

Министерство образования Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение
и возобновляемые источники энергии»

Методические указания по курсовому проектированию
по дисциплине

«Энергоэффективность в ЖКХ»

для специальности
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»

Электронное учебное издание

Минск
БНТУ
2025

УДК 697 (075)
ББК 38.762.1я7

С о с т а в и т е л и :

И.В. Янцевич, С.В. Климович

Р е ц е н з е н т ы :

главный специалист управления торфяной промышленности
государственного объединения по топливу и газификации «Белтопгаз»

Д.Б. Джелилов

заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции»

Белорусского национального технического университета,

д-р техн. наук, профессор *Н.Б. Карницкий*

Рекомендована к изданию:

Кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета (протокол № 4 от 06.10.2025 г.)

Методической комиссией факультета технологий управления и гуманитаризации Белорусского национального технического университета (протокол № 1 от 16.10.2025 г.)

Методические указания подготовлены в целях оказания помощи студентам специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» при выполнении курсовой работы на тему «Энергосберегающие мероприятия при тепловой модернизации жилого дома».

Приводятся основные методики, расчетные формулы, а также общие сведения, необходимые студентам в ходе курсового проектирования. Содержатся требования и рекомендации актуальных технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Полученные в ходе курсового проектирования знания и навыки используются при дипломном проектировании.

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Содержание и оформление работы	4
1 ТЕПЛОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗДАНИЯ	6
1.1 Объемно-планировочные характеристики здания	6
1.2 Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха	8
1.3 Требуемые значения сопротивления теплопередаче	9
1.4 Системы утепления зданий и требования к ним	10
1.5 Требуемая толщина теплоизоляции наружных стен	11
1.6 Требуемая толщина теплоизоляции покрытий и перекрытий	13
1.7 Доведение термического сопротивления заполнений наружных световых проемов до нормативных требований	14
1.8 Тепловой баланс здания	14
1.9 Экономия топлива от выполнения термомодернизации ограждающих конструкций здания	20
1.10 Экономия топлива от внедрения энергосберегающих стеклопакетов	21
1.11 Тепловые нагрузки горячего водоснабжения	23
1.12 Реконструкция теплового пункта	25
1.13 Экономия топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии	26
1.14 Класс энергетической эффективности здания	27
2 РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА ВНУТРИКВАРТАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ	28
2.1 Диаметры тепловой сети расчетных вариантов	29
2.2 Тепловые потери существующей тепловой сети	29
2.3 Реконструкция участка тепловой сети	30
2.4 Экономия топлива от применения ПИ-труб	31
Список использованных источников	33

Введение

Государственная программа «Энергосбережение» в секторе ЖКХ предусматривает комплексную тепловую модернизацию эксплуатируемого многоквартирного жилищного фонда, что позволит значительно сократить удельное теплopotребление и соответственно снизить потребление природного газа на цели отопления и горячего водоснабжения [1].

При тепловой модернизации жилых зданий к основным видам работ *относятся*: устройство индивидуальных тепловых пунктов, включая пофасадное регулирование отопления; установка циркуляционных насосов на горячем водоснабжении и отоплении в случае их отсутствия; применение отопительных приборов с улучшенными теплоотдающими характеристиками и регулированием; изоляция трубопроводов горячего водоснабжения и отопления, прокладываемых в коммуникационных нишах; доведение сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций (окон, балконных дверей) до требования современных нормативов (установка стеклопакетов, применение тройного остекления); уменьшение площади остекления фасадов; устройство систем утепления наружных стен; установка приборов учета и регулирования тепла; регулирование вытяжной вентиляции.

Для повышения эффективности энергосберегающих мероприятий при тепловой модернизации и реконструкции зданий системы утепления ограждающих конструкций проектируют в комплексе с другими мерами по энергосбережению, в частности модернизацией систем теплоснабжения и вентиляции зданий, заменой окон, установкой приборов группового и поквартирного учета энергоресурсов (тепловой энергии, электроэнергии, газа), холодной и горячей воды.

Содержание и оформление работы

Изучение дисциплины «Энергоэффективность в ЖКХ» включает курсовую работу, *объект исследования* – жилое здание старой постройки с системой теплоснабжения от ЦТП. *Цель работы* – разработка комплекса типовых энергосберегающих мероприятий с последующим анализом эффективности предлагаемых мероприятий.

Исходные данные в курсовой работе (основные характеристики здания и конструкций наружных ограждений, а также системы теплоснабжения) выдаются преподавателем в соответствии с вариантом задания.

Расчетно-пояснительная записка (в дальнейшем – РПЗ) включает: титульный лист, задание на курсовую работу, оглавление, введение, основную расчетно-графическую часть, заключение; список использованной литературы.

Теоретический материал в РПЗ не включается. Объем РПЗ около 40 страниц. Основная часть пояснительной записки должна содержать расчеты

и пояснения к ним по двум основным разделам: тепловой модернизация жилого здания и реконструкции участка внутриквартальной тепловой сети.

Во **введении** курсовой работы приводят описание объекта проектирования согласно заданию, включая объемно-планировочные характеристики жилого здания. В **заключении** приводят основные результаты и выводы, полученные в ходе проектирования.

Материал пособия изложен в краткой форме и стимулирует студентов к самостоятельному изучению с литературы, в том числе актуальных ТНПА.

Оформление РПЗ должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.004, 2.105, 2.106, 2.103.

Текст располагают на одной стороне листа формата А4 с соблюдением одинарного интервала и размеров полей левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 20 мм.

Шрифт текста Times New Roman размером 14 пунктов. Абзацы в тексте начинают отступом, равным пяти знакам.

Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, в правом верхнем углу страницы. Номера страниц на титульном листе и на задании не ставятся, но учитываются при этом.

Формулы, используемые в расчетах, должны быть расшифрованы в той последовательности, в которой символы приведены в формуле, с указанием размерностей всех буквенных величин. Пояснения символов и числовых коэффициентов приводятся непосредственно под формулой.

На все таблицы и рисунки должны быть сделаны ссылки в тексте до их изображения. При ссылках в тексте на порядковые номера формул, таблиц, рисунков сокращения слов не допускаются, например, «в формуле (1.1)», «на рисунке 1.1».

При оформлении цифрового материала слово «Таблица» с номером и наименованием (при наличии) указывают один раз слева над таблицей. При переносе части таблицы на другую страницу над другими частями таблицы слева пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы. Над последней частью таблицы слева пишут слова «Окончание таблицы» с указанием номера таблицы. Нумеруют таблицы в пределах раздела арабскими цифрами, при этом номер состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. Название таблицы (при наличии) следует помещать сразу после номера таблицы, например, «Таблица 1.1 – Основные характеристики».

Иллюстрации нумеруют в пределах раздела. Слово «Рисунок», номер и наименование помещают после рисунка и пояснительных данных (если имеются), например, «Рисунок 3.1 – Тепловой баланс здания»

Графический материал курсовой работы оформляется на листах формата А3 согласно ГОСТ 2.104-2006.

1 ТЕПЛОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗДАНИЯ

Тепловая модернизация выполняется в следующем объеме мероприятий:

1. Доведение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций до нормативных требований.
2. Реконструкция теплового пункта с внедрением системы автоматического регулирования отпуска тепловой энергии в систему отопления и заменой прибора коммерческого учета тепловой энергии на отопление.
3. Тепловая изоляция трубопроводов горячего водоснабжения, проложенных в коммуникационных нишах.

1.1 Объемно-планировочные характеристики здания

В *курсовой работе* проектные данные строительных конструкций отсутствуют в полном объеме, поэтому их некоторые особенности не учитываются, все исходные размеры здания приняты условно. В расчетах используют следующие объемно-планировочные характеристики жилого здания, определяемые согласно [17].

Площадь застройки здания, m^2 , определяется как площадь горизонтального сечения по *наружному* обводу:

$$S_{\text{застр}} = a \times b, \quad (1.1)$$

где a, b – размеры здания по наружному обмеру, м.

Площадь этажа здания, m^2 , определяется как площадь горизонтального сечения в пределах *внутренних* поверхностей наружных стен:

$$S_{\text{эт}} = 0,9 \cdot S_{\text{застр}}, \quad (1.2)$$

где 0,9 – *конструктивный коэффициент*, который учитывает толщину наружных стен.

Общая (отапливаемая) площадь здания, m^2 , определяется как сумма площадей всех этажей здания, измеренных в пределах *внутренних* поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемую перегородками и внутренними стенами:

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{от}} = S_{\text{эт}} \cdot N, \quad (1.3)$$

где N – этажность здания (количество жилых этажей).

Жилая площадь дома, m^2 , определяется с учетом *планировочного коэффициента*, учитывающего рациональность использования площадей, который принимаем 0,6:

$$S_{\text{жил}} = 0,6 \cdot S_{\text{общ}}. \quad (1.4)$$

Общая площадь наружных ограждающих конструкций, m^2 , по *наружной* поверхности при подсчете потерь тепла:

$$S_{\text{огр}} = 2(a + b) \cdot h \cdot N + 2ab, \quad (1.5)$$

где h – высота каждого этажа (высота, равная вертикальному расстоянию от уровня пола нижележащего этажа до уровня пола вышележащего этажа).

Высота здания, ограничивающая отапливаемый объем:

$$H_{\text{от}} = h \cdot N - 0,220, \quad (1.6)$$

где 0,220 – толщина железобетонного перекрытия, м.

Отапливаемый объем здания, м^3 , определяется как объем, ограниченный *внутренними* поверхностями наружных ограждений здания – стен, покрытий (чердачных перекрытий), перекрытий пола первого этажа:

$$V_{\text{от}} = S_{\text{эт}} \cdot H_{\text{от}}. \quad (1.7)$$

Показатель компактности здания – отношение общей площади *внутренней* поверхности наружных ограждающих конструкций здания (внутренняя поверхность учитывается коэффициентом 0,9) к заключенному в них отапливаемому объему:

$$k_e = 0,9 \cdot S_{\text{огр}} / V_{\text{от}}. \quad (1.8)$$

Сравниваем с рекомендуемым значением не более: 0,32 – для зданий высотой от шести до девяти этажей включительно; 0,36 – пять этажей; 0,43 – четыре этажа; 0,54 – три этажа [9].

Высота здания (архитектурная) – вертикальный размер, измеряемый от проектной отметки земли до наивысшей отметки конструктивного элемента здания:

$$z = 1,2 \cdot (h \cdot N + 0,22), \quad (1.9)$$

где 0,22 – толщина перекрытий;

1,2 – коэффициент перехода внутренней площади здания к внешней (по вертикальному сечению).

Площадь светопрозрачных конструкций:

$$S_{\text{ок}} = f \cdot S_{\text{фас}}, \quad (1.10)$$

где f – коэффициент остекления фасада здания – отношение суммарной площади всех светопрозрачных конструкций к общей площади фасада; для жилых зданий должен быть не более 18 %, принимаем $f = 0,18$;

$S_{\text{фас}}$ – площадь фасада, м^2 ; определяется по размерам соответствующих фасадов (главного и бокового).

Фасад – внешняя вертикальная поверхность здания или сооружения. Различают главный фасад, дворовой фасад и боковые (торцевые) фасады. Главным фасадом называют вид здания со стороны улицы или площади.

Площадь наружных стен (не прозрачных конструкций):

$$S_{\text{ст}} = (1 - f) \cdot S_{\text{фас}}. \quad (1.11)$$

1.2 Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

Расчетные параметры *наружного* воздуха – таблица 1.1, выбираются согласно [2]. Расчетные параметры *внутреннего* воздуха для расчета наружных ограждающих конструкций – таблица 1.2 согласно [3].

Таблица 1.1 – Расчетные параметры наружного воздуха

Наименование параметра	Значение
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 $t_{x.c}^{0,98}, ^\circ\text{C}$	
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 $t_{x.c}^{0,92}, ^\circ\text{C}$	
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{x.5}^{0,92}, ^\circ\text{C}$	
Продолжительность отопительного периода $n_{от}$, сут.	
Средняя температура за отопительный период $t_{ом}$, $^\circ\text{C}$	
Скорость ветра, v , м/с (средняя скорость в январе)	

Таблица 1.2 – Расчетные параметры внутреннего воздуха

Наименование параметра	Значение
Расчетная температура внутреннего воздуха помещений здания $t_{в}$, $^\circ\text{C}$	18
Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха помещений $\phi_{в}$, %	55
Режим помещений	нормальный
Условия эксплуатации* ограждающих конструкций: - наружных стен - покрытий или перекрытий кровли (для чердака) - перекрытий над подвалами	Б Б или А А
Расчетная температура воздуха в подвале (техническом подполье) $t^п$, $^\circ\text{C}$	6
Расчетная температура наружного воздуха для кровли (для чердака +3 $^\circ\text{C}$)	$t_{x.5}^{0,92}$ ($t_{x.5}^{0,92}+3 ^\circ\text{C}$)
Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$, $^\circ\text{C}$: - наружных стен - совмещенное покрытие или чердачное перекрытие кровли - перекрытий над подвалом	6 4 2

*Условия эксплуатации ограждающих конструкций – характеристика совокупности параметров воздействия внешней и внутренней среды, оказывающих существенное влияние на влажность материалов наружной ограждающей конструкции.

1.3 Требуемые значения сопротивления теплопередаче

Теплотехнический расчет сводится к определению параметров строительной конструкции, при которых фактическое сопротивление теплопередаче не менее ее требуемого значения, т.е. $R_{\phi} \geq R_{\text{тр}}$. В противном случае требуется модернизация конструкции. Значения фактических сопротивлений теплопередаче ограждений R_{ϕ} приводятся в задании.

Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций, за исключением заполнений проемов, должно быть не менее *минимального* $R_{\min}$ из условий обеспечения санитарно-гигиенической безопасности проживания людей и не менее *нормативного* приведенного сопротивления теплопередаче $R_{\text{норм}}$ из условий энергосбережения и долговечности: $R_{\text{тр}} \geq \max \{R_{\min}; R_{\text{норм}}\}$.

Требуемое *минимальное* приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, наружных ограждений согласно [3]:

$$R_{\min} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}}, \quad (1.12)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [3, табл. 6.2];

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в помещении, $^\circ\text{С}$;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ\text{С}$; принимается согласно [3, табл. 6.3] с учетом заданной величины *тепловой инерции* ограждающих конструкций D (за исключением заполнений проемов); для подвального перекрытия 6°С ;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ [3, табл. 6.4];

$\Delta t_{\text{в}}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции жилых зданий, $^\circ\text{С}$, согласно [3, табл. 6.5].

Требуемое *нормативное* значение сопротивления теплопередаче $R_{\text{норм}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, принимают согласно [4, таблица 7.1] для ограждающих конструкций жилого здания при его реконструкции и модернизации. При этом для перекрытий над неотапливаемым подвалом жилого дома согласно СП 50.13330.2012 можно воспользоваться формулой

$$R_{\text{норм}}^{\text{п}} = 0,00045 \cdot \text{ГСОП} + 1,9, \quad (1.14)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{С} \cdot \text{сут}$, для конкретного пункта: $\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot n_{\text{от}}$,

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в помещении, $^\circ\text{С}$;

$t_{\text{от}}$ – средняя температура отопительного периода, $^\circ\text{С}$;

$n_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Расчеты выполняют для каждой ограждающей конструкции и полученные результаты сводят в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Сопротивления теплопередаче R , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

Наименование ограждающей конструкции	R_{ϕ}	$R_{\min}$	$R_{\text{норм}}$	$R_{\text{тр}}$
Наружная стена				
Кровельное покрытие или чердачное перекрытие				
Подвальное перекрытие				
Заполнение световых проемов		-		

На основании полученных результатов **делают вывод** о соответствии фактического сопротивления теплопередаче жилого дома требуемым значениям и необходимости проведения мероприятий по тепловой модернизации жилого дома, в ходе которых значения термических сопротивлений наружных ограждений будут доведены до требуемых значений.

1.4 Системы утепления зданий и требования к ним

Система утепления – комплексное конструктивно-технологическое решение, предназначенное для увеличения сопротивления теплопередаче, защиты от атмосферных воздействий и обеспечения декоративных свойств наружной поверхности ограждающей конструкции.

Системы утепления используют, чтобы повысить фактическое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_{ϕ} до нормативной величины $R_{\text{норм}}$.

Основные правила и требования к материалам при проектировании систем утепления зданий и сооружений содержатся в СП 3.02.01-2020. Системы утепления проектируют с целью обеспечения:

- теплофизических требований по сопротивлению теплопередаче, паропроницанию, влагоудалению и воздухопроницанию;
- конструктивных требований по прочности и деформациям несущих элементов, теплоизоляционных, гидроизоляционных, отделочных материалов с учетом температурных деформаций и их трещиностойкости;
- противопожарных требований как к отдельным материалам и элементам систем утепления, так и к конструкции в целом;
- технологических требований к производству работ.

При проектировании систем утепления зданий и сооружений используют строительные материалы, допущенные к применению на территории Республики Беларусь, соответствующие требованиям ТНПА.

Для теплоизоляционного слоя систем утепления применяют эффективные минеральные или органические теплоизоляционные материалы (минераловатные плиты, пенополистирольные плиты, блоки из

пеностекла и легкого бетона), обладающие требуемыми теплоизоляционными характеристиками. Тип теплоизоляционного материала определяют видом системы утепления, а также противопожарными требованиями. Легкие штукатурные системы утепления наружных стен проектируют с применением теплоизоляционных плит в один слой.

1.5 Требуемая толщина теплоизоляции наружных стен

В курсовой работе предлагается использовать конструкцию легкой штукатурной системы утепления, правила проектирования и устройства которой изложены в СП 3.02.01-2020 и ТКП 45-3.02-114-2009.

В состав легкой штукатурной системы утепления чаще всего входят следующие слои и элементы (рисунок 1.1):

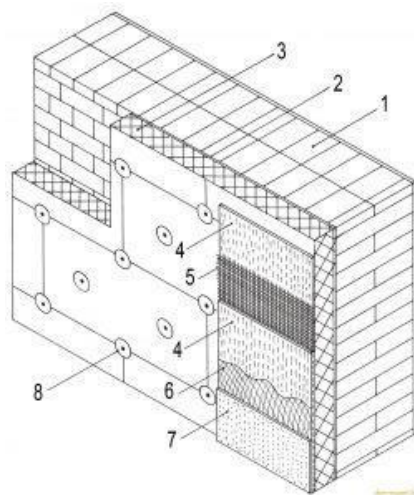


Рисунок 1.1 – Принципиальное конструктивное решение легкой штукатурной системы утепления. 1 – капитальная часть стены; 2 – клеевой слой; 3 – эффективный утеплитель; 4 – армированный слой; 5 – армирующая сетка; 6 – грунтовка; 7 – защитно-декоративный слой; 8 – дюбель-анкер

- жесткие эффективные плиты утеплителя (из минеральной ваты или пенополистирола);
- клеящий слой для крепления плит к основанию; в случае необходимости применяется дополнительное крепление специальными дюбель-анкерами;
- армированный слой, в котором заделывается армирующая полимерная или стекловолоконная сетка, имеющая щелочестойкое покрытие;
- грунтовка для улучшения адгезии защитно-декоративного слоя;
- защитно-декоративный слой;
- доборные элементы, которые обеспечивают усиление углов здания, оконных и дверных откосов, примыкания к кровле (крыше), оконным и дверным блокам, цоколю и т.д.

Для наружной тепловой изоляции стен в качестве теплоизоляционного материала применяют *плиты пенополистирольные теплоизоляционные*. Для утепления вертикальных ограждающих конструкций с применением легких штукатурных систем применяют марки плит 15Н, 20Н, 25Н согласно СТБ 1437-2004 [5].

В курсовой работе условно применяем плиты пенополистирольные типа Ф плотностью 20 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в условиях эксплуатации Б согласно [3].

Плиты утеплителя к наружной стене крепят *дюбели-анкеры*. При использовании легкой штукатурной системы утепления приведенное сопротивление теплопередаче R_T определяют с учетом влияния анкерных устройств как теплопроводных включений.

Значение сопротивления теплопередаче утепленной ограждающей конструкции $R_{н.с}^{ym}$ с учетом теплопроводных включений должно быть не менее требуемого $R_{треб}$ и определяется по формуле

$$R_{н.с}^{ym} = r^n \cdot (R_\phi + R_{ym}) \geq R_{треб}, \quad (1.15)$$

где r – расчетный коэффициент термической однородности, принимаемый в зависимости от типа крепежного элемента; в курсовой работе принимаем 0,982 (тип сердечника анкеров металлический, $d = 5 \text{ мм}$);

n – количество крепежных элементов, устанавливаемых на 1 м^2 системы; в курсовой работе принимаем 5 шт/м²;

R_ϕ – фактическое сопротивление теплопередаче конструкции до утепления, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$;

$R_{ут} = \delta_{ут}/\lambda_{ут}$ – сопротивление теплопередаче слоя утеплителя без учета теплопроводных включений, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$;

$\delta_{ут}$ – толщина утеплителя, м;

$\lambda_{ут}$ – коэффициент теплопроводности утеплителя, $\text{Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$R_{треб}$ – требуемое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$.

Тогда *требуемая толщина слоя утеплителя, м*:

$$\delta_{ym} = \left(\frac{R_{треб}}{r^n} - R_\phi \right) \cdot \lambda_{ym}. \quad (1.16)$$

Значение требуемой толщины утеплителя округляют в большую сторону кратно 10 мм и с учетом этого уточняют сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, наружной стены после утепления:

$$R_{н.с}^{ym} = r^n \cdot \left(R_\phi + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right) \geq R_{треб}. \quad (1.17)$$

1.6 Требуемая толщина теплоизоляции покрытий и перекрытий

В курсовой работе для увеличения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций согласно СП 3.02.01-2020 предлагается использовать:

- для плоских кровель – совмещенную систему утепления с сохранением существующей тепловой изоляции (слоев конструкции над плитой перекрытия). При этом полагаем, что увеличение нагрузки на плиту находится в пределах допустимого.

- для чердачных перекрытий – плитный утеплитель без защитной стяжки (чердачное перекрытие принимаем неэксплуатируемое).

- для перекрытий над подвалами – систему утепления с приклеиванием теплоизоляционного материала к перекрытию снизу с последующим креплением анкерными устройствами.

В качестве утеплителя согласно условно используем *плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на битумном связующем*. В качестве ненагружаемой тепловой изоляции в горизонтальных строительных ограждающих конструкциях применяются плиты марки 75, 100 с характеристиками согласно ГОСТ 10140-2003 [6, таблицы 1, 3].

В курсовой работе условно принимаем плиты теплоизоляционные из минеральной ваты плотностью 60 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в условиях эксплуатации согласно [3].

Требуемая толщина, м, утеплителя в случае *кровельных покрытий и чердачных перекрытий* (плиты утеплителя укладываются без применения анкерных устройств):

$$\delta_{yt} = (R_{треб} - R_{\phi}) \cdot \lambda_{yt}, \quad (1.18)$$

а в случае *подвальных перекрытий* (плиты утеплителя крепятся анкерными устройствами) – формулы (1.16), (1.17).

Значение требуемой толщины утеплителя округляют в большую сторону кратно 10 мм и с учетом этого уточняют значение сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, кровельного покрытия (чердачного перекрытия) после утепления:

$$R_{\kappa.n}^{yt} = R_{\phi} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} \geq R_{треб}. \quad (1.19)$$

1.7 Доведение термического сопротивления заполнений наружных световых проемов до нормативных требований

Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{норм}$ заполнения световых проемов гражданских зданий должно быть не менее

1 м²·°C/Вт [4]. В противном случае требуется доведение заполнений наружных световых проемов до нормативных требований по сопротивлению теплопередаче. При тепловой модернизации зданий, как правило, проводят полную замену конструкции заполнений наружных световых проемов.

В курсовой работе согласно варианту заданной конструкции энергосберегающих стеклопакетов, внедряемых при тепловой модернизации жилого дома, необходимо:

- расшифровать формулу стеклопакета;
- привести конструкцию стеклопакета с указанием ее основных паспортных характеристик, применяемых в расчетах данной работы;
- описать принцип действия энергосберегающего стеклопакета, указать его достоинства и недостатки.

1.8 Тепловой баланс здания

Тепловой баланс зданий и сооружений позволяет установить соотношение между тепловыми потерями и количеством тепла, выделяемым различными источниками внутри зданий и сооружений.

Тепловой баланс здания в общем виде [17]:

$$Q = Q_T + Q_{\text{н}} - (Q_c + Q_s),$$

где Q - реальное использование тепловой энергии в здании;

Q_T - общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции (трансмиссионные теплопотери);

$Q_{\text{н}}$ - теплопотери, связанные с воздухообменом;

Q_c - теплопоступления от внутренних источников;

Q_s - теплопоступления от солнечной радиации.

Расчеты величин, входящих в тепловой баланс здания, производят для двух вариантов: *базового* (существующего) варианта и *внедряемого* варианта – после внедрения энергосберегающих мероприятий.

1.8.1 Трансмиссионные тепловые потери. Основные и добавочные потери теплоты следует определять согласно [7], суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции Q_T , Вт, с округлением до 10 Вт для помещений, по формуле

$$Q_T = A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \beta) \cdot n / R, \quad (1.20)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °C;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C; принимают для наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

β – добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции принимают в долях от основных потерь. В курсовой работе будем учитывать только потери, связанные с ориентацией наружных вертикальных ограждений по сторонам света: через наружные вертикальные стены и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад – 0,10, на юго-восток и запад – 0,05;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [3, табл. 6.2];

R – расчетное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для базового варианта принимается фактическое $R_{\text{ф}}$, для варианта тепловой модернизации – значение, полученное в ходе соответствующего расчета.

В пояснительной записке приводят расчет трансмиссионных тепловых потерь для двух вариантов – базового и внедряемого. Результаты расчета сводят в отдельные таблицы, форма которых приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Трансмиссионные тепловые потерь (... вариант)

Расчетная внутренняя температура $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Характеристика наружного ограждения					Сопротивление теплопередаче ограждения $R, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	Коэффициент n	Расчетная наружная температура $t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	Добавочные теплопотери β	Расчетные тепловые потери, $Q_{\text{т}}, \text{кВт}$
	наименование	ориентация по сторонам света	размеры, м	коэффициент остекления	площадь $A, \text{м}^2$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Н.С		...×...							
	ОК									
	Н.С		...×...							
	ОК									
	Н.С		...×...							
	ОК									
	Н.С		...×...							
	ОК									
	К.П	-	...×...	-					-	
	П.П	-	...×...	-					-	
Всего:						ИТОГО:				
В т.ч. наружные стены:						-				
В т.ч. окна:						-				

Примечание: «н.с» – наружная стена; «ок» – окна; «к.п» – кровельное покрытие/перекрытие; «п.п» – подвальное перекрытие.

Годовые (за отопительный период) трансмиссионные тепловые потери, МВт·ч, каждого варианта определяются по формуле

$$Q_{\text{Т}}^{\text{год}} = Q_{\text{Т}} \cdot \bar{Q} \cdot n_{\text{от}} \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \quad (1.21)$$

где $Q_{\text{Т}}$ – расчетные трансмиссионные тепловые потери, кВт;

$\bar{Q} = (t_{\text{в}} - t_{\text{ом}})/(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$ – относительная тепловая нагрузка;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$, $t_{\text{ом}}$ – соответственно расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха и средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$n_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

1.8.2 Тепловые потери с воздухообменом определяют для двух вариантов – базового и внедряемого (с установкой энергосберегающих стеклопакетов).

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха учитывается при проектировании отопления и рассчитывается в соответствии с нормами [7] и рекомендациями [8].

В помещениях жилых зданий при естественной вытяжной вентиляции расход теплоты $Q_{\text{и}}$, Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует принимать равным большей из величин, полученных по расчету по формулам (2.22) и (1.25).

Расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь инфильтрацией вследствие ветрового и теплового давления, Вт:

$$Q_{\text{и1}} = 0,28 \cdot \Sigma G_{\text{и}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot k, \quad (1.22)$$

где $G_{\text{и}}$ – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года;

k – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкциях; для окон и балконных дверей с раздельными переплетами $k = 0,8$, со спаренными переплетами $k = 1,0$.

Количество воздуха, поступающего в помещения жилых и общественных зданий путем инфильтрации через окна и балконные двери, кг/ч, определяется по формуле

$$G_{\text{и}} = 0,216 \cdot F_{\text{о}} \cdot \Delta P^{0,67} / R_{\text{в}}, \quad (1.23)$$

где $R_{\text{в}}$ – сопротивление воздухопроницанию оконных блоков, м²·ч/кг, согласно [3, таблица М.1] принимается:

- для базового варианта: 0,16 для спаренных переплетов или 0,18 для отдельных переплетов – один уплотненный притвор прокладками из губчатой резины;

- для энергосберегающего стеклопакета: 0,26 (два уплотненных притвора с прокладками из губчатой резины) или 0,38 (два уплотненных притвора прокладками из пенополиуретана);

F_o – площадь ограждающих конструкций (оконных проемов), m^2 ;

ΔP – разность давления воздуха у наружной и внутренней поверхностей ограждающих конструкций оконных проемов, Па, определяемая по формуле

$$\Delta P = z \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot (c_{en} - c_{ep}) \cdot k_h, \quad (1.24)$$

здесь z – высота здания от отметки земли до верха карниза, м;

v – скорость ветра, м/с;

γ_n и γ_v – удельный вес внутреннего и наружного воздуха, N/m^3 :
 $\gamma = 3463/(273 + t)$;

ρ_n – плотность наружного воздуха, kg/m^3 , $\rho = \gamma_n/9,81$;

c_{en} , c_{ep} – аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания, согласно СНиП 2.01.07 принимаем $c_{en} = 0,8$; $c_{ep} = -0,6$;

k_h – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания (z), согласно СНиП 2.01.07 принимаемый:

Высота z , м	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 40	≤ 60
k_h	0,5	0,65	0,85	1,1	1,3

Расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь в процессе естественного удаления вытяжного воздуха (самотяги) вследствие разности между вытяжным и приточным воздухообменами, Вт:

$$Q_{и2} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_v - t_n) \cdot k, \quad (1.25)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, $m^3/ч$, определяется по формуле

$$L_n = 3 \cdot S_{жил},$$

здесь 3 – удельный нормативный расход, $m^3/ч$, на 1 m^2 жилых помещений;

$S_{жил}$ – жилая площадь здания, m^2 ;

ρ – плотность воздуха в помещении, равная 1,21 kg/m^3 ;

c – удельная теплоемкость воздуха, 1 $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$;

t_v , t_n – расчетные температуры воздуха, $^\circ C$, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года;

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях: 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами; 1,0 – для окон и балконных дверей со спаренными переплетами.

Из рассчитанных величин, полученных по формулам (1.22) и (1.25), выбираем наибольшую:

$$Q_{и} = \max\{Q_{и1}, Q_{и2}\}.$$

Годовые (за отопительный период) тепловые потери, МВт·ч, на нагрев инфильтрующегося воздуха определяются по формуле

$$Q_{и}^{год} = Q_{и} \cdot \bar{Q} \cdot n_{от} \cdot 24 \cdot 10^{-6}. \quad (1.26)$$

Баланс потерь теплоты жилого дома базового и внедряемого вариантов изображают в графической части в виде гистограммы вместе с данными для ее построения, сведенными в таблицу. Пример гистограммы представлен на рисунке 1.2. В пояснительной записке приводят *выводы* по полученной гистограмме.

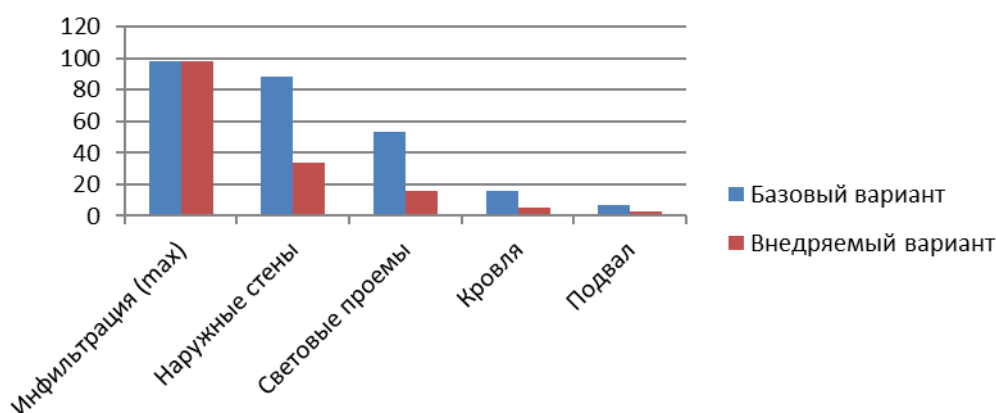


Рисунок 1.2 – Баланс потерь теплоты жилого дома (кВт) до и после тепловой модернизации

1.8.3 Свободные теплопоступления. В жилом здании имеют место тепловыделения – дополнительные поступления теплоты в помещения здания от людей, включенных энергопотребляющих устройств, искусственного освещения, а также от проникающей солнечной радиации.

Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода $Q_c^{год}$, МВт·ч, для двух вариантов (базового и внедряемого) одинаковы и определяют согласно [9]:

$$Q_c^{год} = q_c \cdot A_{ж} \cdot n_{от} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (1.27)$$

где q_c – удельные бытовые теплопоступления на 1 м² площади жилых помещений и кухонь или расчетной площади общественного здания; принимают 9 Вт/м² для жилых зданий при обеспеченности жильем 20 м² общей площади квартир и менее на 1 чел;

$A_{ж}$ – жилая площадь здания, м²;

$n_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна) определяют для базового и внедряемого вариантов.

Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна) в течение отопительного периода Q_s , МДж, для зданий, ориентированных по четырем сторонам света:

$$Q_s^{\text{год}} = \tau_{\text{ок}} \cdot k_{\text{ок}} \cdot \sum (A_{\text{оки}} \cdot I_i), \quad (1.28)$$

где $\tau_{\text{ок}}$ – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон, балконных дверей непрозрачными элементами их конструкции; выбирают для базового варианта согласно [9, таблица В.1], для энергосберегающего стеклопакета – по паспортным данным производителя;

$k_{\text{ок}}$ – коэффициент относительного пропускания солнечной радиации окон, балконных дверей; выбирают для базового варианта согласно [9, таблица В.2], для энергосберегающего стеклопакета – по паспортным данным производителя;

$A_{\text{оки}}$ – площадь заполнений световых проемов (окон) по сторонам света соответственно, м^2 ;

I_i – суммарная солнечная радиация, $\text{МДж}/\text{м}^2$, на вертикальные поверхности различной ориентации по сторонам света при средних условиях облачности за отопительный период, принимается согласно [9, таблица В.3].

1.8.4 Расход тепловой энергии на отопление определяют для двух вариантов – базового и внедряемого.

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию (восполнение потерь за счет инфильтрации) жилого здания в течение отопительного периода $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, МДж, с учетом рекомендаций [9] определяют по формуле

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = (Q_{\text{т}}^{\text{год}} + Q_{\text{и}}^{\text{год}}) \cdot \beta_h - (Q_{\text{с}}^{\text{год}} + Q_s^{\text{год}}) \cdot v \cdot \zeta, \quad (1.29)$$

где $Q_{\text{т}}^{\text{год}}$ – годовые теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции (трансмиссионные теплопотери), МДж;

$Q_{\text{и}}^{\text{год}}$ – годовые теплопотери, связанные с воздухообменом (инфильтрацией), МДж;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери; принимают равным 1,13 — для многосекционных и других протяженных зданий;

$Q_{\text{с}}^{\text{год}}$ – годовые теплопоступления от внутренних источников (бытовых) в здании, МДж;

$Q_s^{\text{год}}$ – годовые теплопоступления от солнечной радиации, МДж;

v – коэффициент, учитывающий способность ограждающих конструкций здания аккумулировать или отдавать тепло; рекомендуемое значение $v = 0,9$;

ζ – коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления; принимаем 0,2 для водяного отопления без регулирования (базовый вариант); 0,7 для системы отопления без

терморегуляторов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха (внедряемый вариант).

Расчетную тепловую нагрузку на отопление Q_o , кВт, используемую далее в пункте 1.11, можно определить из выражения:

$$Q_o^{\text{год}} = Q_o \cdot \bar{Q} \cdot n_{\text{от}} \cdot 24 \Rightarrow Q_o = Q_o^{\text{год}} / (\bar{Q} \cdot n_{\text{от}} \cdot 24) \quad (1.30)$$

где $Q_o^{\text{год}}$ – тепловая нагрузка на отопление за отопительный период, кВт·ч; для перевода МДж в кВт·ч используют коэффициент 0,278;

$\bar{Q} = (t_b - t_{\text{ом}}) / (t_b - t_n)$ – относительная тепловая нагрузка;

t_b , t_n , $t_{\text{ом}}$ – соответственно расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха и средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$n_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

1.9 Экономия топлива от выполнения термомодернизации ограждающих конструкций здания

Экономический эффект от модернизации ограждающих конструкций здания достигается за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций и уменьшения тепловых потерь. Определение экономии топлива и тепловой энергии за счет внедрения мероприятия по термомодернизации наружных стен здания выполняют согласно [8, 12].

Годовая экономия тепловой энергии, МДж (Гкал), за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции в результате выполнения термомодернизации здания:

$$\Delta Q = Q_T^{\text{год}} - Q_T^{\text{год.внедр}}, \quad (1.31)$$

где $Q_T^{\text{год}}$ – годовые трансмиссионные теплопотери существующего здания (базовый вариант);

$Q_T^{\text{год.внедр}}$ – годовые трансмиссионные теплопотери здания после термомодернизации – «утепления» и установки стеклопакетов (внедряемый вариант).

Снижение потребления электроэнергии, МДж (Гкал), на теплоисточнике на производство тепловой энергии:

$$\Delta \mathcal{E} = \varepsilon_{\text{сн}} \cdot \Delta Q, \quad (1.32)$$

где $\varepsilon_{\text{сн}}$ – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии для теплоисточника, кВт·ч/Гкал;

ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал.

Экономия топлива, т у.т., на источнике электроснабжения:

$$\Delta B_3 = \Delta \mathcal{E} \cdot (1 + k_{\text{пот}}^{\mathcal{E}} / 100) \cdot b_{\mathcal{E}}^{\text{зам}} \cdot 10^{-6}, \quad (1.33)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии, кВт ч;

$k_{\text{пот}}^{\mathcal{E}}$ – коэффициент потерь электроэнергии в электросетях, %;

$b_{\text{ээ}}^{\text{зам}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч.

Экономия топлива, т у.т., от снижения потребления тепловой энергии:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = \Delta Q \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3}, \quad (1.34)$$

где ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, кг у.т./Гкал;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях, %.

Суммарная экономия топлива, т у.т., составит:

$$\Delta B = \Delta B_{\mathcal{E}} + \Delta B_{\text{тэ}}. \quad (1.35)$$

1.10 Экономия топлива от внедрения энергосберегающих стеклопакетов

Экономический эффект от внедрения оконных блоков из ПВХ (поливинилхлорида) достигается за счет:

- увеличения термосопротивления оконных блоков и уменьшения расхода тепловой энергии на компенсацию потерь тепла;

- увеличения коэффициента воздухопроницаемости и уменьшения расхода тепловой энергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели оконных проемов;

- увеличения срока службы и отсутствия эксплуатационных затрат (оклейка, покраска).

Экономия тепловой энергии и топлива за счет внедрения мероприятия определяют согласно [8, 12].

Расход тепловой энергии на компенсацию потерь тепла через оконные проемы состоит из двух составляющих:

$$Q = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{и}}, \quad (1.36)$$

где $Q_{\text{ок}}$ – основной годовой расход тепловой энергии на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов; выбирается из таблиц трансмиссионных тепловых потерь базового и внедряемого вариантов. Эта составляющая учтена ранее при определении экономии топлива увеличения термосопротивления оконных блоков. То есть в этом разделе $Q = Q_{\text{и}}$;

$Q_{\text{и}}$ – добавочный годовой расход теплоэнергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели ограждающих

конструкций оконных проемов, определяемый ранее для базового и внедряемого вариантов.

ВНИМАНИЕ! При равенстве тепловых потерь с воздухообменом для базового и внедряемого вариантов, рассчитанных ранее, экономии топлива в данном разделе не определяется. В пояснительной записке приводятся комментарии.

Годовая экономия тепловой энергии, Гкал, от внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ (за счет ограничения инфильтрации):

$$\Delta Q = Q_{\text{сущ}} - Q_{\text{зам}} = (Q_{\text{и}})_{\text{сущ}} - (Q_{\text{и}})_{\text{зам}}, \quad (1.37)$$

где $Q_{\text{сущ}}$ – годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла с инфильтрацией через существующие ограждающие конструкции оконных проемов (базовый вариант), подлежащие замене, Гкал;

$Q_{\text{зам}}$ – годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла с инфильтрацией через ограждающие конструкции оконных проемов, предлагаемые в качестве замены (внедряемый вариант), Гкал.

Экономия топлива, т у.т., от снижения потребления тепловой энергии:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = \Delta Q \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3}, \quad (1.38)$$

где ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономия тепловой энергии), Гкал;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, кг у.т./Гкал;

$k_{\text{пот}}^{\text{тэ}}$ – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях, %.

Снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике, кВт ч, на производство тепловой энергии:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{сн}} \cdot \Delta Q, \quad (1.39)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн}}$ – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии для теплоисточника, кВт·ч/Гкал;

ΔQ – годового снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал.

Экономия топлива, т у.т., на источнике электроснабжения:

$$\Delta B_{\text{э}} = \Delta \mathcal{E} \cdot (1 + k_{\text{пот}}^{\text{э}}/100) \cdot b_{\text{э}} \cdot 10^{-6}, \quad (1.40)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии, кВт ч;

$k_{\text{пот}}^{\text{э}}$ – коэффициент потерь электроэнергии в электросетях, %;

$b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч.

Суммарная экономии топлива, т у.т., составит:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{э}} + \Delta B_{\text{тэ}}. \quad (1.41)$$

Информацию о мероприятиях по тепловой модернизации жилого здания оформляют на листе графической части.

1.11 Тепловые нагрузки горячего водоснабжения

Расчет выполняют для двух вариантов:

- базовый вариант – водоразборные стояки горячего водоснабжения (далее – ГВС) не изолированы;
- внедряемый вариант – теплоизоляция водоразборных стояков ГВС.

Средний за неделю (расчетный) расход теплоты на горячее водоснабжение жилого здания определяется согласно [10]:

$$Q_{hm} = N \cdot a \cdot m \cdot (55 - t_x) \cdot c / (24 \cdot 3,6), \text{ Вт}, \quad (1.42)$$

где N – коэффициент, учитывающий долю теплопотерь для водоразборных стояков. Согласно ТКП 45-4.01-52-2007 табл. Г.4 доля тепловых потерь зависит от характеристики системы горячего водоснабжения и наличия распределительных сетей. В курсовой работе принимаем, что за счет тепловой изоляции трубопроводов горячего водоснабжения доля теплопотерь снижается с величины **0,35** (система ГВС с полотенцесушителями и неизолированными стояками при наличии наружных распределительных сетей ГВС от ЦТП) до **0,25** (то же с изолированными стояками);

a – норма расхода горячей воды при температуре $t_2 = 55$ °С на одного человека, проживающего в здании с горячим водоснабжением, л/сут; в зависимости от степени комфортности здания [11, таблица А.2] в курсовой работе принимается $a = 105$ л/(сут·чел) – в сутки среднего водопотребления для жилых домов (с централизованным ГВС, оборудованные умывальниками, мойками и ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами);

m – количество человек;

t_x – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, при отсутствии данных принимают равной 5 °С;

c – удельная теплоемкость воды, принимают равной 4,187 кДж/(кг·°С).

Число жителей определяют с округлением в большую сторону до целого числа:

$$m = A_{\text{ж}} / f_{\text{ж}}, \quad (1.43)$$

где $A_{\text{ж}}$ – общая жилая площадь здания, м²;

$f_{\text{ж}}$ – обеспеченность жилой площадью, принимаем 12 м²/чел.

Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение жилых зданий:

$$Q_{h\text{max}} = k_{\text{сут}} \cdot k_{\text{ч}} \cdot Q_{hm}, \text{ Вт}. \quad (1.44)$$

Значения коэффициентов суточной неравномерности и часовой неравномерности в сутки наибольшего водопотребления согласно [11, 13] определяются соответственно по формулам

$$k_{\text{сут}} = a_{\text{сут}}^{\text{макс}}/a_{\text{сут}}^{\text{ср}}; \quad k_{\text{ч}} = 24 \cdot a_{\text{ч}}^{\text{макс}}/a_{\text{сут}}^{\text{макс}}, \quad (1.45)$$

где $a_{\text{сут}}^{\text{ср}} = 105$ л/(сут·чел) – расход горячей воды в сутки среднего водопотребления;

$a_{\text{сут}}^{\text{макс}} = 120$ л/(сут·чел) – расход горячей воды в сутки наибольшего водопотребления;

$a_{\text{ч}}^{\text{макс}} = 10$ л/(ч·чел) – расход горячей воды в час наибольшего водопотребления.

Годовой расход теплоты, МВт·ч, на горячее водоснабжение:

$$Q_{\text{h}}^{\text{год}} = (Q_{\text{hm}} n + 0,64 \cdot Q_{\text{hm}} \cdot (350 - n)) \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (1.46)$$

где n – продолжительность отопительного периода, сут;

0,64 – коэффициент, учитывающий снижение расхода теплоты на ГВС в межотопительный период;

350 – длительность работы системы горячего водоснабжения, сут.

Годовое снижение тепловых потерь через водоразборные стояки горячего водоснабжения:

$$\Delta Q_{\text{Г}}^{\text{год}} = (Q_{\text{Г}}^{\text{год}})_{\text{баз}} - (Q_{\text{Г}}^{\text{год}})_{\text{внедр}}. \quad (1.47)$$

В зависимости от соотношения максимальных тепловых потоков на горячее водоснабжение и на отопление для базового варианта¹ определяют схему присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения:

- при $Q_{\text{hmax}}/Q_{\text{отmax}} = 0,2 \dots 1,0$ – двухступенчатые схемы, величина $Q_{\text{отmax}}$ определяется по формуле (1.30);

- при остальных соотношениях – одноступенчатую.

При этом используют схемы абонентского ввода при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление согласно СП 41-101-95, рисунки 7, 8. Дают их краткое описание.

1.12 Реконструкция теплового пункта

Подача теплоносителя в отопительные приборы жилых помещений должна производиться в соответствии с расчётными параметрами и техническими характеристиками. В зданиях старой постройки для регулирования общего теплового режима многоквартирного дома, как правило, применяется элеваторный узел системы отопления. Широкое

¹ По расчетам для внедряемого варианта возможно применение другой схемы абонентского ввода, что приведет к замене основного оборудования на ЦПТ, что не входит в задачу курсовой работы.

распространение элеваторов в системах отопления вызвано эффективностью, простотой в работе и обслуживании, надёжностью, относительно небольшой стоимостью. Такой способ подачи теплоносителя, не всегда позволяют обеспечить неизменный и стабильный результат параметров потока на выходе, что сказывается на качестве теплоснабжения.

Для организации нормального теплоснабжения квартир или корректировки параметров потока, поступающего из магистральной сети, используются различные схемы подключения элеваторных узлов, например, схема с *регулятором расхода воды* (рисунок 1.3).

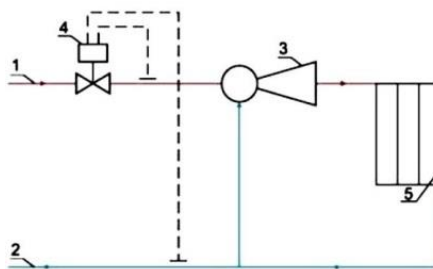


Рисунок 1.3 – Схема элеваторного узла смешения с регулятором расходом: 1 — подающая линия тепловой сети; 2 — обратная линия тепловой сети; 3 — элеватор; 4 — регулятор расхода; 5 — местная система отопления

Расход воды является основным фактором, делающим возможной регулировку режима обогрева помещений. Изменения расхода вызывают колебания температуры в жилых комнатах, что недопустимо. Вопрос решается установкой перед узлом смешивания регулятора, обеспечивающего постоянный расход воды и стабилизирующего тепловой режим.

В курсовой работе при реконструкции теплового пункта жилого здания предусматривается замена существующей схемы абонентского ввода с элеваторным узлом схемой с *автоматическим регулированием* отпуска тепловой энергии в систему отопления и установку группового прибора коммерческого учета тепловой энергии на отопление.

В расчетно-пояснительной записке необходимо:

1. Произвести выбор схемы абонентского ввода до и после модернизации теплового пункта согласно СП 41-101-95 (рисунки 7, 8 – при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление) и ТКП 45-4.02-183-2009 (рисунки Б.5, Б.6 – с регуляторами подачи теплоты на отопление).

2. Дать краткое описание назначения и принципа работы основных элементов схемы абонентского ввода и группового прибора коммерческого учета тепловой энергии.

3. Объяснить преимущество автоматического регулирования отпуска тепловой энергии по сравнению с элеваторами смешения.

4. Рассчитать экономию топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии.

Схемы абонентского ввода до и после модернизации теплового пункта приводят на листе графической части.

1.13 Экономия топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

Экономический эффект от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии в жилых зданиях имеет следующие составляющие [8, 12]:

- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха;
- ликвидация весенне-осенних перетопов зданий;
- автоматическое снижение потребления тепловой энергии системой отопления здания в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- поддержание требуемой температуры горячей воды в системе ГВС;
- автоматическое снижение температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС;
- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки;
- автоматическое включение вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть.

Расчет выполняется на основании данных *внедряемого варианта*.

Экономия тепловой энергии за счет *поддержания комфортной температуры воздуха* в помещениях жилых зданий путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление, МДж (Гкал):

$$\Delta 1 Q_o^{\text{год}} = 0,02 * Q_o^{\text{год}}. \quad (1.48)$$

Экономия тепловой энергии за счет *ликвидации весенне-осенних перетопов* в помещениях жилых, зданий составляет 12 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление, МДж (Гкал):

$$\Delta 2 Q_o^{\text{год}} = 0,12 * Q_o^{\text{год}}. \quad (1.49)$$

Экономия тепловой энергии за счет *поддержания требуемой температуры горячей воды* в системе ГВС жилых зданий составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение, МДж (Гкал):

$$\Delta 1Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}} = 0,02 * Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}}. \quad (1.50)$$

Экономия тепловой энергии за счет *автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время* в жилых зданиях составляет 13 % от годовой расхода теплоты на горячее водоснабжение, МДж (Гкал):

$$\Delta 2Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}} = 0,13 * Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}}. \quad (1.51)$$

Годовая экономия тепловой энергии $\Delta Q^{\text{год}}$ составит, МДж (Гкал):

$$\Delta Q^{\text{год}} = \Delta 1Q_{\text{о}}^{\text{год}} + \Delta 2Q_{\text{о}}^{\text{год}} + \Delta 1Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}} + \Delta 2Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}}. \quad (1.52)$$

Годовая экономия условного топлива $\Delta B^{\text{год}}$, т у.т., составит:

$$\Delta B^{\text{год}} = \Delta Q^{\text{год}} * b_{\text{тэ}} * 10^{-3}, \quad (1.53)$$

где $b_{\text{тэ}}$ – удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии, кг у.т./Гкал.

1.14 Класс энергетической эффективности здания

В *курсовой работе* класс зданий устанавливается по одному из показателей энергетической эффективности – удельному расходу энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период [16].

При разработке проектной документации на тепловую модернизацию зданий устанавливают классы А+, А, В, С по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период. Установление им соответствующих классов здания производится согласно [4, 9].

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию *жилого* здания за отопительный период q_h , МДж/м², определяют по формуле

$$q_h = Q_{\text{от}}^{\text{год}} / A_h \quad (1.54)$$

где $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ – требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию (восполнение потерь за счет инфильтрации) жилого здания в течение отопительного периода, МДж;

A_h – отапливаемая площадь здания, м².

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию жилого здания за отопительный период q_h , МДж/м² (на 1 м² отапливаемой площади), определяемый с учетом теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объемно-планировочных решений, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления, должен удовлетворять условию

$$q_h < q_h^{\text{норм}},$$

где $q_h^{\text{норм}}$ — нормативный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, МДж/м², принимается согласно [4, таблица 6.1].

Класс зданий определяется как диапазон отклонений базовых значений удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период от нормативного показателя согласно [4, таблица 10.1].

Повышение класса здания за счет снижения энергопотребления зданий для целей отопления и вентиляции и повышения энергетической эффективности можно осуществить за счет применения в инженерных системах здания теплоутилизирующих установок, использования в инженерных системах здания возобновляемых источников энергии.

Снижение энергопотребления зданий для целей горячего водоснабжения осуществляют за счет снижения тепловых потерь в циркуляционном контуре системы, повышения эффективности теплообменника системы, повышения уровня автоматизации систем регулирования, применения в инженерных системах здания теплоутилизирующих установок, использования в инженерных системах здания возобновляемых источников энергии.

В расчетно-пояснительной записке на основании полученных результатов делают вывод относительно класса энергетической эффективности здания базового и внедряемого вариантов. Приводят рекомендации.

Информацию о классе энергетической эффективности до и после тепловой модернизации здания оформляют на листе графической части.

2 РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА ВНУТРИКВАРТАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

От источника теплоснабжения (водогрейной котельной) сетевая вода поступает на ЦТП, откуда осуществляется отдельный отпуск тепловой энергии на теплоснабжение (отопление) и на горячее водоснабжение жилого дома.

Реконструкции подлежит участок внутриквартальной тепловой сети теплоснабжения, которая проложена бесканально от ЦТП к зданию. В систему отопления теплоноситель подается от ЦТП по графику температур 95/70 °С. Характеристики участка тепловой сети указаны в задании.

2.1 Диаметры тепловой сети расчетных вариантов

Расчетный расход, кг/с, теплоносителя в тепловой сети жилого здания определяется согласно [10]:

$$G_o = \frac{Q_o}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.1)$$

где Q_o – расчетный расход тепловой энергии на отопление жилого здания, кВт;

$c = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – теплоемкость воды;

τ_1, τ_2 – температура воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах внутриквартальной тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

При расчетном расходе теплоносителя G_o , кг/с, по таблицам для гидравлического расчета трубопроводов [13] в области допустимого линейного удельного падения давления ($R \leq 300 \text{ Па/м}$) определяется минимально допустимый внутренний диаметр трубопроводов тепловой сети и соответствующие ему условный D_y и наружный d_n диаметры трубопровода. Условный диаметр трубопроводов в тепловых сетях принимают не менее 32 мм.

2.2 Тепловые потери существующей тепловой сети

Тепловые потери через теплоизоляционную конструкцию трубопроводов при проектных температурных условиях вычисляют по формуле

$$Q_{\text{пот}}^{\text{сущ}} = q_n \beta L K \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

где q_n – норма плотности теплового потока, Вт/м, участка трубопровода при проектном режиме эксплуатации; для *базового варианта* принимается согласно [14, таблица Б.2] для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года. При этом для трубопроводов *существующей* тепловой сети (*базового варианта*) с температурным режимом $95/70 \text{ }^\circ\text{C}$ расчетную температуру теплоносителя принимают $65/50 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно для подающего и обратного трубопровода согласно [14, таблица 5.1];

β – коэффициент местных тепловых потерь участка тепловой сети, для бесканальной прокладки равен 1,15;

L – длина участка тепловой сети по каналу подающего и обратного трубопровода, м;

K – коэффициент фактических тепловых потерь, равный отношению измеренных при испытаниях тепловых потерь (приведенных к проектным условиям) к нормативным значениям; принимается согласно заданию.

Годовые (за отопительный период) тепловые потери вдоль участка тепловой сети, МВт·ч:

$$Q_{\text{пот}}^{\text{год}} = Q_{\text{пот}} \cdot \frac{t_g - t_{om}}{t_g - t_o} \cdot n_{\text{от}} \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – расчетные тепловые потери через теплоизоляционную конструкцию трубопроводов расчетного варианта, кВт;

$\frac{t_g - t_{om}}{t_g - t_o}$ – относительная тепловая нагрузка;

t_o , t_{om} – соответственно расчетная температура наружного воздуха и средняя за отопительный период, °С;

n_{om} – продолжительность отопительного периода, сут.

2.3 Реконструкция участка тепловой сети

При реконструкции участка тепловой сети для замены существующих трубопроводов используют предварительно изолированный трубопровод (далее – ПИ-труба) [16], уложенный бесканально в траншею (рисунок 2.1). Конструкция ПИ-трубы представлена на рисунке 2.2.

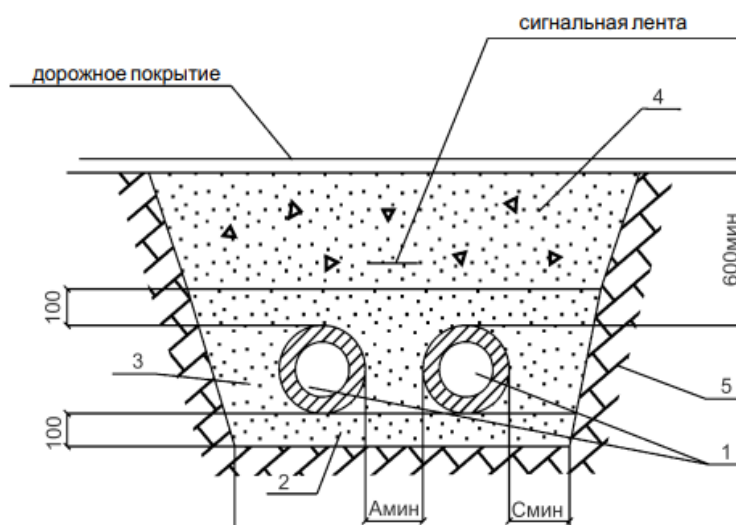


Рисунок 2.1 – Расположение труб в траншее: 1 – ПИ-труба; 2 – подсыпка песком; 3 – засыпка песком; 4 – засыпка грунтом; 5 – основной грунт; $A_{мин}$ – расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб, мм

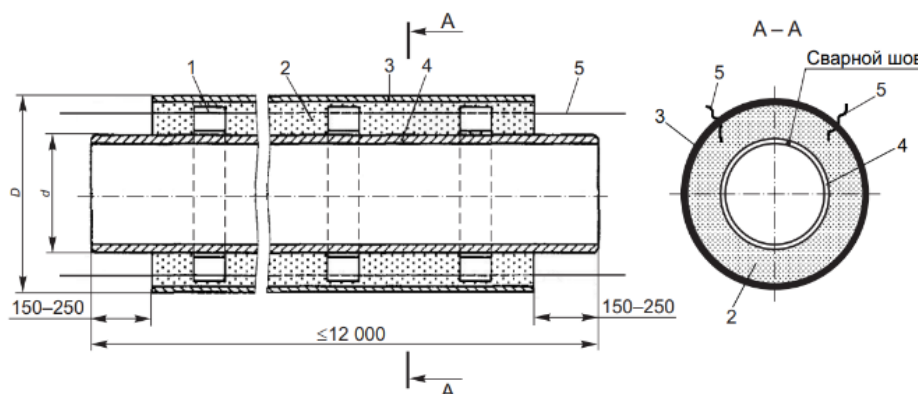


Рисунок 2.2 – Конструкция ПИ-трубы: 1 – центрирующая опора; 2 – пенополиуретановая термоизоляция; 3 – труба-оболочка; 4 – стальная труба; 5 – проводники системы оперативно дистанционного контроля (показаны условно)

Типоразмеры ПИ-трубы, соответствующие [СТБ 2252-2012](#), выбираются согласно [14, таблицы 1.1.1 и 1.1.2].

Тепловые потери на участке тепловой сети после реконструкции определяются аналогично базовому варианту, при этом $\beta = 1,00$; $K = 1$. Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность ПИ-трубы, Вт/м, принимают согласно [15, таблица Б.16].

Годовые (за отопительный период) тепловые потери вдоль участка ПИ-трубопровода, МВт·ч, рассчитываются аналогично базовому варианту [17].

В пояснительной записке приводят все расчеты, а также краткое описание ПИ-трубопроводов, основные достоинства и недостатки выбранной конструкции трубопроводов.

Конструкцию расчетного участка ПИ-труб и расположение их в траншее с нанесением основных размеров реконструируемого участка приводят на листе графической части.

2.4 Экономия топлива от применения ПИ-труб

Экономический эффект от применения предизолированных труб достигается за счет [8, 12]:

- сокращения тепловых потерь в теплотрассах;
- снижения потребления электроэнергии на транспорт тепловой энергии.

Перерасход топлива, т у.т., получаемый при использовании данного теплопровода:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot b_{\text{тэ}} / 1000 - (Q + Q_{\text{пот}}^{\text{ПИ}}) \cdot b_{\text{тэ}} / 1000, \quad (2.4)$$

где Q – количество полученной тепловой энергии (базовый и внедряемый варианты – соответственно $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ и $Q_{\text{от}}^{\text{год.ут}}$), Гкал;

$\Delta Q_{\text{пот}}$ – потери по существующей теплотрассе, Гкал;

$Q_{\text{пот}}^{\text{ПИ}}$ – потери по теплотрассе из ПИ-труб, Гкал;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива действующего теплоисточника, кг у.т./Гкал.

Расход электроэнергии, кВт ч, необходимый на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot \mathcal{E}_{\text{сн тэ}}, \quad (2.5)$$

где Q – количество полученной тепловой энергии (базовый вариант), Гкал;

$\Delta Q_{\text{пот}}$ – потери по теплотрассе, Гкал;

$\mathcal{E}_{\text{сн тэ}}$ – удельный расход электроэнергии необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт ч/Гкал.

Количество электроэнергии, кВт·ч, необходимое для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из предизолированных труб:

$$\mathcal{E}_{\text{ПИ}} = (Q + Q_{\text{пот}}^{\text{ПИ}}) \cdot \mathcal{E}_{\text{сн тэ}}, \quad (2.6)$$

где Q – количество полученной тепловой энергии (внедряемый вариант), Гкал;

$Q_{\text{пот}}^{\text{ПИ}}$ – потери по теплотрассе из ПИ-труб, Гкал;

$\mathcal{E}_{\text{сн тэ}}$ – удельный расход электроэнергии необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал.

Расход топлива, т у.т., необходимый для покрытия перерасхода электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии с учетом потерь в электросетях:

$$\Delta B_{\mathcal{E}} = (\mathcal{E}_{\text{п}} - \mathcal{E}_{\text{ПИ}}) \cdot (k_{\text{пот}}/100) \cdot b_{\mathcal{E}} \cdot 10^{-6}, \quad (2.7)$$

где $\mathcal{E}_{\text{п}}$ – расход электроэнергии, необходимый на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе, кВт ч;

$\mathcal{E}_{\text{ПИ}}$ – расход электроэнергии, необходимый для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из ПИ-труб, кВт ч;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях, %;

$b_{\mathcal{E}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч.

Общая экономия топлива, т у.т., от применения ПИ-труб составит:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{тэ}} + \Delta B_{\mathcal{E}}. \quad (2.8)$$

Информацию о реконструкции участка внутриквартальной тепловой сети оформляют в графической части.

В заключительной части необходимо отразить *основные результаты*, полученные в ходе выполнения курсовой работы. При этом для наглядности желательно использование диаграмм. Делают *основные выводы*. Объем раздела – не более двух страниц.

Список использованных источников

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021 – 2025 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 24 февраля 2021 г. № 103.
2. Изменение №1 СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.
3. СП 2.04.01-2020 Строительная теплотехника.
4. СН 2.04.02-2020 Здания и сооружения. Энергетическая эффективность.
5. СТБ 1437-2004 Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия.
6. ГОСТ 10140-2003 Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на битумном связующем. Технические условия.
7. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
8. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. / Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Мн.: 2020.
9. СП 2.04.02-2020 Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели.
10. СН 4.02.01-2019 Тепловые сети.
11. СН 4.01.03-2019 Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий.
12. Удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплотенергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2025 году в расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20250217_news1 – Дата доступа: 05.09.2025.
13. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию /И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.: ил.
14. Каталог продукции. ООО «БЕЛЕВРОТРУБПЛАСТ», 2020.
15. ТКП 642-2019 (33240/33540/33040) Порядок расчета величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации.
16. Методические указания по выполнению курсового проекта «Теплоснабжение жилого района» для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»; сост.: И. В. Янцевич, С. В. Климович. – Минск : БНТУ, 2025. – Деп. в БНТУ 04.02.2025, № DEPBNTU-2025-239.
17. Теплотехнический расчет наружных ограждений и тепловой баланс здания: Учебно-методическое пособие к курсовой работе для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент». Электронный учебный материал. / Климович С.В., Янцевич И.В. – Минск: БНТУ, 2019.