

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет технологий управления и гуманитаризации
Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые
источники энергии»

Методические указания по курсовому проектированию
по дисциплине

«Энергопотребление в зданиях и сооружениях»

для специальности

7-07-0712-02 Теплоэнергетика и теплотехника,
профилизация «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»

Электронное учебное издание

Минск
БНТУ
2025

УДК 697.341:378.147.091.313(075.8)
ББК 31.38я7
М54

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 06.09.2025 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 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника», профилизация «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» при выполнении курсовой работы на тему «Тепловой баланс жилого дома».

Приведена методика теплотехнического расчета наружных ограждений и теплового баланса жилого здания, расчетные формулы, а также общие сведения, необходимые студентам в ходе курсового проектирования. Содержатся требования и рекомендации актуальных технических нормативных правовых актов.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Исходные данные и требования к оформлению курсовой работы ...	4
1 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЯ	6
1.1 Объемно-планировочные характеристики здания	6
1.2 Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха	8
1.3 Расчетное и фактическое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций	9
1.4 Требуемые значения сопротивления теплопередаче	12
2 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ	13
2.1 Трансмиссионные тепловые потери	14
2.2 Тепловые потери с воздухообменом	15
2.3 Свободные тепlopоступления	18
2.4 Расход тепловой энергии на отопление	19
2.5 Класс энергетической эффективности здания по отоплению и вентиляции.....	19
2.6 Тепловые нагрузки горячего водоснабжения	20
Список использованных источников	22

Курсовая работа «Тепловой баланс жилого дома» выполняется студентами всех форм обучения специальности 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника» и является завершающим этапом изучения курса «Энергопотребление в зданиях и сооружениях». В работе решаются вопросы потребления тепловой энергии в здании: теплотехнический расчет наружных ограждений, составление теплового баланса, определение класса энергетической эффективности жилого дома.

В процессе работы студенты знакомятся с актуальными техническими нормативными правовыми актами (ТНПА), получают навыки практического применения теоретических знаний для решения комплексных инженерных задач энергопотребления в зданиях.

Исходные данные и требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа выполняется в соответствии с заданием, выданным руководителем.

Объектом исследования является жилое здание старой постройки, расположенное в городском квартале. *Цель работы* – определение класса здания по энергетической эффективности для принятия решения о необходимости выполнения мероприятий по тепловой модернизации здания.

Исходными данными в курсовой работе являются: район проектирования, основные характеристики здания и конструкций наружных ограждений здания, которые выдаются преподавателем в соответствии с вариантом задания. Данные, необходимые для решения частных вопросов курсовой работы, студенты принимают самостоятельно по ТНПА или справочной литературе, руководствуясь основными исходными данными.

Расчетно-пояснительная записка (далее – РПЗ) курсовой работы оформляется в соответствии с требованиями [1] и содержит титульный лист, задание на курсовую работу с исходными данными проектирования, содержание, введение, основную расчетно-пояснительную часть, заключение, список использованных источников, графическую часть. *Содержание* расчетно-пояснительной записки курсового проекта должно соответствовать заданию на курсовой проект.

Во *введении* РПЗ приводят описание и характеристику объекта проектирования. В *заключительной части* дают общую характеристику работы и приводят основные результаты, полученные в ходе курсового проектирования.

Текст курсового проекта печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм). При наборе текста с использованием компьютера применяется гарнитура шрифта Times New Roman, размер шрифта – 14 пунктов с использованием межстрочного интервала 18 пунктов с выравниванием текста по ширине листа. Абзацный отступ – 1,25 см,

размеры полей: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм.

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

Таблицу в зависимости от ее размера рекомендуется помещать непосредственно за абзацем, в котором на нее впервые дана ссылка, либо на следующей странице.

Все расчеты должны сопровождаться пояснениями. Символы и числовые коэффициенты приводятся непосредственно под формулой с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Для расчетов, выполняемых по одной и той же формуле, после расчетной формулы приводятся примеры вычислений, а полный расчет оформляется в виде предлагаемых сводных таблиц. Расчет сводных таблиц и построение графиков выполняются с применением редактора *Excel*.

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».

Графическая часть может содержать чертежи, графики, схемы, диаграммы, таблицы, рисунки и другой иллюстративный материал, наглядно представляющий выполненную работу и полученные результаты. Графическая часть выполняется на листе формата А3 с использованием графических редакторов. Графический материал одного вида должен иметь рамку и основную надпись, подшивается в конец РПЗ.

1 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЯ

Теплотехнический расчет направлен на определение соответствия строительных конструкций здания современным нормам тепловой защиты и энергоэффективности.

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.

Площадь застройки здания, м^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, м^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, м^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, м^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, м^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:

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

где 0,220 – толщина железобетонного перекрытия, м.

Отапливаемый объем здания, м³, определяется как объем, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания – стен, покрытий (чердачных перекрытий), перекрытий пола первого этажа:

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

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

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

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 [7].

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:

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

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 $f = 0,18$;

$S_{фас}$ – площадь фасада, м²; 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):

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

1.2 Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

Расчетные параметры *наружного* воздуха – таблица 1.1, выбираются согласно [2, табл. 3.1]. 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 $t_{х.с}^{0,98}$, °C	
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 $t_{х.с}^{0,92}$, °C	
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{х.5}^{0,92}$, °C	
Продолжительность отопительного периода $n_{от}$, сут.	
Средняя температура за отопительный период $t_{ом}$, °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 $t_{в}$, °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) $t^п$, °C	6
Расчетная температура наружного воздуха для кровли (для чердака +3 °C)	$t_{х.5}^{0,92}$ ($t_{х.5}^{0,92}+3$ °C)
Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$, °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 Расчетное и фактическое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций

Конструкция наружного ограждения здания включает в себя наружную стену, кровельное покрытие или чердачное перекрытие, подвальное перекрытие, заполнение световых проемов.

Теплотехнические характеристики слоев конструкции каждого наружного ограждения определяют согласно [3, таблица Д.1] и сводят в таблицу 1.3. Нумерация слоев – по направлению теплового потока через ограждающую конструкцию.

Таблица 1.3 – Теплотехнические характеристики материалов

Слой	Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Толщина слоя, м	Расчётные коэффициенты при условиях эксплуатации	
				теплопровод- ности λ , Вт/(м·°C)	теплоусвое- ния s , Вт/(м ² ·°C)
Наружные стены				Условия экспл. Б	
...					
Кровля (совмещенное покрытие / чердачное перекрытие с кровлей из материалов)				Условия экспл. Б/А	
...					
Перекрытие над подвалом				Условия экспл. А	
...					

Графическое изображение строительной конструкции каждого ограждения с нанесением всех размеров слоев и их названия, направлением теплового потока, а также таблицу 1.3 приводят в графической части.

Ограждающие конструкции здания (кроме заполнений световых проемов) представляют собой неоднородную многослойную конструкцию с последовательно расположенными однородными слоями. Теплотехнически неоднородными являются наружные стены, покрытия и перекрытия с многослойной плитой в основе.

В курсовой работе при отсутствии точных сведений о схеме и параметрах теплопроводных включений *расчетное приведенное* сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт, рекомендуется определять по формуле

$$R_0 = r \cdot R_0^{\text{всл}}, \quad (1.12)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче плоских ограждающих конструкций, м²·°C/Вт;

r – коэффициент теплотехнической однородности, учитывает нарушение теплотехнической однородности ограждающей конструкции, $r = 0,5 \dots 0,98$;

если теплопроводных включений нет, $r = 1$. В курсовой работе условно принимается: 0,8 для наружных стен; 0,95 для всех перекрытий и покрытий;

R_0^{ysl} – условное сопротивление теплопередаче конструкции без учета теплопроводных включений, $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$, определяется по формуле

$$R_0^{ysl} = 1/\alpha_B + \sum(\delta_i/\lambda_i) + R_{B.\Pi} + 1/\alpha_H \quad (1.13)$$

здесь α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Bt/(m^2 \cdot ^\circ C)$ [3, таблица 6.4];

δ_i – толщина слоя конструкции, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности слоя конструкции, $Bt/(m \cdot ^\circ C)$, в условиях эксплуатации согласно [3];

$R_{B.\Pi}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$, при ее наличии определяется согласно [3, таблица Р.1];

α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $Bt/(m^2 \cdot ^\circ C)$ [3, таблица А.1].

Тепловая инерция ограждающей конструкции согласно [3, ф. (6.2)] определяются по формуле

$$D = \sum(R_i/s_i), \quad (1.14)$$

где R_i – термическое сопротивление i -го слоя ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$; $R_i = \delta_i/\lambda_i$;

s_i – расчетный коэффициент теплоусвоения материала i -го слоя ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, $Bt/(m^2 \cdot ^\circ C)$. Для воздушных прослоек $s = 0$.

Многopустотная плита перекрытия (рисунок 1.1) является термически неоднородной конструкцией. Размеры плиты приведены в задании.

В курсовой работе используют упрощенный расчет – конструкцию плиты представляют в виде эквивалентной конструкции, состоящей из слоя замкнутой воздушной прослойки толщиной $\delta_{\text{пр}}$ и однородного слоя железобетона толщиной $\delta_{\text{жб}}$ (рисунок 1.2).

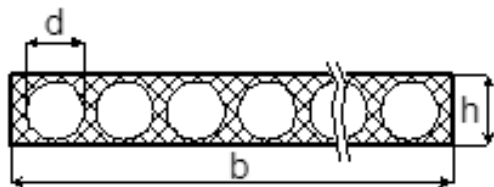


Рисунок 1.1 – Многopустотная железобетонная плита: $b \times h$ – геометрические размеры, d – диаметр пустот в плите

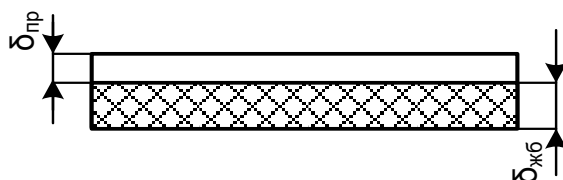


Рисунок 1.2 – Эквивалентная конструкция многopустотной железобетонной плиты

Расчёт проводится в следующей последовательности.

Площадь пустот в плите, m^2 :

$$S = N \cdot \pi d^2 / 4, \quad (1.15)$$

где N и d – соответственно количество и диаметр, м, пустот в плите.

Приведенная толщина замкнутой воздушной прослойки $\delta_{пр}$ и железобетона $\delta_{жб}$ с точностью до 10 мм соответственно:

$$\delta_{пр} = S/b \rightarrow \delta_{жб} = h - \delta_{пр}, \quad (1.16)$$

где b – длина плиты, м; h – высота плиты, м.

Конструкцию пустотной плиты можно считать многослойной с последовательно расположенными однородными слоями.

Графическое изображение многопустотной железобетонной плиты и ее эквивалентной конструкции с нанесением всех размеров приводят в графической части.

При длительной эксплуатации *фактическое* сопротивление теплопередаче наружных ограждений меньше расчетного. Причинами этого являются: возможные нарушения технологии при промышленном производстве строительных конструкций и наличие производственно-технологического брака (сколы, трещины и т.д.); на стадии строительства зданий низкое качество монтажных и отделочных работ, перерасход или недорасход материалов, несоблюдение проектных толщин и т.д.; необратимое ухудшение теплотехнических качеств наружных ограждений при их длительной эксплуатации – физическое разрушение и увлажнение материалов, возникновение трещин, усадки теплоизоляционного материала и т.д.

В теплотехнических расчетах учитывают *фактическое* сопротивление теплопередаче наружных ограждений, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, которое в *курсовой работе* определяют по формуле

$$R_{\phi} = R_0 \cdot \varepsilon, \quad (1.17)$$

где R_0 – расчетное сопротивление теплопередаче конструкции;

ε – поправочный коэффициент, в курсовой работе условно принимаем равным: 0,90 – для наружных стен, кровельных покрытий и заполнений наружных световых проемов, 0,95 – для чердачных и подвальных перекрытий.

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций (окон) находят для принятой их конструкции согласно [3, таблица Г.1].

В пояснительной записке выполняют теплотехнический расчет всех ограждающих конструкций здания, а его результаты сводят в таблицу 1.4 и приводят в графической части.

Таблица 1.4 – Результаты теплотехнического расчета: $R, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

Наименование ограждающей конструкции	$R_{0\text{усл}}$	r	R_0	ε	$R_{\text{ф}}$	R_{min}	$R_{\text{норм}}$	$R_{\text{тр}}$
Наружная стена								
Кровельное покрытие или чердачное перекрытие								
Подвальное перекрытие								
Заполнение световых проемов	-	-				-		

1.4 Требуемые значения сопротивления теплопередаче

Теплотехнический расчет сводится к определению параметров строительной конструкции, при которых фактическое сопротивление теплопередаче не менее ее требуемого значения, т.е. $R_{\text{ф}} \geq R_{\text{тр}}$. В противном случае требуется модернизация конструкции.

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: $R_{\text{тр}} \geq \max \{R_{\text{min}}; R_{\text{норм}}\}$.

Требуемое *минимальное* приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, наружных ограждений:

$$R_{\text{min}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}}, \quad (1.18)$$

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, $^\circ\text{C}$;

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

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

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

Требуемое *нормативное* значение сопротивления теплопередаче $R_{\text{норм}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, 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

$$R_{\text{норм}}^{\text{п}} = 0,00045 \cdot \text{ГСОП} + 1,9, \quad (1.19)$$

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

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

$t_{\text{ом}}$ – средняя температура отопительного периода, $^\circ\text{C}$;

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

В пояснительной записке выполняют все необходимые расчеты с пояснениями. Результаты расчета заносят в таблицу 1.4.

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.

2 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ

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

В течение отопительного периода в здании происходят следующие потери тепла: *трансмиссионные* (через наружные ограждающие конструкции) – вследствие разницы между температурой внутреннего воздуха здания и наружного воздуха и связанные с *воздухообменом* – за счет подогрева до температуры внутреннего воздуха холодного наружного воздуха, поступающего через неплотности или открытые окна и двери.

Часть этих потерь восполняется за счет тепlopоступления от внутренних источников в здании (электрические, осветительные приборы, потребление горячей воды, люди и др.), воздействия солнечной радиации на здание, особенно через окна. Остальные тепlopотери должна восполнить система отопления.

Тепловой баланс здания в общем виде:

$$Q = Q_{\text{т}} + Q_{\text{и}} - (Q_{\text{с}} + Q_{\text{с}}),$$

где Q - реальное использование тепловой энергии в здании;

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

Q_H - теплопотери, связанные с воздухообменом;

Q_C - теплопоступления от внутренних источников;

Q_S - теплопоступления от солнечной радиации.

2.1 Трансмиссионные тепловые потери

Трансмиссионные тепловые потери через наружные ограждения обусловлены процессами теплообмена. Основные и добавочные потери теплоты Q_T , Вт, следует определять согласно [5, приложение Д], суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции, по формуле

$$Q_T = A \cdot (t_b - t_n) \cdot (1 + \beta) \cdot n / R_{\phi}, \quad (2.1)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, m^2 ;

t_b – расчетная температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$;

t_n – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^{\circ}C$; принимают равной для наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

β – добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции принимают в долях от основных потерь согласно [5, пункт Д.2]. В курсовой работе учитываются только потери, связанные с ориентацией наружных вертикальных ограждений по сторонам света: 0,10 – через наружные вертикальные стены и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад, 0,05 – на юго-восток и запад;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимают согласно [3, таблица 6.2];

R_{ϕ} – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$.

Расчет трансмиссионных тепловых потерь выполняют для каждой ограждающей конструкции. Результаты расчета сводят в таблицу 2.1 и приводят в графической части.

Годовые (за отопительный период) трансмиссионные тепловые потери, $МВт \cdot ч$, определяются по формуле

$$Q_T^{год} = Q_T \cdot \bar{Q} \cdot n_{от} \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где Q_T – расчетные трансмиссионные тепловые потери, кВт;

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

t_b , t_n , t_{om} – соответственно расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха и средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^{\circ}C$;

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

Таблица 2.1 – Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь

Расчетная внутренняя температура $t_{в}$, °C	Характеристика наружного ограждения					Сопротивление теплопередаче ограждения $R_{ф}$, (м ² ·°C)/Вт	Коэффициент n	Расчетная наружная температура $t_{н}$, °C	Добавочные теплопотери β	Расчетные тепловые потери, Q_t , кВт
	наименование	ориентация по сторонам света	размеры, м	коэффициент остекления	площадь A , 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.

2.2 Тепловые потери с воздухообменом

Наружный воздух проникает в помещения за счет их *естественной вытяжной вентиляции*, предусмотренной санитарными требованиями, а также путем *инфильтрации* (воздухопроницание через поры, щели и неплотности в ограждениях) за счет ветрового и теплового давления. Нормы проектирования СН 3.02.01-2019 «Жилые здания» рекомендуют следующую схему воздухообмена квартир: наружный воздух поступает через открытые форточки жилых комнат и удаляется через вытяжные решетки, установленные в кухнях, ванных комнатах и туалетах. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха учитывается при проектировании отопления и рассчитывается в соответствии с нормами [5, приложение Е] и рекомендациями [6, раздел 23].

Расход теплоты $Q_{и}$, Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых зданий при естественной вытяжной вентиляции, не

компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует принимать равным большей из величин, полученных по расчету по формулам (2.3) и (2.6).

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

$$Q_{и1} = 0,28 \cdot \Sigma G_{и} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot k, \quad (2.3)$$

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

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

$t_{в}, t_{н}$ – расчетные температуры воздуха, °C, 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 отдельными 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

$$G_{и} = 0,216 \cdot F_o \cdot \Delta P^{0,67} / R_{в}, \quad (2.4)$$

где $R_{в}$ – сопротивление воздухопроницанию оконных блоков, согласно [3, таблица М.1] для существующего варианта условно принимается для заполнений световых проемов с деревянными переплетами с уплотнением *одного* притвора прокладками из полшерстяного шнура;

F_o – суммарная площадь ограждающих конструкций (всех оконных проемов), м²;

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

$$\Delta P = z \cdot (\gamma_{н} - \gamma_{в}) + 0,5 \cdot \rho_{н} \cdot v^2 \cdot (c_{еп} - c_{ер}) \cdot k_h, \quad (2.5)$$

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

v – скорость ветра в январе, м/с;

$\gamma_{н}$ и $\gamma_{в}$ – удельный вес внутреннего и наружного воздуха, Н/м³:
 $\gamma = 3463 / (273 + t)$;

$\rho_{н}$ – плотность наружного воздуха, кг/м³: $\rho = \gamma_{н} / 9,81$;

$c_{еп}, c_{ер}$ – аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания, согласно СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» принимаем $c_{еп} = 0,8$; $c_{ер} = -0,6$;

k_h – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания (z), согласно СНиП 2.01.07-85 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:

$$Q_{и2} = 0,28 L_n \rho c \cdot (t_b - t_n) \cdot k, \quad (2.6)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч, определяется по формуле

$$L_n = 3 \cdot S_{жил},$$

здесь 3 – удельный нормативный расход, м³/ч, на 1 м² жилых помещений;

$S_{жил}$ – жилая площадь здания, м²;

ρ – плотность воздуха в помещении, равная 1,21 кг/м³;

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

t_b, t_n – расчетные температуры воздуха, °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 раздельными переплетами; 1,0 – для окон и балконных дверей со спаренными переплетами.

Из рассчитанных величин, полученных по формулам (2.3) и (2.6), выбираем наибольшую:

$$Q_{и} = \max\{Q_{и1}, Q_{и2}\}.$$

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

$$Q_{и}^{год} = Q_{и} \cdot \bar{Q} \cdot n_{от} \cdot 24 \cdot 10^{-6}. \quad (2.7)$$

Баланс потерь теплоты жилого дома изображают в виде круговой диаграммы в графической части вместе с данными для ее построения, сведенными в таблицу. Пример диаграммы представлен на рисунке 2.1. В пояснительной записке приводят *выводы* по полученной диаграмме.

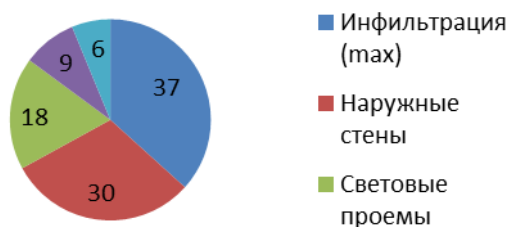


Рисунок 2.1 – Баланс потерь теплоты жилого дома в процентах

Баланс потерь теплоты зависит от многих факторов, например, года постройки здания и его назначения, этажности, типа ограждающих конструкций, ориентации по сторонам света, региона и т.д. Как видно из

рисунка 2.1 наибольшие потери здания связаны с инфильтрацией и воздухообменом в помещении.

Снизить эти потери можно за счет современных оконных блоков, дверных проемов и правильной организации воздухообмена в помещении. В этом направлении уже много сделано и в настоящее время идет широкое внедрение технологий в данной области. На втором месте в усредненном балансе потерь зданий находятся потери через наружные стены зданий. В настоящее время разработано много технологий по снижению потерь теплоты через ограждающие конструкции, связанных с утеплением.

2.3 Свободные тепlopоступления

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

Бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода согласно [7, пункт 6.2.1.9] $Q_c^{\text{год}}$, МВт·ч:

$$Q_c^{\text{год}} = q_c \cdot A_{\text{ж}} \cdot n_{\text{от}} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (2.8)$$

где q_c – удельные бытовые тепlopоступления 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.;

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

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

Тепlopоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна) в течение отопительного периода Q_s , МДж, для зданий, ориентированных по четырем сторонам света, определяют согласно [7, пункт 6.2.1.11] по формуле

$$Q_s^{\text{год}} = \tau_{\text{ок}} \cdot k_{\text{ок}} \cdot \sum (A_{\text{оки}} \cdot I_i), \quad (2.9)$$

где $\tau_{\text{ок}}$ – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон, балконных дверей непрозрачными элементами их конструкции [7, таблица В.1];

$k_{\text{ок}}$ – коэффициент относительного пропускания солнечной радиации окон, балконных дверей [7, таблица В.2];

$A_{\text{оки}}$ – площадь заполнений световых проемов (окон) по сторонам света соответственно, м²;

I_i – суммарная солнечная радиация на вертикальные поверхности различной ориентации при средних условиях облачности за отопительный период, МДж/м² [7, таблица В.3].

2.4 Расход тепловой энергии на отопление

Отопление следует проектировать для обеспечения в помещениях расчетной температуры воздуха, учитывая потери теплоты через ограждающие конструкции, расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха, а также тепловой поток, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, людей и солнечного излучения [5, пункт 6.1.1].

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию (восполнение потерь за счет инфильтрации) жилого здания в течение отопительного периода $Q_{от}^{год}$, МДж, с учетом рекомендаций [5, 6] можно рассчитать по формуле

$$Q_{от}^{год} = (Q_T^{год} + Q_{и}^{год}) \cdot \beta_h - (Q_c^{год} + Q_s^{год}) \cdot v \cdot \zeta, \quad (2.10)$$

где $Q_T^{год}$ – годовые теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции (трансмиссионные теплопотери);

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

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

$Q_c^{год}$ – годовые тепlopоступления от внутренних источников в здании;

$Q_s^{год}$ – годовые тепlopоступления от солнечной радиации;

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 [6, таблица 1]; принимаем 0,2 для водяного отопления без регулирования.

2.5 Класс энергетической эффективности здания по отоплению и вентиляции

Согласно принятой классификации [4] выделяют семь классов энергетической эффективности зданий: А+, А (очень высокий), В (высокий), С (нормальный), D (пониженный), Е (низкий), F (очень низкий), G (чрезвычайно низкий).

В курсовой работе класс зданий устанавливается по одному из показателей энергетической эффективности – удельному расходу энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период. Класс здания определяется как диапазон отклонения, %, от базового значения этого показателя [4, таблица 10.1].

Определение удельных расходов энергии на отопление, вентиляцию, а также установление им соответствующих классов здания производится согласно [4, 7] и приводится в графической части.

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию *жилого* здания за отопительный период q_h , МДж/м², определяют согласно [7, п. 6.2.1] по формуле

$$q_h = Q_{от}^{год}/A_h, \quad q_h < q_h^{норм}, \quad (2.11)$$

где $Q_{от}^{год}$ – 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;

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

Требования к классам здания по указанным показателям при разработке проектной документации на капитальный ремонт, реконструкцию и тепловую модернизацию зданий, приведены в [4, раздел 10].

2.6 Тепловые нагрузки горячего водоснабжения

Средний за неделю (расчетный) расход теплоты, Вт, на горячее водоснабжение жилого здания определяется согласно [8, раздел 6]:

$$Q_{hm} = 1,2 \cdot a \cdot m \cdot (55 - t_x) \cdot c / (24 \cdot 3,6), \text{ Вт}, \quad (2.12)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий тепловые потери от трубопроводов системы горячего водоснабжения (теплоотдачу в помещения, в том числе на отопление ванных комнат);

a – норма расхода горячей воды при температуре горячей воды 55 °С на одного человека, проживающего в здании с горячим водоснабжением, л/сут; принимается в зависимости от степени комфортности здания по [9, таблица А.2]: 105 л/(сут·чел) – в сутки среднего водопотребления для жилых домов (с централизованным горячим водоснабжением, 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 исходя из заданной обеспеченности жилой площадью (с округлением в большую сторону до целого числа):

$$m = A_{\text{ж}}/f_{\text{ж}}, \quad (2.13)$$

где $A_{\text{ж}}$ – общая жилая площадь здания, м^2 ;

$f_{\text{ж}}$ – обеспеченность жилой площадью, принимаем $12 \text{ м}^2/\text{чел.}$

Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение жилых зданий, Вт:

$$Q_{\text{hmax}} = k_{\text{сут}} \cdot k_{\text{ч}} \cdot Q_{\text{hm}}. \quad (2.14)$$

Значения коэффициентов суточной и часовой неравномерности согласно [9, таблица А.2] определяются соответственно по формулам

$$k_{\text{сут}} = a_{\text{сут}}^{\text{макс}}/a_{\text{сут}}^{\text{ср}}; \quad k_{\text{ч}} = 24 \cdot a_{\text{ч}}^{\text{макс}}/a_{\text{сут}}^{\text{макс}}, \quad (2.15)$$

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

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

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

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

$$Q_{\text{h}}^{\text{год}} = (Q_{\text{hm}} n + 0,64 \cdot Q_{\text{hm}} \cdot (350 - n)) \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (2.16)$$

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.

В заключении необходимо отразить основные результаты, полученные в ходе выполнения курсовой работы. При этом для наглядности желательно использование диаграмм. Делают основные выводы с учетом полученных результатов расчетов и теоретических сведений по дисциплине, представленных в [10, 11]. Объем раздела – не более двух страниц.

Список использованных источников

1. Методические указания по выполнению и оформлению дипломных проектов для студентов специальностей 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» 1-36 20 01 «Низкотемпературная техника» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» ; сост.: В. Л. Червинский, С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Минск : БНТУ, 2024. – Деп. в БНТУ 22.11.2024, № DEPBNTU-2024-225.
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. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
6. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Мн., 2020.
7. СП 2.04.02-2020 Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели.
8. СН 4.02.01-2019 Тепловые сети.
9. СН 4.01.03-2019 Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий.
10. Теплотехнический расчет наружных ограждений и тепловой баланс здания [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие к курсовой работе для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / С. В. Климович, И. В. Янцевич ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии". – Минск : БНТУ, 2019. <https://rep.bntu.by/handle/data/58699>
11. Энергопотребление в зданиях и сооружениях [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии" ; сост.: С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Минск : БНТУ, 2019. <https://rep.bntu.by/handle/data/50337>