделить все части энергосберегающего решения, оказывающие влияние на потери энергии и имеющие несколько вариантов своего решения.
2. Для каждой части записываются все варианты ее решения. Для каждого варианта находится стоимость и энергетический эффект. Если затруднительно напрямую найти стоимость и энергетический эффект варианта, то допустимо использовать разницу, отличие, от какого-то базового варианта.

3. Все возможные варианты части энергосберегающего решения выстраиваются в ряд, упорядоченный по теплозащитной характеристике. Из всех возможных вариантов элемента оставляют только экономически целесообразные, то есть те у которых с возрастанием стоимости снижаются потери теплоты.
4. Для каждого варианта части энергосберегающего решения, рассчитываются удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы (по формуле (6.1)).
5. По значениям удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы и по таблице 5.1 каждому варианту части энергосберегающего решения присваивается класс теплозащитной эффективности.

После того как действия, описанные в п. 2–5, проведены для всех частей энергосберегающего решения, проводится его оптимизация.

6. Определяется удельная прибыль от экономии энергетической единицы и требуемый класс теплозащитной эффективности здания.

Для всех частей энергосберегающего решения выбираются варианты требуемого класса. Если вариантов требуемого класса не существует, или, наоборот, существует несколько, то выбирается вариант с $\Omega_{реш}$, ближайшей к $\Omega_{пр}$.

6.2 Удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы для различных энергосберегающих мероприятий

6.2.1 При проведении оптимизации делимых энергосберегающих решений или при выборе энергосберегающего решения оптимального для данного здания удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год требуется сравнивать с удельной прибылью от экономии энергетической единицы. Вообще говоря, для разных энергосберегающих решений эти понятия могут быть определены по-разному. Для работоспособности общей методики эти понятия перерабатываются так, что удельная прибыль от экономии энергетической единицы для всех мероприятий, включая утепление теплозащитной оболочки одинаковая, единая удельная прибыль от экономии энергетической единицы на объект. При этом все различия переносятся в удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год. Для поддержания единообразия удельные единовременные затраты различных мероприятий прихо-

дится пересчитывать, подгоняя их к удельным единовременным затратам теплозащитных элементов ограждающей конструкции.

В общем случае удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год энергосберегающего решения [руб/(кВт·ч/год)] рассчитываются по формуле

$$\Omega_{\text{реш}} = \frac{\Delta K^{\text{ед}}}{\Delta Q_{12}} m_{\text{кл}} \frac{C_{\text{тепл}} \cdot Z_{ок} + C_{\text{от}}}{C_{\text{эн}} \cdot Z'_{ок} + \frac{\Delta K^{\text{ед}}_{\text{от}}}{\Delta Q_{12}}}; \qquad (6.1)$$

где $C_{\text{эн}}$ – тарифная цена энергии экономящейся от применения энергосберегающего решения (тепловой, электрической или иной), руб./кВт·ч;

$\Delta K^{\text{ед}}_{\text{от}}$ – разница полных единовременных затрат на реализацию вариантов 2 и 1 энергосберегающего решения, руб., варианты должны быть соседними в упорядоченном ряду вариантов, причем вариант 1 дешевле.

$\Delta Q_{12}$ – полная экономия энергии от применения энергосберегающего решения (разница между вариантом 1 и вариантом 2), кВт·ч/год;

$m_{\text{кл}}$ – климатический коэффициент района строительства, определяемый по формуле (5.2);

$Z'_{\text{ок}}$ – срок окупаемости энергосберегающего решения, определяемый как половина срока службы до замены или ремонта, но не более 12 лет.

Если формулу (6.1) применить к теплозащитному элементу ограждающей конструкции, то получатся формулы (5.3) – (5.5). Также эту формулу можно применять при различающихся сроках окупаемости отдельных элементов ограждающей конструкции, чтобы привести их к единым условиям.

Применение формулы (6.1) к реальным энергосберегающим решениям содержит ряд трудностей, поэтому ниже показаны некоторые примеры, позволяющие понять, как их разрешать.

6.2.2 Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год для инженерных решений системы отопления.

Рассматриваемый случай является простейшим, так как продолжительность действия, вид энергии и еще ряд моментов для данного энергосберегающего решения совпадают с таковыми для ограждающих конструкций. Если срок окупаемости у инженерного решения стандартный, то формула (6.1) упрощается

$$\Omega_{\text{реш}} = \frac{\Delta K^{\text{ед}}}{\Delta Q_{12}} m_{\text{кл}} . \qquad (6.2)$$

Для нахождения удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год инженерных решений системы отопления требуется только определить размер экономии энергии от применения энергосберегающего решения. Если он известен, то расчет по формуле (6.2) не представляет трудностей.

Упорядоченный ряд вариантов составляется по методике описанной в разделе 5.3.

6.2.3 Пример расчета удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год для инженерного решения

Предположим, имеется пять вариантов инженерных решений в системе отопления здания, влияющие на его энергопотребление и различающиеся ценой.

В таблице 6.1 приведены количественные показатели стоимости и экономии энергии для каждого решения.

Таблица 6.1 – Варианты инженерных решений доступные на рассматриваемом объекте

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, тыс. руб. | 480 | 590 | 660 | 740 | 920 |
| Q, тыс. кВт·ч/год | 0 | 6 | 8 | 7 | 13 |

Первый вариант принят за базовый и экономия энергии отсчитывается от него, поэтому для него экономия энергии равна 0.

Четвертый вариант очевидно невыгодный и его следует удалить из таблицы. Для оставшихся вариантов проводятся расчеты по формуле (6.2) и присваиваются классы теплозащитной эффективности. В рассматриваемом примере $m_{\text{кл}}$=5,67. Результаты расчетов сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности инженерного решения

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Стоимость, тыс. руб. | 480 | 590 | 660 | 920 |
| Q, тыс. кВт·ч/год | 0 | 6 | 8 | 13 |
| $\Omega_{реш}$, руб./(кВт·ч /год) | - | 104 | 198 | 295 |
| Класс | - | 9 | 10 | 11 |

Теперь в зависимости от удельной прибыли от экономии энергетической единицы можно подобрать не только оптимальную теплозащитную оболочку здания, но и наиболее подходящие инженерные решения.

6.2.4 Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год для солнцезащитных устройств

Предположим, перед проектировщиком стоит выбор, какой вариант солнцезащиты применить, специальные стекла, пленки на стекла, жалюзи и т.д. Основной энергетический эффект от солнцезащиты экономия на установках охлаждения в теплый период года. В связи с этим упростить формулу (6.1) в этом случае не получится.

Вместо стоимости отопительного оборудования и подключения к тепловой сети будет выступать стоимость охладительного оборудования и стоимость подключения к электрической сети. Вместо тарифной цены тепловой энергии - тарифная цена электрической энергии.

Экономия энергии от применения энергосберегающего решения – солнечная энергия, попадающая в помещения здания при применении различных вариантов солнцезащиты.

6.2.5 Пример расчета удельных единовременных затрат на экономию 1 кВт·ч/год для солнцезащитных устройств.

Предположим, имеется пять вариантов солнцезащиты.

В таблице 6.3 приведены количественные показатели стоимости и экономии энергии для каждого варианта.

Таблица 6.3 – Варианты солнцезащиты, доступные на рассматриваемом объекте

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, тыс. руб. | 0 | 177 | 286 | 420 | 620 |
| Поступление солнечной энергии Q, тыс. кВт·ч/год | 21 | 17 | 13 | 10 | 8 |

Первый вариант – это отсутствие солнцезащиты.

В рассматриваемом примере $m_{кл} = 4{,}75$.

Удельная цена отопительного оборудования и подключения к тепловой сети $C_{от}$=19 руб./(кВт·ч/год).

Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания составляет 1,55 руб./кВт·ч.

Удельная цена охладительного оборудования и подключения к электрической сети $C_{охл} = 42$ руб./(кВт·ч/год).

Тарифная цена электрической энергии для проектируемого здания составляет 4,68 руб./кВт·ч.

Срок окупаемости для всех решений 12 лет.

Заранее рассчитывается коэффициент, повторяющийся во всех расчетах:

$$m_{кл}\frac{C_{тепл}\cdot Z_{ок}+C_{от}}{C_{эн}\cdot Z'_{ок}+\frac{\Delta K^{ед}_{от}}{\Delta Q_{12}}}=4{,}75\frac{1{,}55\cdot 12+19}{4{,}68\cdot 12+42}=1{,}82.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности вариантов солнцезащиты

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Стоимость, тыс. руб. | 0 | 177 | 286 | 420 | 620 |
| Поступление солнечной энергии Q, тыс. кВт·ч/год | 21 | 17 | 13 | 10 | 8 |
| $\Omega_{реш}$, руб./(кВт·ч /год) | - | 80,5 | 49,6 | 81,3 | 182 |
| Класс | - | 8 | 7 | 8 | 10 |

Второй вариант не удовлетворяет требованиям упорядочивания, он невыгоден и должен быть удален, а таблица 6.4 пересчитана.

Таблица 6.5 – Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт·ч/год и класс теплозащитной эффективности вариантов солнцезащиты после удаления невыгодного варианта

| Вариант | 1 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Стоимость, тыс. руб. | 0 | 286 | 420 | 620 |
| Поступление солнечной энергии Q, тыс. кВт·ч/год | 21 | 13 | 10 | 8 |
| $\Omega_{реш}$, руб./(кВт·ч /год) | - | 65,1 | 81,3 | 182 |
| Класс | - | 8 | 8 | 10 |

6.2.6 Некоторые энергосберегающие решения могут быть применены только совместно с другими энергосберегающими решениями. Если есть несколько таких связанных групп энергосберегающих решений, являющихся взаимоисключающими друг к другу, то их эффективность можно сравнить с помощью приведенных затрат на строительство и эксплуатацию энергосберегающих решений, руб./год, рассчитываемых по формуле

$$П_{реш} = \frac{К_{реш}^{ед}}{Z'_{ок}} + Q_{общ}\left(С_{эн} + \frac{\Delta К_{от}^{ед}}{Z'_{ок}\Delta Q_{12}}\right), \quad (6.3)$$

где $К_{реш}^{ед}$ – полные единовременные затраты на производство энергосберегающих решений, руб.;

$Q_{общ}$ – общие затраты энергии зданием, кВт·ч/год (в случае возможности разделения допускается учитывать только затраты энергии изменяющиеся от применения сравниваемых энергосберегающих решений.

Формула (6.3) применяется после того, как энергосберегающие решения пройдут оптимизацию.

Выгоднее та группа энергосберегающих решений, для которой приведенных затрат на строительство и эксплуатацию меньше.

Формулы (5.6) и (6.3) могут быть применены совместно для анализа всех энергетических потерь здания в целом. Для этого нужно перейти от удельных приведенных затрат на строительство и эксплуатацию конструкции к приведенным затратам на строительство и эксплуатацию теплозащитной оболочки здания, руб./год.

$$П_{об} = \sum S_i П_i , \quad (6.4)$$

где $S_i$, $П_i$ – площадь и удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию $i$-ой ограждающей конструкции.

Таким образом, можно сравнить здания с учетом разницы в источнике тепло и энергоснабжения или разницы в архитектуре. Для этого сначала каждый вариант здания для своей архитектуры или источника теплоснабжения оптимизируется по описанной выше методике, а затем проводится их общее сравнение по приведенным затратам на строительство и эксплуатацию.

6.3 Выбор оптимального источника энергии

6.3.1 Как видно из предыдущих разделов, источник теплоснабжения полностью определяет оптимальный облик здания, через удельную прибыль от экономии энергетической единицы влияя на выбор, как оболочки здания, так и энергосберегающих решений. Более дорогой по совокупности источник энергоснабжения потребует и более дорогую, энергосберегающую оболочку здания. И наоборот более дешевый по совокупности источник энергоснабжения позволит применить более дешевую менее энергосберегающую оболочку здания без существенных потерь. То же рассуждение относится и к энергосберегающим решениям. Таким образом, выбор источника теплоснабжения (там, где это возможно) является первейшим шагом к повышению энергетической эффективности здания в целом.

Для грамотного выбора источника энергоснабжения нужна характеристика, позволяющая объективно сравнивать источники между собой. И такая характеристика уже введена – это удельная прибыль от экономии энергетической единицы, определяемая по формуле (5.1).

*Оптимальным является источник энергоснабжения с наименьшей удельной прибылью от экономии энергетической единицы.*

Причем для такого сравнения срок окупаемости, $Z_{ок}$, должен быть зафиксирован и равен 12 годам, если только само энергетическое оборудование не требует более частой замены, чем два срока окупаемости.

В ряде случаев источник теплоснабжения может приводить к дополнительным затратам электрической энергии. Например, на работу насосов и иного оборудования. Эти затраты должны быть учтены за счет введения поправки к цене тепловой энергии.

$$C_{\text{тепл}} = C_{\text{тепл0}} + n_{\text{с}} C_{\text{эл}}, \tag{6.5}$$

где $n_{\text{с}}$ – коэффициент сопутствующих трет электроэнергии, кВт·ч/кВт·ч, показывающий, сколько кВт·ч электроэнергии необходимо потратить на доставку 1 кВт·ч тепловой энергии.

УДК 699.8 ОКС 91.120.01, 91.120.10, 91.120.99

Ключевые слова: энергоэффективность, приведенное сопротивление теплопередаче, удельные потери теплоты, тепловая защита, удельные приведенные затраты

gost.e-ecolog.ru