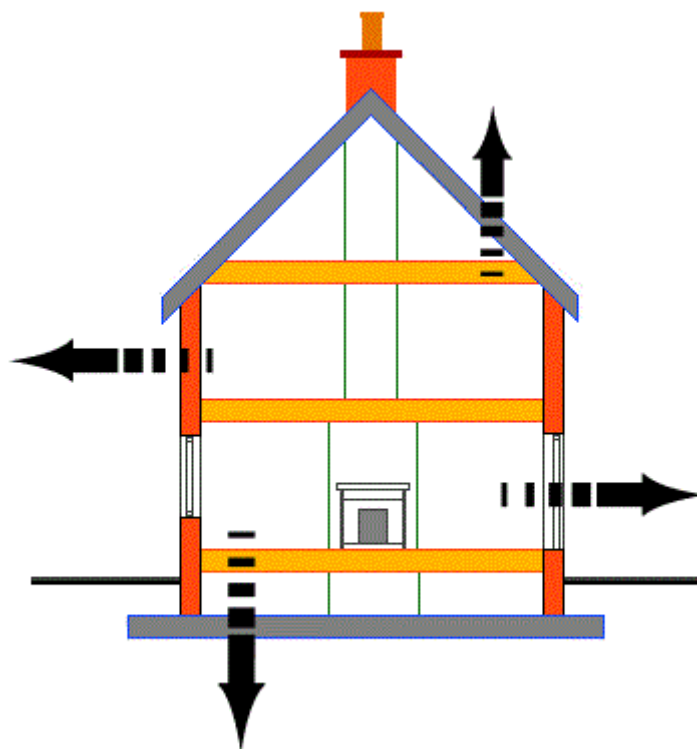


Н. В. Пилипенко

**Тепловые потери и энергетическая
эффективность зданий и
сооружений**



Санкт-Петербург
2016

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Н.В. Пилипенко

**ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург
2016**

Н. В. Пилипенко Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений. Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 54 с.

Учебное пособие разработано в соответствии с программой курса «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» Федерального образовательного стандарта Министерства высшего образования и науки РФ для магистров по направлениям подготовки 16.03.01– «Техническая физика» и 14.03.01 – «Ядерная энергетика и теплофизика».

В настоящее издание вошли лекции и практически занятия, посвященные энергетической эффективности и тепловым потерям зданий и сооружений с рассмотрением конкретных примеров расчетов.

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета лазерной и световой инженерии 11 октября 2016 года, протокол № 10.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

©Пилипенко Н. В., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	5
1.1 Общая информация о здании	6
1.2 Расчетные условия функционирования здания.....	7
1.3 Геометрические показатели здания	8
1.4 Теплотехнические показатели	9
1.5 Вспомогательные показатели.....	10
1.6 Удельные характеристики здания	12
1.7 Коэффициенты и комплексные показатели	14
1.8 Пример расчета энергоэффективности жилого здания	17
2 РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА КВАРТИРЫ	25
2.1 Составление плана квартиры	26
2.2 Составление теплового баланса помещения с определением различных видов потерь, расчетных и действительных	26
2.2.1 Баланс по количеству тепловой энергии	26
2.2.2 Тепловые потери через ограждения	27
2.2.3 Теплота, расходуемая на нагрев инфильтрующегося воздуха	32
2.2.4 Теплота, поступающая от системы отопления.....	35
2.2.5 Теплоотдача от бытовых электроприборов	37
2.2.6 Теплоотдача от человека	38
2.3 Оценка удельной тепловой характеристики квартиры	39
2.4 Расчет годовых затрат теплоты	39
2.5 Разработка мероприятий по энергоресурсосбережению и оценка эффективности в рублях	39
2.6 Пример расчета теплового баланса квартиры	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии изложены общие положения об энергетической эффективности зданий и сооружений, сформулированы цели и задачи исследований, рассмотрены закономерности по определению тепловых потерь зданий, приведен пример расчета тепловых потерь отдельной квартиры многоквартирного дома, указан перечень мероприятий по энергосбережению и дана оценка их экономической эффективности. Рассмотрено также понятие класса энергетической эффективности, которое характеризуется интервалом значений удельного расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период.

1 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В проекте здания обязательно наличие раздела «Энергоэффективность». В нем должны быть представлены сводные показатели энергоэффективности принятых решений в соответствующих частях проекта здания. Сводные показатели должны быть сопоставлены с нормативными показателями удельного расхода тепловой энергии $q^{т.от}$, кВт·ч/(м²·год), которые установлены нормативами по энергосбережению [1].

В пояснительной записке к разделу «Энергоэффективность» обычно содержатся:

- общая энергетическая характеристика рассматриваемого объекта;
- сведения о проектных решениях, направленных на повышение эффективности использования энергии;
- описание технических решений ограждающих конструкций с расчетом приведенных сопротивлений теплопередаче (за исключением светопрозрачных) с приложением протоколов теплотехнических испытаний, подтверждающих принятые расчетные теплофизические показатели строительных материалов, отличающиеся от показателей СНиП 23-02-2003 и сертификата соответствия для светопрозрачных конструкций;
- принятые виды пространства под первым и над последним этажами с указанием температуры внутреннего воздуха, принятой в расчетах, наличие мансардных этажей, используемых для жилья, тамбуров входных дверей и отопления вестибюлей, остекления лоджий;
- принятые системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, сведения о наличии приборов учета и регулирования, обеспечивающих эффективное использование энергии;
- специальные приемы повышения энергоэффективности здания: устройства по пассивному использованию солнечной энергии, системы утилизации тепла вытяжного воздуха, теплоизоляция трубопроводов отопления и горячего водоснабжения, проходящих в холодных подвалах, применение тепловых насосов и прочее;
- информация о выборе и размещении источников для объекта. В необходимых случаях приводится технико-экономическое обоснование энергоснабжения от автономных источников энергии вместо централизованных;
- сопоставление проектных решений и технико-экономических показателей в части энергопотребления с требованиями норм;
- заключение.

Пояснительная записка заканчивается составлением энергетического паспорта здания.

Энергетический паспорт жилых и общественных зданий предназначен для подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности и

теплотехнических показателей здания, показателям установленным в нормативных документах.

Энергетический паспорт здания должен содержать:

- общую информацию о проекте;
- расчетные условия;
- сведения о функциональном назначении и типе здания;
- объемно-планировочные и компоновочные показатели здания;
- расчетные энергетические показатели здания, в том числе: показатели энергоэффективности, теплотехнические показатели;
- сведения о сопоставлении с нормируемыми показателями;
- рекомендации по повышению энергоэффективности здания;
- результаты измерения энергоэффективности и уровня тепловой защиты здания после годичного периода его эксплуатации;
- класс энергетической эффективности здания.

Ниже рассмотрен ряд таблиц, в которых содержатся основные характеристики и показатели здания, по которым рассчитывается энергетическая эффективность здания.

1.1 Общая информация о здании

Таблица 1

Общая информация о здании

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Назначение здания, серия	
Этажность	
Конструктивное решение	

Рассмотрим ниже составляющие таблицы 1:

Назначение здания, серия: жилое / общественное / производственное / образовательное учреждение / лечебно-профилактическое учреждение. Если здание жилое, то указывается, многоквартирное или многоквартирное или многоквартирное блокированное согласно разделу 1 [2].

Дом жилой многоквартирный (отдельно стоящий) — дом, предназначенный для постоянного совместного проживания одной семьи и связанных с ней родственными узлами или иными близкими отношениями людей.

Дом жилой — здание квартирного типа, состоящее из двух и более квартир, каждая из которых имеет непосредственный выход на приквартирный участок.

Этажность. Указывается количество этажей и тип: малоэтажное (до трех этажей включительно) или многоэтажное.

Конструктивное решение. Указывается конструктивное исполнение здания – кирпичное, из газобетонных панелей, монолитное железобетонное, с утеплителем и т.п.

1.2 Расчетные условия функционирования здания

В таблице «Расчетные условия» приводятся значения параметров, определяемых по географическому местонахождению обследуемого объекта.

Таблица 2

Расчетные условия функционирования здания

№ п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение символа	Единицы измерения параметра	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	К	
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	К	
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	
4	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	К·сут/год	
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_b	К	

Рассмотрим составляющие таблицы 2:

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты. Принимается по таблице 3.1, столбец 5 в [3].

Продолжительность отопительного периода и средняя температура наружного воздуха за отопительный период. Принимается значение продолжительности периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$ по таблице 3.1, столбцы 11 и 12 в [3].

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП). Значение определяется по формуле (5.2) в [1]:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от})z_{от}, \quad (1.1)$$

где t_b — расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты. Допустимая температура воздуха принимается по таблице 4.1 [4].

1.3 Геометрические показатели здания

Таблица 3

Геометрические показатели здания

№ п/п	Показатель	Обозначение символа и единицы измерения показателя	Расчетное (проектное) значение показателя
6	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, м^2$	
7	Площадь жилых помещений	$A_{ж}, м^2$	
8	Отапливаемый объем	$V_{от}, м^3$	
9	Коэффициент остекленности фасада здания	f	
10	Показатель компактности здания	$K_{комп}$	
11	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	$A_{н}^{сум}, м^2$	
12	в том числе:		
	фасадов	$A_{фас}, м^2$	
	окон и балконных дверей	$A_{ок}, м^2$	
	входных дверей	$A_{дв}, м^2$	
№ п/п	Показатель	Обозначение символа и единицы измерения показателя	Расчетное (проектное) значение показателя
	чердаков	$A_{черд}$	
13	Окон по сторонам света:		
	С		
	З		
	В		
	Ю		
	ЮВ/ЮЗ		
	СВ/СЗ		

Рассмотрим составляющие таблицы 3:

Отапливаемый объем и площади в том числе:

- сумма площадей этажей здания;
- площадь жилых помещений;
- расчетная площадь (общественных зданий);
- общая площадь наружных ограждающих конструкций (и ее составляющие).

Должны браться из типового проекта здания, но если получение этих данных сопряжено с трудностями, то эти значения считаются приближенно.

Площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые, м².

Отапливаемый объем, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания — стен, покрытий (чердачных перекрытий), перекрытий пола первого этажа или пола подвала при отапливаемом подвале, м³.

Коэффициент остекленности фасада здания — это отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы [5].

Показатель компактности здания — это отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них отапливаемому объему [5].

1.4 Теплотехнические показатели

Таблица 4

Теплотехнические показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Нормируемое значение	Расчетное (проектное) значение
14	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе	$R_o^{пр}$, м ² ·К/Вт		
	стен	$R_{0,ст}^{пр}$		
	окон и балконных дверей	$R_{0,ок}^{пр}$		
	входных дверей	$R_{0,вх.дв}^{пр}$		
	перекрытий (совмещенных)	$R_{0,перек}^{пр}$		
	чердаков	$R_{0,черд}^{пр}$		

Рассмотрим значения из таблицы 4:

Нормируемые значения приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций считаются согласно п. 5.3, таблицы 4 в [5] в зависимости от градусо-суток района строительства:

$$R_s = \alpha \cdot D_d + b, \quad (1.2)$$

где D_d - градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта; α , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 [5] для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С·сут: $\alpha = 0,000075$, $b = 0,15$; для интервала 6000 - 8000 °С·сут: $\alpha = 0,00005$, $b = 0,3$; для интервала 8000 °С·сут и более: $\alpha = 0,000025$; $b = 0,5$ [5].

Расчетные значения рассчитываются согласно формуле (Е.6) в [1]:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_S R_S + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (1.3)$$

где α_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), принимаемый по таблице 4 в [1];

α_H - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), принимаемый по таблице 6 в [1];

R_S - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м²·К)/Вт, определяемое для материальных слоев по формуле (Е.7) в [1]:

$$R_S = \frac{\delta_S}{\lambda_S}, \quad (1.4)$$

где δ_S - толщина слоя, м;

λ_S - теплопроводность материала слоя, Вт/(м·К).

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в) [1].

1.5 Вспомогательные показатели

Таблица 5

Вспомогательные показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
15	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}$, Вт/(м ² ·К)	
16	Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_B , ч ⁻¹	
17	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$, Вт/м ²	

Рассмотрим составляющие таблицы 5.

Общий коэффициент теплопередачи здания Вт/(м²·К) определяется по формуле (Ж.2) в [1]:

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{A_{\text{н}}^{\text{сум}}} \cdot \sum_i (n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{\text{пп}}}), \quad (1.5)$$

где $R_{o,i}^{\text{пп}}$ — расчетное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

$A_{\phi,i}$ — площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки, м^2 ;

$n_{t,i}$ — коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете, принимается равным единице;

$A_{\text{н}}^{\text{сум}}$ — общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, м^2 .

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период $n_{\text{в}}$, ч^{-1} рассчитывается по формуле (Г.4) в [1]:

$$n_{\text{в}} = \frac{\left[\frac{L_{\text{вент}} \cdot n_{\text{вент}}}{168} + \frac{G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}}}{168 \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}}} \right]}{\beta_{\text{в}} \cdot V_{\text{от}}}, \quad (1.6)$$

где $L_{\text{вент}}$ - количество приточного воздуха в здании при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$, равное для:

а) жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м^2 общей площади и менее на человека) — $3A_{\text{ж}}$;

б) других жилых зданий — $0,35 \cdot 3A_{\text{ж}}$, но не менее 30м ; где м — расчетное число жителей в здании;

$A_{\text{ж}}$ — площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые, м^2 ;

$n_{\text{вент}}$ — число часов работы механической вентиляции в течение недели, ч. Принимается равным 168 по числу часов в неделе;

$G_{\text{инф}}$ - количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, $\text{кг}/\text{ч}$: для жилых зданий - воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода [1];

для лестнично-лифтовых узлов (ЛЛУ) жилых зданий - количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнения проемов; допускается принимать в зависимости от этажности здания: до трех этажей — равным $0,3\beta_{\text{в}}V_{\text{ЛЛУ}}$, от четырех до девяти этажей — $0,45\beta_{\text{в}}V_{\text{ЛЛУ}}$, выше девяти этажей — $0,6\beta_{\text{в}}V_{\text{ЛЛУ}}$, где $V_{\text{ЛЛУ}}$ — отапливаемый объем лестнично-лифтовых холлов здания. Для ЛЛУ без поэтажных выходов на балконы количество инфильтрующегося воздуха, полученное по упрощенным формулам следует уменьшать в два раза;

$n_{\text{инф}}$ - число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий с сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и $(168 - n_{\text{вент}})$ для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции;

$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, $\text{кг}/\text{м}^3$ [1];

$$\rho_B^{\text{вент}} = 353/[273 + t_{\text{от}}], \quad (1.7)$$

β_v - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_v=0,85$;

$V_{\text{от}}$ - отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м^3 .

$q_{\text{быт}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$ — величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 площади жилых помещений ($A_{\text{ж}}$), принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м^2 общей площади на человека $q_{\text{быт}}=17 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м^2 общей площади и более на человека $q_{\text{быт}}=10 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

в) других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины $q_{\text{быт}}$ между 17 и $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [1].

1.6 Удельные характеристики здания

Таблица 6

Удельные характеристики здания

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
18	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{\text{об}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	
19	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{\text{вент}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	
20	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{\text{быт}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	
21	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{\text{рад}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	

Рассмотрим значения из таблицы 6.

Удельная теплозащитная характеристика здания определяется по формуле (Ж.1) в [1]:

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \cdot \sum_i (n_{t,i} \frac{A_{\text{ф},i}}{R_{\text{о},i}}) = K_{\text{комп}} K_{\text{общ}}, \quad (1.8)$$

где $K_{\text{комп}}$ то же, что и в таблице 3;

$K_{\text{общ}}$ то же, что и в таблице 5.

Удельная вентиляционная характеристика здания определяется по формуле (Г.2) в [1]:

$$k_{\text{вент}} = 0,28c n_v \beta_v \rho_B^{\text{вент}} (1 - k_{\text{эф}}), \quad (1.9)$$

где c - удельная теплоемкость воздуха, равная 1кДж/(кг·К);

β_v - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_v=0,85$;

$\rho_v^{\text{вент}}$ - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³ (то же, что и в п.1.5);

n_v - средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период (то же что и в таблице 5);

$k_{\text{эф}}$ - коэффициент эффективности рекуператора, $k_{\text{эф}}$, отличен от нуля в том случае, если: средняя воздухопроницаемость квартир жилых и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) обеспечивает в период испытаний воздухообмен кратностью $n_{50} \text{ ч}^{-1}$, при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха при вентиляции с механическим побуждением $n_{50} \leq 2 \text{ ч}^{-1}$; кратность воздухообмена зданий и помещений при разности давлений 50 Па и их среднюю воздухопроницаемость определяют по ГОСТ 31167. Принимаем равным 0,4.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле [1]:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}, \quad (1.10)$$

где $q_{\text{быт}}$ - величина тепловых тепловыделений (то же, что и в таблице 5);

$A_{\text{ж}}$ - сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей, м², (то же, что и в таблице 3);

$V_{\text{от}}$ - отапливаемый объем (то же, что и в таблице 3);

$t_{\text{в}}$ - расчетная средняя температура внутреннего воздуха, °С, (то же, что и в таблице 2);

$t_{\text{от}}$ - средняя температура наружного воздуха, °С, (то же, что и в таблице 2).

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации определяется по формула Г.7 [1]:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}}, \quad (1.11)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$ - теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}} \tau_{2\text{ок}} \cdot (A_{\text{ок1}} I_1 + A_{\text{ок2}} I_2 + A_{\text{ок3}} I_3 + A_{\text{ок4}} I_4), \quad (1.12)$$

где $\tau_{1\text{ок}}$ - коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений окон, принимается по [6] и равен 0,68;

$\tau_{2\text{ок}}$ - коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, принимается по [6] и равен 0,8;

$A_{\text{ок}}$ - площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м²;

I - средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/(м²·год), определяется по [6] и равна для Санкт-Петербурга: на СВ/СЗ - 455, на С - 394, на Ю - 1009, на ЮВ/ЮЗ - 902, на В/З - 650.

1.7 Коэффициенты и комплексные показатели

Таблица 7

Коэффициенты и комплексные показатели зданий

№ п/п	Показатель	Обозначение	Нормативное значение показателя
22	Коэффициент эффективности авторегулирования отопления	ζ	
23	Коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление	ξ	
24	Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{эф}$	
25	Коэффициент, учитывающий снижение использования теплоступлений в период превышения их над теплотерями	ν	
26	Коэффициент учета дополнительных теплотерь системы отопления	β_h	

Рассмотрим составляющие таблицы 7.

ζ - Коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения:

- $\zeta = 1,0$ - в однотрубной системе с термостатами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой;
- $\zeta = 0,95$ - в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;
- $\zeta = 0,9$ - однотрубной системе с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе или в однотрубной системе без термостатов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;
- $\zeta = 0,85$ - в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

- $\zeta = 0,7$ - в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;
- $\zeta = 0,5$ - в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в центральном тепловом пункте (ЦТП) или котельной.

ξ - коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$.

$k_{эф}$ - Коэффициент эффективности рекуператора, тоже что и в п.1.6.

ν - коэффициент снижения теплопоступлений в период превышения их над теплопотерями засчет тепловой инерции ограждающих конструкций определяется по приложению Г в [1]:

$$\nu = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП}-1000), \quad (1.13)$$

β_h - коэффициент учета дополнительных теплопотерь системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для:

- многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;
- зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$;
- зданий с отапливаемыми подвалами или чердаками $\beta_h = 1,07$;
- зданий с отапливаемыми подвалами и чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$.

Таблица 8

Комплексные показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
27	Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	q , кВт·ч/(м ³ ·год)	
28	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^p$, Вт/(м ³ ·К)	
29	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год	

Таблица 8
(продолжение)

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
30	Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м ³ ·К)	
31	Класс энергосбережения		
32	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		

Рассмотрим значения показателей из таблицы 8.

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) или, кВт·ч/(м²·год) следует определять по формуле [1]:

$$q = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_{от}^p, \quad (1.14)$$

где $q_{от}^p$ — расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период [1]:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v\zeta](1 - \xi)\beta_n, \quad (1.15)$$

где $k_{об}$ - удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/м³·К;

$k_{вент}$ - удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/м³·К;

$k_{быт}$ - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/м³·К;

$k_{рад}$ - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/м³·К.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле [1]:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p. \quad (1.16)$$

Таблица 9

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, $q_{от}^{тр}$, Вт/(м³·К) [1]

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290

Примечание - Для регионов, имеющих значение ГСОП=8000 °С·сут и более, нормируемые $q_{от}^{тр}$ следует снизить на 5%

Класс энергосбережения:

$$(q_{от}^p - q_{от}^{тп}) / q_{от}^p * 100\% . \quad (1.17)$$

Таблица 10

Классы энергосбережения жилых и общественных зданий, [1]

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Экономическое стимулирование
A+		От -50 до -60 включительно	
A		От -40 до -50 включительно	
B+	Высокий	От -30 до -40 включительно	Экономическое стимулирование
B		От -15 до -30 включительно	
C+	Нормальный	От -5 до -15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От +5 до -5 включительно	
C-		От +15 до +5 включительно	
При эксплуатации существующих зданий			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

1.8 Пример расчета энергоэффективности жилого здания

В примере расчета принята следующая форма представления. Вначале приводится таблица с различными показателями и их численные значения. Затем приводятся формулы расчета и значения параметров, внесенных в таблицы.

Таблица 11.1

Общая информация о здании

Дата заполнения (число, месяц, год)	09.12.2015
Адрес здания	Санкт-Петербург, Дачный пр, д. 21, корп. 1, литер. А. Жилая часть
Разработчик проекта	
Назначение здания, серия	Жилое
Этажность	15,18-этажное
Конструктивное решение	Стены из монолитного железобетона с заполнением пенобетоном и облицованные кирпичом. Кровля-совмещенная . рулонная с защитным слоем гравия. Окна-металлопластиковые

Таблица 11.2

Расчетные условия функционирования здания

№ п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение символа	Единицы измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	К	-26
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	К	-1,8
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	220
4	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	К·сут/год	4796
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_b	К	20

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП). Значение определяется по формуле (1.1):

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,8)) \cdot 220 = 4796 \text{ (К} \cdot \text{сут/год)}.$$

Таблица 11.3

Геометрические показатели здания

№ п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Расчетное (проектное) значение
6	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, \text{ м}^2$	13184,00
7	Площадь жилых помещений	$A_{ж}, \text{ м}^2$	7188,80
8	Отапливаемый объем	$V_{от}, \text{ м}^3$	53748,20
9	Коэффициент остекленности фасада здания	f	0,37
10	Показатель компактности здания	$K_{комп}, \text{ м}^{-1}$	0,21
11	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	$A_{н}^{сум}, \text{ м}^2$	11313,95
12	в том числе:		
	фасадов	$A_{фас}, \text{ м}^2$	5757,50
	окон и балконных дверей	$A_{ок}, \text{ м}^2$	3315,00
	входных дверей	$A_{дв}, \text{ м}^2$	6,25
	покрытий (совмещенных)	$A_{покp}$	1117,60
	чердаков	$A_{чeрд}$	1117,60
13	Окон по сторонам света:		
	С		1234
	З		423,5
	В		423,5
	Ю		1234
	ЮВ/ЮЗ		
	СВ/СЗ		

Вкладом площади входных дверей ($A_{дв}$) в общий расчет можно пренебречь, поскольку их площадь составляет 0,055% от общей площади ограждающих конструкций.

Коэффициент остекленности фасада здания:

$$f = \frac{3315}{5757,5 + 3315} = 0,37.$$

Показатель компактности здания:

$$K_{\text{комп}} = \frac{11313,95}{53748,2} = 0,21 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Таблица 11.4

Теплотехнические показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Нормируемое значение	Расчетное (проектное) значение
14	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе	$R_{\text{пр}o}$, м ² ·К/Вт		
	стен	$R_{\text{пр}o, \text{ст}}$	3,08	3,23
	окон и балконных дверей	$R_{\text{пр}o, \text{ок}}$	0,51	0,51
	входных дверей	$R_{\text{пр}o, \text{вх. дв}}$	-	-
	перекрытий (совмещенных)	$R_{\text{пр}o, \text{перек}}$	4,06	4,18
	чердаков	$R_{\text{пр}o, \text{черд}}$	4,59	4,59

Нормируемые значения R_{req} приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций считаются по формуле (1.2):

Для наружной стены: $R_{\text{req}}=4796*0,00035+1,4=3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Для остекления: $R_{\text{req}}=4796*0,000075+0,15=0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Для перекрытия: $R_{\text{req}}=4796*0,00045+1,9=4,06 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Для чердаков: $R_{\text{req}}=4796*0,0005+2,2=4,59 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Приведенные значения сопротивлений ограждающих конструкций $R_{\text{пр}o}$, м²·К/Вт:

1. Наружная стена

Состав: - кирпич по ГОСТ 530-95 $\lambda=0,38 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}$, $\delta=0,12 \text{ м}$;

- Rockwool Фасад Баттс $\lambda=0,045 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}$, $\delta=0,12 \text{ м}$;

- железобетон $\lambda=2,04 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}$, $\delta=0,18 \text{ м}$.

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле (1.3):

$$R_{\text{факт}}=1/8,7+0,18/2,04+0,12/0,045+0,12/0,38+1/23=3,23 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

Как видно из расчёта $R_{\text{факт}} > R_{\text{req}}$ - следовательно, конструкция стены соответствует требованиям норм.

2. Окна и балконные двери

Для заполнения проемов применен двухкамерный стеклопакет в одинарном переплете с межстекольным расстоянием 8 мм в ПВХ переплетах с приточным шумозащитным клапаном “Airbox Comfort” $R_{\text{ок}}=0,51 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$

3. Перекрытие:

Состав: - цементно-песчаный раствор $\lambda=0,93$ (Вт/м²·К), $\delta=0,05$ м;
 - гидроизоляция $\lambda=0,17$ (Вт/м²·К), $\delta=0,003$ м;
 - газобетон 600 кг/м³ $\lambda=0,26$ (Вт/м²·К), $\delta=0,05$ м;
 - железобетон $\lambda=2,04$ (Вт/м²·К), $\delta=0,22$ м.

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле (1.3):

$$R_{\text{факт}}=1/8,7+0,05/0,93+0,003/0,17+0,05/0,26+0,22/2,04+1/23=4,18 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$$

Как видно из расчета $R_{\text{факт}} > R_{\text{req}}$ - следовательно, конструкция перекрытий соответствует требованиям норм.

4. Чердачные перекрытия:

Состав: - цементно-песчаный раствор $\lambda=0,93$ (Вт/м²·К), $\delta=0,05$ м;
 - гидроизоляция $\lambda=0,17$ (Вт/м²·К), $\delta=0,003$ м;
 - пенополистирол $\lambda=0,032$ (Вт/м²·К), $\delta=0,13$ м;
 - газобетон 600 кг/м³ $\lambda=0,26$ (Вт/м²·К), $\delta=0,05$ м;
 - железобетон $\lambda=2,04$ (Вт/м²·К), $\delta=0,22$ м.

Сопротивление теплопередаче $R_{\text{факт}}$ определяется по формуле (1.3):

$$R_{\text{факт}}=1/8,7+0,05/0,93+0,003/0,17+0,13/0,032+0,05/0,26+0,22/2,04+1/23=4,59 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт.}$$

Как видно из расчета $R_{\text{факт}} = R_{\text{req}}$ - следовательно, конструкция чердака соответствует требованиям норм.

Таблица 11.5

Вспомогательные показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
15	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{\text{общ}}$, Вт/(м ² ·К)	0,777
16	Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	n_B , ч ⁻¹	0,482
17	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{\text{быт}}$, Вт/м ²	17

Общий коэффициент теплопередачи здания Вт/(м²·К) определяется по формуле :

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{11313,95} \cdot \left(\frac{5757,5}{3,23} + \frac{3315}{0,51} + \frac{1117,6}{4,18} + \frac{1117,6}{4,59} \right) = 0,777 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К).}$$

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_B , $ч^{-1}$ рассчитывается по формуле (1.6):

$$n_B = \frac{\left[\frac{3 \cdot 7188,80 \cdot 168}{168} + \frac{0,6 \cdot 0,85 \cdot 1268,5 \cdot 168}{168 \cdot 1,3} \right]}{0,85 \cdot 53748,20} = 0,482 \text{ (ч}^{-1}\text{)}.$$

Таблица 11.6

Удельные характеристики здания

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Расчетное проектное значение показателя
18	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$, Вт/(м ³ ·К)	0,163
19	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м ³ ·К)	0,18
20	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м ³ ·К)	0,1
21	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м ³ ·К)	0,056

Удельная теплозащитная характеристика здания определяется по формуле (1.8):

$$k_{об} = 0,21 \cdot 0,777 = 0,163 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания определяется по формуле (1.9):

$$k_{вент} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot (1 - 0,4) = 0,18 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле (1.10):

$$k_{быт} = \frac{17 \cdot 7188,8}{53748,2 \cdot (20 + 1,8)} = 0,1 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации определяется по формула (1.11):

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot 1241327,5}{53748,2 \cdot 4796} = 0,056 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)},$$

где $Q_{рад}^{год}$ - теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле (1.12):

$$Q_{рад}^{год} = 0,68 \cdot 0,8 \cdot (1234 \cdot 394 + 423,5 \cdot 650 + 423,5 \cdot 650 + 1234 \cdot 1009) = 1241327,5 \text{ МДж/год}.$$

Таблица 11.7

Коэффициенты и комплексные показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение	Нормативное значение показателя
22	Коэффициент эффективности авторегулирования отопления	ζ	0,95
23	Коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление	ξ	0,1
24	Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{\text{эф}}$	0,4
25	Коэффициент, учитывающий снижение использования теплоступлений в период превышения их над теплотерями	ν	0,8
26	Коэффициент учета дополнительных теплотер системы отопления	β_h	1,11

ν - коэффициент снижения теплоступлений в период превышения их над теплотерями засчет тепловой инерции ограждающих конструкций определяется по формуле (1.13):

$$\nu = 0,7 + 0,000025(4796 - 1000) = 0,8.$$

Таблица 11.8

Комплексные показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
27	Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	q , кВт·ч/(м ³ ·год)	25,78
28	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q^p_{\text{от}}$, Вт/(м ³ ·К)	0,224
29	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q^{\text{год}}_{\text{от}}$, кВт·ч/год	1385805
30	Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	$q^{\text{тр}}_{\text{от}}$, Вт/(м ³ ·К)	0,29
31	Класс энергосбережения	В	
32	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите	Да	

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) следует определять по формуле (1.14):

$$q = 0,024 \cdot 4796 \cdot 0,224 = 25,78 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$$

где $q_{от}^p$ — расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период, определяется по формуле (1.15):

$$\begin{aligned} q_{от}^p &= [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v\zeta](1 - \xi)\beta_n = \\ &= [0,163 + 0,18 - (0,1 + 0,056) \cdot 0,8 \cdot 0,95] \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,11 = \\ &= 0,224 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \end{aligned}$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле (1.16):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 4796 \cdot 53748,20 \cdot 0,224 = 1385805 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)}$$

Класс энергосбережения определяется по формуле (1.17):

$$(q_{от}^p - q_{от}^{тп})/q_{от}^p * 100\% = -29\%$$

Согласно таблице 10, класс энергоэффективности В.

В результате расчета получены важные характеристики здания, которые позволяют оценить его энергоэффективность. Когда здание обладает высоким классом энергосбережения, это позволяет выделять на него меньшую тепловую нагрузку, и, как следствие, это снизит затраты на отопление. В случае низкой энергоэффективности, тепловая нагрузка должна быть выше, и, как следствие, затраты на отопление будут выше.

2 РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА КВАРТИРЫ

Для того чтобы человек, находясь в помещении (жилом, производственном и пр.), чувствовал себя комфортно, необходимо создать температурную обстановку, при которой организм не испытывал бы охлаждения или перегрева. Вопрос обеспечения нормальной температурной обстановки особенно актуален в холодное время года. Ведь помимо проблемы поддержания в помещении необходимой температуры воздуха, возникает проблема энергопотребления, в частности, вопросы энергосбережения и нехватки энергии, связанные с избытком или недостатком теплоты, которые в весенне-летний период не столь ярко выражены.

В помещениях зданий в холодный период года создают и поддерживают тепловой режим, соответствующий задаваемым тепловым условиям и отвечающий требованиям технологического процесса. При этом тепловой режим в помещениях бывает и постоянным и переменным в зависимости от назначения зданий. Жилые здания относятся к зданиям с постоянным тепловым режимом. Постоянный тепловой режим в помещениях поддерживают круглосуточно в течение всего отопительного сезона в соответствии с требованиями теплового комфорта. Чтобы определить, требуется ли отопление и какой мощности, сопоставляют теплопотери и теплопоступления в расчетном установившемся режиме, когда возможен наибольший дефицит теплоты. Уравнивание теплопоступлений (включая теплопоступления от отопительной установки) и теплопотерь называют сведением теплового баланса помещений. Если теплопотери превышают внутренние тепловыделения, то отопление необходимо. Если в здании, обычно производственном, теплопотери меньше тепловыделений, то отапливать помещения не нужно, в этом случае необходимо принять специальные меры для устранения теплоизбытка и достижения теплового баланса (например, средствами приточной вентиляции).

В жилых зданиях учитывают только теплопотери через ограждающие конструкции и теплотраты на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещения путем инфильтрации или для вентиляции. Теплопоступления в помещения происходят вследствие выделений теплоты людьми, теплопроводами и нагревательным технологическим оборудованием (печи, трубы, приборы и пр.), источниками искусственного освещения и работающим электрическим оборудованием, нагретыми материалами и изделиями.

Целью работы является определение необходимой тепловой мощности системы отопления жилой квартиры по месту проживания и сопоставление ее с реальной, при этом выполняются следующие этапы работы:

- Составление плана квартиры.
- Составление теплового баланса помещения с определением различных видов потерь, расчетных и действительных.
- Оценка удельной тепловой характеристики квартиры.
- Расчет годовых затрат теплоты.

- Разработка мероприятий по энергоресурсосбережению и оценка эффективности в рублях.

2.1 Составление плана квартиры

Необходимо составить план квартиры, на котором следует указать:

- Вход в квартиру.
- На какую сторону света обращены наружные ограждения.
- Номера помещений, в которых установлены радиаторы.
- Осветительные и бытовые приборы, находящиеся в квартире.

Дополнительно указать:

- На каком этаже находится квартира.
- Высоту потолков.
- Материал, из которого сделаны стены.
- Толщину стен и перегородок в квартире.
- Тип и размеры радиаторов.
- Тип и размеры остекления.
- Остеклен или нет балкон/лоджия.

2.2 Составление теплового баланса помещения с определением различных видов потерь

2.2.1 Баланс по количеству тепловой энергии

Температурная обстановка в помещении зависит от тепловой мощности системы отопления, а также от расположения обогревающих устройств, теплозащитных свойств наружных ограждений, интенсивности других источников поступления и потерь теплоты. В холодное время года помещение теряет теплоту через наружные ограждения. Кроме того, теплота расходуется на нагрев наружного воздуха, который проникает в помещение через неплотности ограждений.

Сведением всех составляющих поступлений и расхода теплоты в тепловом балансе помещения определяется дефицит или избыток теплоты. Дефицит теплоты указывает на необходимость устройства в помещениях отопления. Избыток теплоты обычно ассимилируется вентиляцией. Для определения тепловой мощности системы отопления составляют баланс часовых расходов теплоты для расчетного зимнего периода.

Уравнение теплового баланса квартиры для стационарного режима имеет вид:

$$Q_{огр} + Q_{инф} = Q_{СО} + Q_{быт.приб.} + Q_{ч}, \quad (2.1)$$

где $Q_{огр}$ - теплота, уносимая через ограждения;

$Q_{инф}$ - теплота, расходуемая на нагрев инфильтрующегося воздуха;

$Q_{СО}$ - теплота, поступающая от системы отопления;

$Q_{быт.приб.}$ - теплота, выделяемая бытовыми электроприборами;

$Q_{\text{ч}}$ - теплота, выделяемая человеком.

2.2.2 Тепловые потери через ограждения

Наружные ограждения обычно имеют различную теплоустойчивость. Через ограждения с малой теплоустойчивостью (окна и легкие конструкции) теплопотери при похолодании будут резко возрастать, практически следуя во времени за изменениями температуры наружного воздуха. Через теплоустойчивые ограждения (стены, перекрытия) потери теплоты в период резкого похолодания возрастают немного, и во времени эти изменения теплопотерь будут значительно отставать от понижения наружной температуры. Потери теплоты через массивные ограждения вызовут снижение температуры помещения позднее, чем легкие. Поэтому максимальные потери теплоты всем помещением в расчетных условиях периода резкого похолодания не будут равны сумме наибольших потерь через отдельные ограждения. Тепловые потери $Q_{\text{огр}}$ различных ограждений рассчитывают по формуле:

$$Q_{\text{огр}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вх.дв.}} + Q_{\text{ст.л/к}}, \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – тепловые потери через наружные стены;

$Q_{\text{ок}}$ - тепловые потери через окна;

$Q_{\text{вх.дв.}}$ - тепловые потери через входную дверь;

$Q_{\text{ст.л/к}}$ - тепловые потери через участок стены квартиры, внешняя поверхность которого обращена на лестничную клетку, $t_{\text{л/к}} = 15^{\circ}\text{C}$ [7].

Указанные составляющие уравнения теплового баланса следует определять с округлением до 10 Вт по формуле [8]:

$$Q_{\text{огр}} = \frac{A_i \cdot (t_p + t_{\text{ext}}) \cdot (1 + \sum \beta_i) \cdot n}{R}, \quad (2.3)$$

где i - стены или окна;

A_i - площади соответственных наружных ограждений, м^2 .

Правила обмера площадей соответственных наружных ограждений:

а) площади окон, дверей измеряются по наименьшему строительному проему;

б) площади наружных стен измеряются:

в плане – по внешнему периметру между наружным углом и осями внутренних стен,

по высоте (в средних этажах) – от поверхности пола до поверхности пола следующего этажа;

в) при необходимости определения теплопотерь через внутренние ограждения их площади берутся по внутреннему обмеру;

t_p - температура воздуха в квартире. $t_p = 20^{\circ}\text{C}$ [9];

t_{ext} - температура воздуха наружная в холодное время. $t_{\text{ext}} = -24^{\circ}\text{C}$ [9];

β_i - добавочные потери теплоты в долях от основных потерь, через ограждающие конструкции определяет, согласно [8]:

а) в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад размере 0,1, на юго-восток и запад - в размере 0,05; в угловых помещениях дополнительно - по 0,05 на каждую стену, дверь и окно, если одно из ограждений обращено на север, восток, северо-восток и северо-запад и 0,1 - в других случаях;

б) через необогреваемые полы первого этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчетной температурой наружного воздуха минус 40°С и ниже (параметры Б) - в размере 0,05;

в) через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты в размере:

0,2 N - для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;

0,27 N - для двойных дверей с тамбурами между ними;

0,34 N - для двойных дверей без тамбура;

0,22 N - для одинарных дверей;

В формуле (2.3) коэффициент – n принимается в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху по таблице 12 [5].

Таблица 12

Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в северной строительно-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в северной строительно-климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75

Таблица 12

Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4
<p>Примечание - Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалами с температурой воздуха в них t_c большей t_{ext}, но меньшей t_p коэффициент n следует определять по формуле</p> $n = \frac{(t_p - t_c)}{(t_p - t_{ext})}$	

R_i - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, следует определять по [3] по формуле:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (2.4)$$

где α_B — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, находится по таблице 13 [5].

Таблица 13

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_B , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0.3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0.3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

α_H — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), находится из [5]:

для температуры наружного воздуха в холодное время. $t_{ext} = -26$ °С:

$$\alpha_H = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

$$R_K = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.4^*)$$

где R_K - термическое сопротивление ограждающей конструкции, м²·К /Вт,

δ - толщина данного слоя в составе ограждающей конструкции, м,

λ - теплопроводность данного слоя в составе ограждающей конструкции, Вт/(м·К).

Для многослойных ограждающих конструкций, с последовательно расположенными однородными слоями R_K определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоев [6]:

$$R_K = R_1 + R_2 + \dots + R_N, \quad (2.5)$$

где R_i - термические сопротивления каждого из слоев ограждения, м²·К/Вт;

Термическое сопротивление полов $R_{п}$ можно определить следующим образом по [5]:

а) для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,2$ Вт/(м·К) по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая R_c , м²·К/Вт, равны:

2,1 - для I зоны;

4,3 - для II зоны;

8,6 - для III зоны;

14,2- для IV зоны; (для оставшейся площади пола);

б) для утепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{п} < 1,2$ Вт/(м·К) утепляющего слоя толщиной δ , м, принимая $R_{п}$, м²·К/Вт, по формуле:

$$R_{п} = R_c + \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.5^*)$$

в) для полов на лагах, принимая $R_{п}$, м²·К/Вт, по формуле:

$$R_{п} = 1,18 \cdot \left(R_c + \frac{\delta}{\lambda} \right). \quad (2.5^{**})$$

Термическое сопротивление окон R_0 можно определить по таблице 14 [10]:

Таблица 14

Приведенное сопротивление теплопередаче окон, балконных дверей и фонарей

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	
	в деревянных или ПВХ переплетах	в алюминиевых переплетах
1. Двойное остекление в спаренных переплетах	0,40	-
2. Двойное остекление в отдельных переплетах	0,44	0,34*
3. Блоки стеклянные пустотные (с шириной швов 6 мм) размером: 194x194x98 244x244x98	0,31 (без переплета) 0,33 (без переплета)	
4. Профильное стекло коробчатого сечения	0,31 (без переплета)	
5. Двойное из органического стекла для зенитных фонарей	0,36	-
6. Тройное из органического стекла для зенитных фонарей	0,52	-
7. Тройное остекление в отдельно-спаренных переплетах	0,55	0,46
8. Однокамерный стеклопакет:		
- из обычного стекла	0,38	0,34
- из стекла с твердым селективным покрытием	0,51	0,43
- из стекла с мягким селективным покрытием	0,56	0,47
9. Двухкамерный стеклопакет:		
- из обычного стекла (с межстекольным расстоянием 6 мм)	0,51 0,54	0,43 0,45
- из обычного стекла (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,58 0,68	0,48 0,52
- из стекла с твердым селективным покрытием	0,65	0,53
- из стекла с мягким селективным покрытием		
- из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном		

Таблица 14
(продолжение)

Приведенное сопротивление теплопередаче окон, балконных дверей и фонарей

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	
	в деревянных или ПВХ переплетах	в алюминиевых переплетах
10. Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в отдельных переплетах:		
- из обычного стекла	0,56	-
- из стекла с твердым селективным покрытием	0,65	-
- из стекла с мягким селективным покрытием	0,72	-
- из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69	-
11. Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах:		
- из обычного стекла	0,68	-
- из стекла с твердым селективным покрытием	0,74	-
- из стекла с мягким селективным покрытием	0,81	-
- из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82	-
12. Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,70	-
13. Два однокамерных стеклопакета в отдельных переплетах	0,74	-
14. Четырехслойное остекление в двух спаренных переплетах	0,80	-

2.2.3 Теплота, расходуемая на нагрев инфильтрующегося воздуха

Количество наружного воздуха, поступающего в помещение в результате инфильтрации, зависит от конструктивно-планировочного решения помещения, направление и скорости ветра, температуры воздуха, герметичности конструкций окон и дверей.

Общий процесс обмена воздухом между помещениями с наружным воздухом, который происходит под действием естественных сил и работы искусственных побудителей движения воздуха, называют воздушным режимом здания. Воздухообмен происходит через все воздухопроницаемые элементы под действием разности давления.

Расход теплоты $Q_{\text{инф}}$, Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует

принимать равным большей из величин, полученных из расчета по формулам (2.6) и (2.10) [5].

Расчет 1:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \sum_i G_i \cdot c \cdot (t_p + t_{\text{exp}}) \cdot k, \quad (2.6)$$

где G_i - расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения, определяемый по формуле (2.7);

c - удельная теплоемкость воздуха, равная 1000 Дж/(кг·К);

k - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный:

а) 0,7 - для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами,

б) 0,8 - для окон и балконных дверей с отдельными переплетами,

в) 1,0 - для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

Расход инфильтрующегося в помещение воздуха G_i , кг/ч, через неплотности наружных ограждений следует определять по формуле [7]:

$$G_i = 0,216 \cdot \sum A_i \frac{\Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \cdot G_H \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 0,5 \cdot \sum l \cdot \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}, \quad (2.7)$$

где A_1, A_2 - площади наружных ограждающих конструкций, м^2 , соответственно световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей) и других ограждений;

A_3 - площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м^2 . В жилых помещениях, как правило щели отсутствуют. $A_3 = 0$

$\Delta p_i, \Delta p_1$ - расчетная разность давлений, определяемая по формуле (2.8), между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже при $\Delta p_1 = 10$ Па;

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций Δp_i , Па, следует определять по формуле (2.8) [5]:

$$\Delta p_i = 0,55H(\gamma_H - \gamma_B) + 0,03\gamma_H V^2, \quad (2.8)$$

где H - высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

γ_H, γ_B - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3 , определяемый по формуле (2.8*).

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (2.8^*)$$

V - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с;

Скорость ветра, максимальная из средних по румбам за январь для Санкт-Петербурга по [9]:

$$V = 4.2 \text{ м/с};$$

R_u - сопротивление воздухопроницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ определяемое для окон и балконных дверей по формуле [5]:

$$R_u = \frac{l}{G_H} \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{2/3}, \quad (2.9)$$

где l - длина стыков стеновых панелей, м;
 G_H - нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), находится из таблицы 4 в [5].

Таблица 15

Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость G_H , кг/(м ² ·ч) не более
1 Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2 Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3 Стыки между панелями наружных стен:	
а) жилых зданий	0,5*
б) производственных зданий	1,0*
4 Входные двери в квартиры	1,5
5 Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6 Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7 Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах	5,0
8 Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9 Фонари производственных зданий	10,0

Расчет 2:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_B \cdot c \cdot (t_p - t_{\text{exp}}) \cdot k, \quad (2.10)$$

где L_n — расход удаляемого воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом; для жилых зданий - удельный нормативный расход 3 м³/ч на 1 м² жилых помещений;

ρ_B — плотность воздуха в помещении, кг/м³;

k — коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях (значение см. выше).

2.2.4 Теплота, поступающая от системы отопления

Системы отопления для жилых, общественных и административно-бытовых помещений (согласно [8] Приложение Б):

- Водяная с радиаторами, панелями и конвекторами при температуре теплоносителя для двухтрубных систем не более 95°C; для однотрубных не более 105°C;
- Водяная с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены перекрытия и полы;
- Воздушная;
- Поквартирная водяная с радиаторами или конвекторами при температуре теплоносителя не более 95 °С;
- Электрическая или газовая с температурой на теплоотдающей поверхности не более 95 °С.

Система подачи теплоносителя в радиаторы.

1. Однотрубные системы.

Однотрубные системы разработаны для того, чтобы упростить трубчатую систему и использовать часть общего потока в качестве источника тепла в каждом радиаторе. Это снижает температуру подачи в нижней части контура. Такое уменьшение следует компенсировать большими размерами радиаторов в конце контура. Выгода состоит в том, что можно получить более низкую температуру в обратном трубопроводе отопительной системы.

Пример восточно-европейской однотрубной системы приведен на рисунке 1. Эта система не позволяет перекрыть отдельный радиатор, а расход должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить достаточную температуру на нижнем этаже.

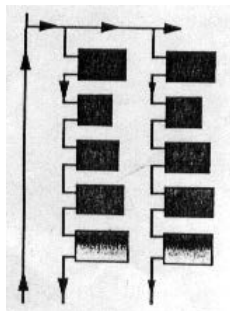
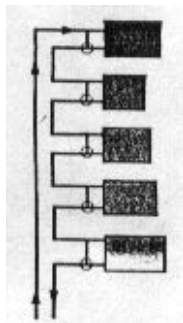


Рисунок 1 – Однотрубная система с верхней разводкой

Вариант этой системы используется в бывшем Советском Союзе, здесь часто имеется одна подающая труба к каждому контуру радиаторов (рисунок 2)

Рисунок 2 – Однотрубная система с байпасом



2. Двухтрубные системы.

Наиболее часто используемые системы. Такие системы являются предпочтительными, поскольку их легче регулировать и получать нужный выход тепла во всех частях системы. Система имеет одну подающую и одну отводящую трубу, а каждый радиатор снабжается водой с одинаковой температурой.

3. Трехтрубные системы.

Трехтрубная система является вариантом двухтрубной системы, ее также называют обратно-возвратной, в которой делается попытка иметь трубы одинаковой длины для всех радиаторов. Система часто используется в зданиях офисов, где подающий и обратный трубопроводы могут прокладываться из разных позиций.

Тепловая потребность помещения, которую должна обеспечивать система отопления, по формуле (2.1):

$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{быт.приб.}} - Q_{\text{ч}}, \quad (2.11)$$

Одновременно

$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{подв}}, \quad (2.12)$$

Отсюда найдем:

$$Q_{\text{рад}} = Q_{\text{потр}} - Q_{\text{подв}}, \quad (2.12^*)$$

где $Q_{\text{рад}}$ - теплоотдача от радиаторов, Вт;

$Q_{\text{подв}}$ - теплоотдача от подводящих трубопроводов, Вт.

С помощью формул (2.11) и (2.12*) нужно найти и сопоставить действительную и требуемую теплоотдачу от радиаторов в квартире. При этом следует:

найти $Q_{\text{рад}}^{\text{д}}$ - действительную теплоотдачу от радиаторов - из таблиц [9] в зависимости от типа радиаторов, количества секций и расчетной температуры воздуха в помещении;

найти $Q_{\text{подв}}$ по изложенной ниже методике и, подставив ее в формулу (2.12*), получить $Q_{\text{рад}}^{\text{т}}$ - требуемую теплоотдачу - и сопоставить ее с $Q_{\text{рад}}^{\text{д}}$.

$Q_{\text{подв}}$ найдем по методике, изложенной в [11]. Для этого по таблице определим площадь в эквивалентных квадратных метрах (экм) одного метра неизолированного участка трубопровода f_0 в зависимости от его диаметра.

Найдем теплоотдачу с 1 экм по формуле:

$$q_0 = (4,815 + 0,03 \cdot \Delta t) \cdot \Delta t, \quad (2.13)$$

где Δt - разность между температурой воды, поступающей в радиатор и расчетной температурой воздуха в помещении.

Тогда теплоотдача от подводящих труб вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{подв}} = \sum f_0 \cdot q_0 \cdot L \cdot \beta_{\text{тр}}, \quad (2.14)$$

где $\beta_{\text{тр}}$ - поправочный коэффициент на статус подводящих трубопроводов и равен:

- а) 0.5 - для стояков;
 - б) 0.9 - для подводов к радиаторам;
 - в) 0.25 - для магистралей над потолком;
 - г) 0.75 - для магистралей под потолком;
- L - длина отдельных участков, м.

Теплоотдача с гладкотрубного змеевика $Q_{\text{зм}}$ в ванной рассчитывается по формуле, указанной в [11], Вт:

$$Q_{\text{зм}} = \frac{q_0^{\text{вк}} \cdot F_0}{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4}, \quad (2.15)$$

где F_0 - площадь требуемой теплоотдающей поверхности змеевика, экм;

$\beta_1 = 1.0$ (для ванной комнаты); 1.03 (для других помещений)- поправочный коэффициент на остывание воды в трубопроводах;

$\beta_2 = 0.95$ – коэффициент учета числа секций;

$\beta_3 = 1.14$ (для ванной комнаты); 0.95 (для других помещений) – коэффициент учета способа подводки теплоносителя к нагревательному прибору и изменение теплоотдачи в зависимости от относительного расхода воды;

$\beta_4 = 1.0$ – коэффициент учета способа установки нагревательного прибора и различные укрытия.

2.2.5 Теплоотдача от бытовых электроприборов

Вычисляется по формуле [12]:

$$Q_{\text{быт.приб.}} = N \cdot \eta \cdot \tau, \quad (2.16)$$

где N - потребляемая прибором мощность, Вт;

τ - время работы прибора, с/сут;

η - коэффициент, учитывающий переход электрической энергии в тепловую.

Некоторые коэффициенты, учитывающие переход электрической энергии в тепловую даны в таблице 16.

Таблица 16

Коэффициенты, учитывающие переход электрической энергии в тепловую для различных бытовых приборов

Тип прибора	Коэфф. преобразования η
Лампа накаливания	0.85
Люминисцентная лампа	0.20
Магнитофон	0.60
Телевизор	0.70
Видеомагнитофон	0.55
Компьютер	0.70
Стиральная машина	0.70
Холодильник	0.65
Гриль	0.85
Электрический чайник	0.95
Электрическая плита	0.95
Плита газовая	0.95

2.2.6 Теплоотдача от человека

В организме человека постоянно вырабатывается теплота, которая должна быть отдана окружающей среде. Поддержание постоянной температуры организма около $36,6^{\circ}\text{C}$ обеспечивается физиологической системой терморегуляции, которая нормально функционирует при этой температуре. Напряжение системы терморегуляции сказывается на самочувствии и работоспособности человека.

В зависимости от физиологического и эмоционального состояния человека, его одежды, возраста, степени тяжести выполняемой работы и индивидуальных особенностей количество отдаваемой в окружающую среду теплоты может быть различным. В спокойном состоянии организм взрослого человека вырабатывает и отдает окружающей среде около 120 Вт, при тяжелой работе до 470 Вт, а при максимальных кратковременных нагрузках до 1000 Вт.

Теплоотдача от человека вычисляется по формуле [12]:

$$Q_{\text{ч}} = n \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (2,16 + 8,77\sqrt{V_{\text{В}}}) \cdot (35 - t_p) \cdot \tau_{\text{преб}}, \quad (2.17)$$

где β_1 - коэффициент, учитывающий интенсивность физической нагрузки:

- а) 1.0 - легкая работа;
- б) 1.07 - средняя работа;
- в) 1.15 - тяжелая работа;

β_2 - коэффициент, учитывающий утепленность одежды:

- а) 1.0 - легкая одежда;
- б) 0.66 - одежда средней утепленности;
- в) 0.5 - одежда высокой утепленности;

n - количество человек в квартире;
 $V_{\text{в}}$ - подвижность воздуха в помещении, 0.10 – 0.12 м/с;
 $\tau_{\text{преб}}$ - время пребывания людей в помещении, с/сут.

2.3 Оценка удельной тепловой характеристики квартиры

Удельную тепловую характеристику квартиры q , Вт/(м³·К) можно рассчитать по формуле, приведенной в [12]:

$$q = \frac{Q_{\text{кв}}}{V_{\text{кв}} \cdot (t_p - t_{\text{exp}})}, \quad (2.18)$$

где $Q_{\text{кв}}$ - расчетные тепловые потери через наружные ограждения всеми помещениями квартиры, Вт;

$V_{\text{кв}}$ - объем квартиры по внешнему обмеру, м³.

2.4 Расчет годовых затрат теплоты

В [13] указывается, что для Санкт-Петербурга месяцы с октября по апрель включительно есть месяцы со среднемесячной температурой менее 8 °С. Согласно [12], продолжительность отопительного сезона составляет 219 суток. При этом средняя температура наружного воздуха в отопительный сезон составляет –2.2 °С.

Найдем годовые затраты теплоты $Q_{\text{от.год}}$, ГДж по формуле из [10]:

$$Q_{\text{от.год}} = 24 \cdot 3600 \cdot \frac{Q_{\text{от}}}{t_p - t_{\text{exp}}} \cdot \Delta Z_{\text{ос}}, \quad (2.19)$$

где $Q_{\text{от}}$ - установочная тепловая мощность системы отопления по укрупненным показателям, Вт:

$$Q_{\text{от}} = 1,07 \cdot q \cdot V_{\text{кв}} \cdot (t_p - t_{\text{exp}}), \quad (2.20)$$

где $t_{\text{ос}}^{\text{ср}}$ - средняя температура наружного воздуха в отопительный сезон, К;

$\Delta Z_{\text{ос}}$ - продолжительность отопительного сезона, сут.

2.5 Разработка мероприятий по энергоресурсосбережению и оценка эффективности в рублях

В этом разделе необходимо разработать и рассчитать мероприятия, обеспечивающие более рациональное использование энергетических ресурсов. Мероприятия могут быть различными в каждом конкретном случае. Вот несколько примеров:

- Снятие с эксплуатации излишнего количества секций радиаторов или замены их на другие, с меньшей площадью поверхности.
- Напыление на поверхность ниши и стен теплоизоляционного покрытия.
- Использование уплотнителей на стыках стеновых панелей.

- Использование уплотнительных материалов на ограждающих конструкциях, граничащих с внешней средой (наружные стены, полы – для первых этажей, потолки – для последних этажей).
- и т.д.

2.6 Пример расчета теплового баланса квартиры

На основании изложенной ранее теоретической части переходим к практическому расчету реальной квартиры показанной на рисунке 3.

Содержание задания

Определить необходимую тепловую мощность системы отопления жилой квартиры по месту проживания и сопоставить ее с реальной, при этом выполнить следующие этапы работы:

1. Составить план квартиры.
2. Составить тепловой баланс помещения с определением различных видов потерь, расчетных и действительных.
3. Оценить удельную тепловую характеристику квартиры.
4. Рассчитать годовые затраты теплоты.
5. Разработать мероприятия по энергоресурсосбережению и оценить эффективность в рублях.

Составление плана квартиры

I, II, III – номера помещений, в которых установлены радиаторы.

Вход в квартиру выполнен в виде двух дверей с тамбуром между ними.

С внешней стороны наружного ограждения помещения I имеется незастекленный балкон.

Высота потолков – 2.51 м.

Квартира находится на шестом этаже восьмиэтажного дома.

Гладкотрубный змеевик в ванной подсоединен к системе отопления.

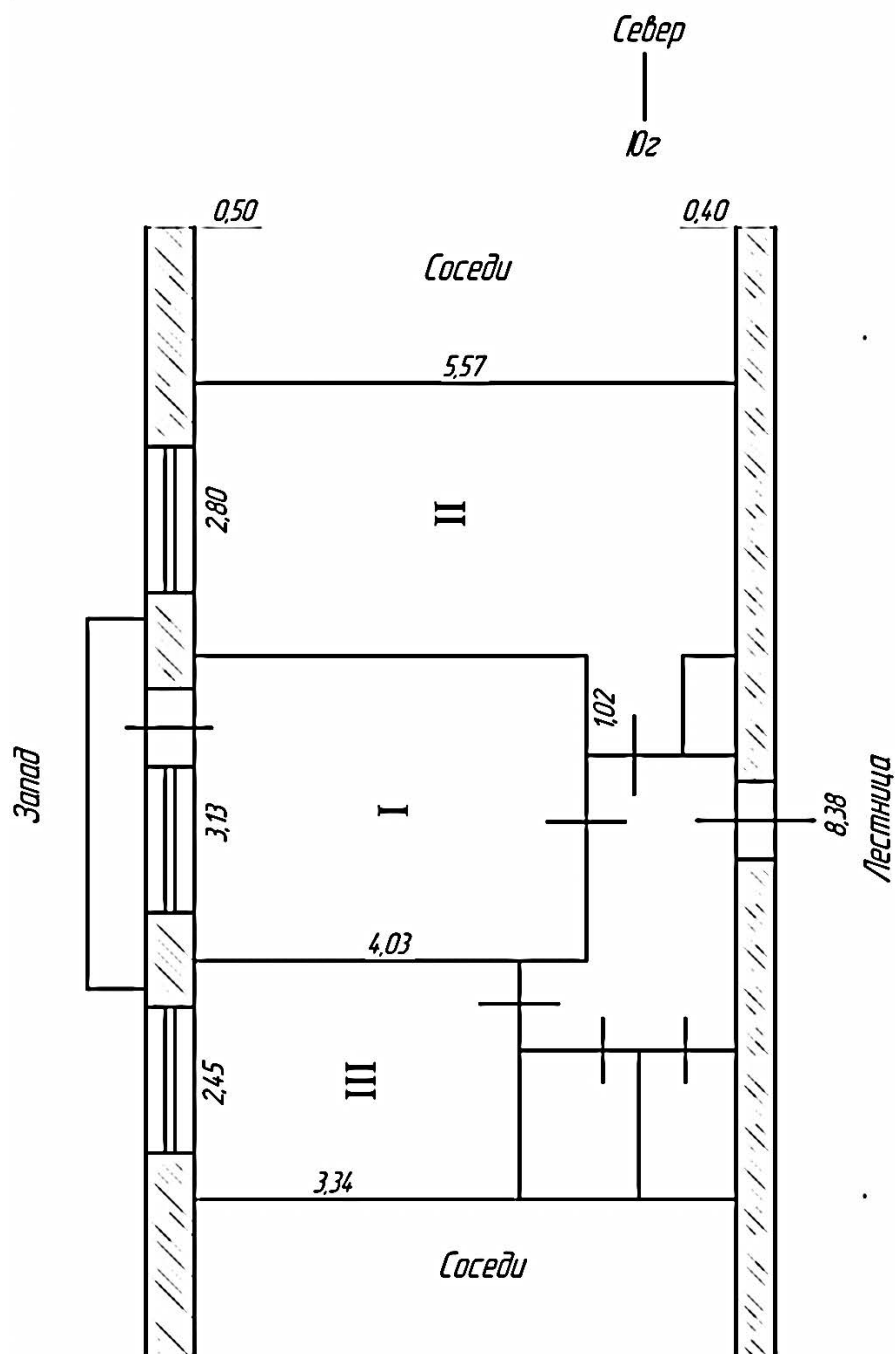


Рисунок 3 – План квартиры (размеры указаны в метрах)

Расчет теплотерь через ограждения

Тепловые потери через ограждения определяются по формуле (2.2).

$$Q_{огр} = Q_{ст} + Q_{ок} + Q_{вх.дв.} + Q_{ст.л/к}, \text{ Вт}$$

Температура лестничной клетки, $t_{л/к} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ (из-за отсутствия отопления на лестничной клетке и источников теплоты принимаем равной наружной температуре)

Значение параметров, характеризующих тепловые потери принимаем:

- $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

- $\alpha_H = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- $n = 1$ (вертикальное расположение наружных ограждений);
- $\beta_i = 0,05$ (наружные ограждения обращены на запад);

а также:

- температура в квартире $t_p = 20 \text{ }^\circ\text{С}$;
- в холодное время $t_{ext} = - 24 \text{ }^\circ\text{С}$;
- тепловое сопротивление окон $R_0 = 0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. (табл 14).

В соответствии с правилами обмера стен и окон получаем:

Таблица 17.1

Площади наружных ограждений

№ помещения по плану	Площадь свет. проема окна, м ²
I	2,25
II	3,65
III	2,25

Таблица 17.2

Материалы наружных стен

	Материал Слоя	Толщина слоя δ , м	Теплопроводность слоя λ , Вт/(м·К)
наружной стены	кирпич	0,5	0,64
стены со стороны лестничной площадки	кирпич	0,4	0,64

Так как вход в квартиру выполнен в виде двух дверей с воздушной прослойкой, необходимо рассчитать тепловое сопротивление каждого элемента такого ограждения (внутренняя дверь, воздушная прослойка, внешняя дверь) по формулам (2.4*), (2.5), а затем общее сопротивление по формуле (2.4).

Получим:

$$R_{\text{двери}} = \frac{0,05}{0,14} + \frac{0,3}{0,024} + \frac{0,05}{0,14} = 1,96 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

Тепловые сопротивления ограждений находим согласно формулам (2.4), (2.4*), (2.5). Теплоотдачу через ограждения находим по формуле (2.3).

Таблица 17.3

Тепловые сопротивления ограждений и теплопотери через них

	Тепловое сопротивление, (м ² ·К)/Вт	Тепловые потери, Вт	Суммарные тепловые потери, Вт
окна	0,598	616	2415
наружная стена	0,940	1034	
стена со стороны лестничной площадки	0,783	724	
двери	2,123	41	

Таким образом, получим:

$$Q_{\text{огр}} = 2415 \text{ Вт.}$$

Расчет теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха

Расчет проводим по формулам (2.6), (2.10) и выбираем максимальное из полученных значений. В расчете используем следующие данные:

- скорость ветра, максимальная из средних по румбам за январь $V = 4,2$ м/с;
- $\Delta p_1 = 10$ Па;
- высота дома (от средней планировочной отметки до верха карниза) $H=15$ м;
- коэфф. учета влияния встречного теплового потока в конструкциях $k=0,8$;
- нормативная воздухопроницаемость G_H :
окон и балконных дверей: $6,0$ кг/(м²·ч);
наружных стен: $0,5$ кг/(м²·ч);
- общая площадь окон $A_1 = 8,15$ м²;
- общая площадь стен $A_2 = 31,9$ м²;
- площадь щелей (щели в окнах заклеены, дверь закрывается плотно) $A_3 = 0$;
- длина стыков стеновых панелей (дом кирпичный) $l = 0$;
- удельные веса наружного и внутреннего воздуха (по формуле (2.8*)):

$$\gamma_H = \frac{3463}{273 - 24} = 13,9 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_B = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82 \text{ Н/м}^3;$$

- сопротивление воздухопроницанию для окон и балконных дверей (по формуле (2.9)): $R_u = 3,8$ м²·ч·Па/кг;
- общая площадь квартиры по паспорту $S_{\text{кв}} = 46$ м²;
- плотность воздуха в помещении $\rho_B = 1,21$ кг/м³;

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций определим по формуле (2.8):

$$\Delta p_i = 36,6 \text{ Па.}$$

Расход инфильтрующегося в помещение воздуха находим по формуле (2.7):

$$G_i = 0,026 \text{ кг/ч.}$$

Расчет по формуле (2.6) дает:

$$Q_{\text{инф1}} = 158 \text{ Вт.}$$

Расчет инфильтрации воздуха по формуле (2.10):

$$Q_{\text{инф2}} = 0,28 \cdot \frac{3 \cdot 46}{3600} \cdot 1,21 \cdot 1000 \cdot (20 - (-24)) \cdot 0,8 = 457 \text{ Вт.}$$

Инфильтрация воздуха принимается большему из значений:

$$Q_{\text{инф2}} > Q_{\text{инф1}}, \text{ поэтому } Q_{\text{инф}} = 457 \text{ Вт.}$$

Теплоотдача от бытовых приборов

Таблица 17.4

Типы электроприборов, время их работы, теплоотдача

№	Тип прибора	Мощность, Вт	Кол-во	Коэфф. преобраз.	Время работы %	Вт
1	Лампа	60	5	0,85	0,06	15,9
2	Люминисцентная лампа	60	1	0,2	0,04	0,50
3	Светодиодная лампа	17	5	0,2	0,13	2,13
4	Холодильник	100	1	0,65	0,17	10,83
5	Компьютер	750	1	0,7	0,21	109,38
7	Монитор	17	1	0,5	0,02	0,18
8	Плита газовая	8800	1	0,95	0,08	348,33
Итого						487

Теплоотдача от людей

Используем данные:

- подвижность воздуха в помещении $V_b = 0,12 \text{ м/с}$;
- коэффициент интенсивности физической нагрузки $\beta_1 = 1,0$;
- коэффициент утепленности одежды $\beta_2 = 1,0$;
- количество человек в помещении: 2;
- время пребывания в помещении 12 ч/сут;

Расчет по формуле (2.17) дает:

$$Q_{\text{ч}} = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (2,16 + 8,77\sqrt{0,1}) \cdot (35 - 20) \cdot 0,5 = 90 \text{ Вт.}$$

Расчет системы отопления:

Общая тепловая потребность квартиры (по формуле (2.11)):

$$Q_{\text{потр}} = 2415 + 457 - 487 - 90 = 2295 \text{ Вт.}$$

Для реализации установленной потребности (2295 Вт.) рассмотрим приток теплоты за счет системы отопления, исходя из условий стационарного режима работы. В доме установлена однотрубная система отопления с верхней разводкой.

Найдем теплоотдачу с 1 экм. по формуле (2.13) для спуска. Система подачи теплоносителя в радиаторы – однотрубная, верхняя. При входе в стояк на подъеме вода имеет температуру, 95°C. Так как падение температуры на одном этаже, не должно превышать 5°C, то зададим падение температуры на этаже в стояке (при подъеме воды) 1°C, падение на радиаторе (при спуске воды) 5°C (тогда $t_{вх} = 70^\circ\text{C}$, $t_{вых} = 65^\circ\text{C}$).

Поскольку экспериментально установлена температура нагревательных приборов равная 57°C, расчет проводится исходя из этой температуры, поэтому:

$$q_0 = (4,815 + 0,03 \cdot (57 - 20)) \cdot (57 - 20) = 222 \text{ Вт.}$$

Тогда теплоотдача от подводящих труб вычисляется по формуле (2.14):

$$Q_{\text{подв}} = \sum f_0 \cdot q_0 \cdot L \cdot \beta_{\text{тр}},$$

где $\beta_{\text{тр}}$ - поправочный коэффициент на статус подводящих трубопроводов и равен:

- а) 0,5 - для стояков;
- б) 0,9 - для подводок к радиаторам;
- L - длина отдельных участков, м.

Таблица 17.5

Теплоотдача от подводящих труб

Помещение по плану	Диаметр подводящих труб, м	Площадь 1 м неизолир. участка трубопровода, экм	Типы участ-ков подводящих труб	Длина по участкам, м	Теплоотдача от труб $Q_{\text{подв } i}$, Вт	Сумма по помещениям $Q_{\text{подв}}$, Вт
I	0,03	0,19	Стояк	2,51	95,3	377
			подводка	2*0,15	6,3	
II			Стояк	2,51	95,3	
			подводка	2*0,10	4,2	
III			Стояк	2,51	95,3	
			подводка	2*0,10	4,2	
Ванная комната, змеевик			Стояк	2,0	75,9	

Для гладкотрубного змеевика площадь поверхности нагрева в экм. для 1 м² при его диаметре $D = 50$ мм равна $f_0 = 1,6$ экм. Змеевик состоит из четырех “ниток”, длина каждой из них $L_{нт} = 0,35$ м. Отсюда:

$$F_0 = 4 \cdot \pi \cdot D \cdot L_{нт} \cdot f_0 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,35 \cdot 1,6 = 0,35 \text{ экм.}$$

По формуле (2.15) находим теплоотдачу со змеевика:

$$Q_{зм} = \frac{222 \cdot 0,35}{1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,14 \cdot 1,0} \approx 72 \text{ Вт.}$$

Полагая, что змеевик-сушилка в ванной установлен заранее, будем включать его в уже имеющиеся источники тепла и считать его теплоотдачу равной $Q_{зм}$. Тогда, с учетом всего, требуемая теплоотдача нагревательных приборов равна (формула (2.12*)):

$$Q_{рад}^T = Q_{потр} - Q_{подв} = 2295 - (377 + 72) = 1846 \text{ Вт.}$$

Теплоотдача радиаторов чугунных секционных типа М-140 при температуре воздуха в помещении $t_p = 20^\circ\text{C}$, при температурах воды в магистралях на входе 57°C в зависимости от количества секций указана в таблице таблица 17.6.

Таблица 17.6

Теплоотдача с радиаторов действительная

Число секций	Площадь прибора, м ²	Площадь прибора, экм	Теплоотдача действительная $Q_{рад,i}^D$, Вт
3x10	2,44	3,6	860

Полная действительная теплоотдача от радиаторов, установленных в квартире:

$$Q_{рад}^D = 3 \cdot 860 = 2580 \text{ Вт.}$$

Превышение действительной теплоотдачи радиаторов над требуемой:

$$Q_{прев} = 2580 - 1846 = 734 \text{ Вт.}$$

Оценка удельной тепловой характеристики квартиры

Используем данные:

- объем квартиры по внешнему обмеру при площади по внешнему обмеру $S_{внеш} = 46,68$ м², толщине пола $\delta_n = 0,3$ м, высоте потолка $h=2,51$ м равен:

$$V_{кв} = 46,68 \cdot (2,51 + 0,3) = 131,16 \text{ м}^3;$$

- теплопотери через наружные ограждения:

$$Q_{кв} = 2415 + 457 = 2872 \text{ Вт.}$$

По формуле (2.18) получим:

$$q = \frac{2872}{131,16 \cdot (20 - (-26))} \approx 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{K}).$$

Это значит, что на 1 м³ объема квартиры при перепаде температур на внутренней и наружной поверхностях ограждений в 1°С приходится в среднем 0.5 Вт теплопотерь.

Расчет годовых затрат теплоты

Исходя из данных теоретической части и вычисленных величин, находим установочную тепловую мощность системы отопления (формула (2.20)):

$$Q_{от} = 1,07 \cdot 0,5 \cdot 117,15 \cdot (20 - (-26)) \approx 2745 \text{ Вт.}$$

По формуле (2.19) рассчитаем необходимые годовые затраты теплоты и, исходя из стоимости 1 Гкал \approx 1541 руб., найдем денежные затраты:

$$Q_{от.год}^T = 24 \cdot 3600 \cdot \frac{2745}{20 - (-26)} \cdot (20 - (-2,2)) \cdot 219 = 26,21 \text{ ГДж} \\ = 6,03 \text{ Гкал (9287,89 руб., в месяц 1326,84 руб.)}$$

Действительные годовые затраты теплоты (суммарная мощность отопительной системы):

$$Q_{от.год}^T = 24 \cdot 3600 \cdot \frac{3029}{20 - (-26)} \cdot (20 - (-2,2)) \cdot 219 = 28,92 \text{ ГДж} \\ = 6,65 \text{ Гкал (10249,41 руб., в месяц 1464,20 руб.)}$$

Мероприятия по энергоресурсосбережению

Снятие с эксплуатации излишнего количества секций чугунных секционных радиаторов.

Превышение действительной теплоотдачи радиаторов над требуемой по расчету составляет 734 Вт. Превышение площади теплоотдающей поверхности нагревательного прибора в экм над требуемой составит:

$$F = 734 \cdot 1,03 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 1,0 / 222 = 3,08 \text{ экм.}$$

Это соответствует в квартире

$$n = 3.08 / 0.36 \approx 9 \text{ секций.}$$

Учитывая по укрупненной методике дополнительные теплопотери (0.07% от основных) получаем, что снимать с эксплуатации следует не более 7 секций.

Выводы по работе

1. Теплопотери квартиры при температуре воздуха в помещениях 20°С, снаружи - 24°С (зимний период, влажный климат) составляют:

- через ограждения посредством теплопроводности 2415 Вт;
- посредством инфильтрации 457 Вт;
- суммарно 2872 Вт.

2. Теплопотребность квартиры (требуемая мощность системы отопления) составляет:

- без учета подводящих трубопроводов и змеевика-сушилки 2295 Вт;
- с учетом подводящих трубопроводов и змеевика-сушилки 1846 Вт.

- Действительная теплоотдача с радиаторов 2580 Вт.
- 3. Удельная тепловая характеристика квартиры 0,5 Вт/(м³·К)
- 4. Годовые затраты теплоты:
 - требуемые 6,03 Гкал (9287,89 руб.);
 - действительные 6,65 Гкал (10249,41 руб.).
- 5. Мероприятия по энергосбережению:
 - снятие с эксплуатации в квартире 7секций чугунных секционных радиаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»
2. СНиП 31-02-2001 «Дома жилые многоквартирные»
3. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»
4. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»
5. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»
6. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»
7. СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий»
8. СНиП 41-01 -2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
9. СНиП 23.01-99* «Строительная климатология»
10. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника»
11. Богословский В.Н. и др. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов / В. Н. Богословский, В. П. Щеглов, Н. Н. Разумов. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 295 с.
12. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учебник для вузов. - М.:Стройиздат, 1991. – 735 с.
13. СНиП 2.04.08- 87 «Газоснабжение»

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Начало теплофизической научной школы в университете было положено организацией в 1938 году кафедры приборов теплосилового контроля, заведующим которой стал профессор, доктор технических наук Г.М.Кондратьев (1887-1958). В 1954 году вышла в свет его монография «Регулярный тепловой режим». Изложенные в ней идеи впоследствии были успешно применены в различных областях, например, при создании нового типа приборов для исследования теплофизических свойств веществ и параметров теплообмена. В начале 50-х годов началась разработка методов теплового расчета радиоэлектронных устройств, а в дальнейшем и других приборов – оптических, оптико-электронных, гироскопических. Серия этих работ была выполнена под руководством Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, профессора, доктора технических наук Дульнева Г.Н., возглавлявшего кафедру с 1958 года по 1995 год. В результате был создан новый математический аппарат анализа теплового режима сложных технических систем и приборов, разработаны методы проектирования приборов с заданным тепловым режимом. Комплекс этих работ признается и в нашей стране, и за рубежом как новое научное направление в теплофизике. Кафедра приборов теплосилового контроля за свою многолетнюю историю не раз изменяла свое название. Так, с 1947 года она именовалась кафедрой тепловых и контрольно-измерительных приборов, с 1965 года – кафедрой теплофизики, с 1991 года – кафедрой компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга. Однако основным направлением ее научной и педагогической деятельности оставалось применение учения о теплообмене в физике и приборостроении. С 1995 года заведующим кафедрой является профессор, доктор технических наук А.В.Шарков.

Многолетняя деятельность кафедры привела к созданию научной и педагогической школы теплофизиков-приборостроителей, из которой вышли

доктора наук А.Н.Гордов, А.И.Лазарев, Г.Н.Дульнев, Б.Н.Олейник, Е.С.Платунов, Н.А.Ярышев, В.Н.Васильев, Ю.П.Заричняк, А.В.Шарков Н.В. Пилипенко и другие ученые-теплофизики.

Сотрудники кафедры принимали участие в разработке нового поколения вычислительных машин, исследовании термооптических явлений в космических комплексах, в реализации международных программ космических исследований. Так, предложенные на кафедре методы были использованы при проектировании телевизионных камер космических аппаратов в проекте «ВЕГА», при создании лазерного устройства в проекте «ФОБОС». Возможности разработанных на кафедре методов математического моделирования тепловых процессов в сложных системах и технике теплофизического эксперимента были продемонстрированы при анализе процессов теплообмена в организме человека; при создании электрогенераторов, работа которых использует явления сверхпроводимости; при создании оригинальных образцов оборонной, медицинской и измерительной техники.

В рамках традиционных направлений развиваются работы по созданию методов и приборов для измерения температуры, тепловых потоков, теплофизических свойств веществ, исследования коэффициентов переноса в неоднородных средах, а также работы по созданию принципиально новых композиционных материалов – особо прочных, термостойких, теплоизоляционных и т.д.

В последние годы наряду с традиционными научными направлениями появился ряд новых направлений, связанных с экологическим мониторингом, энергосберегающими технологиями, биологией и медицинским теплофизическим приборостроением. На базе ведущихся на кафедре научных исследований осуществляется обучение молодых специалистов, первый выпуск которых по специальности «Теплофизика» состоялся в 1969 году. В 1998 году кафедра получила также право обучения по новому для нашего университета направлению – «Техническая физика». В июне 1998 года состоялся первый выпуск бакалавров, а в 2000 году – магистров.

На кафедре ведется подготовка научных кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по специальностям 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и 05.11.01 «Приборы и методы измерения тепловых величин». Сейчас коллектив кафедры продолжает развитие как ставших уже традиционными научных направлений и направлений подготовки специалистов, так и ведет поиск в новых областях науки и техники.

Николай Васильевич Пилипенко

Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49