

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»



Л. М. Парфёнова

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Методические указания  
по выполнению раздела дипломного проекта  
для студентов специальностей  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
1-70 02 71 «Промышленное и гражданское строительство»,  
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет

2022

Об издании – [1](#), [2](#)

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 620.97(075.8)

Рекомендовано к изданию  
методической комиссией инженерно-строительного факультета  
в качестве методических указаний  
(протокол № 2 от 30.03.2022 г.)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., декан инженерно-строительного факультета  
Полоцкого государственного университета *А. А. БАКАТОВИЧ*;  
канд. техн. наук, доц., доц. каф. теплогазоснабжения и вентиляции По-  
лоцкого государственного университета *С. И. ПИВОВАРОВА*

Приведены указания по структуре, выполнению и оформлению пояснительной записки раздела «Энергетическая эффективность» дипломного проекта.

© Парфёнова Л. М. 2022  
© Полоцкий государственный университет, 2022

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Энергетическая эффективность. Методические указания по выполнению раздела дипломного проекта для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 71 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» Л. М. Парфёновой использованы текстовый процессор Microsoft Office Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**Технические требования:**

1 оптический диск.

**Системные требования:**

PC с процессором не ниже Core 2 Duo;  
2 Gb RAM; свободное место на HDD 1,5 Mb;  
Windows XP/7/8/8.1/10  
привод CD-ROM/DVD-ROM;  
мышь.

Редактор С. Е. Рясова

---

Подписано к использованию 27.10.2022.

Объем издания: 1,4 Мб. Заказ 375.

---

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

211440, Ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ .....	7
Пример 1. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены .....	14
Пример 2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия .....	17
Пример 3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом .....	20
2. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ .....	23
2.1. Расчетные условия .....	24
2.2. Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания .....	25
2.3. Геометрические показатели здания .....	26
2.4. Теплотехнические показатели здания .....	29
2.5. Энергетические показатели здания .....	33
2.6. Комплексные показатели. Класс энергоэффективности здания .....	42
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	46

## ВВЕДЕНИЕ

В дипломном проекте обязательно наличие раздела «Энергетическая эффективность». В разделе должны быть представлены расчеты теплотехнических показателей и энергетических показателей, определен класс энергоэффективности здания.

**Энергетическая эффективность здания** – уровень потребления энергии, необходимой при эксплуатации здания согласно его назначению и выраженный классом энергетической эффективности здания, установленным в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов.

**Класс энергетической эффективности здания** – классификационная характеристика энергетической эффективности здания, определяемая интервалом значений удельных энергетических характеристик здания.

При расчете теплотехнических показателей определяется приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (наружных стен, чердачного перекрытия или покрытия, перекрытия над техническим подпольем или подвалом). При расчете энергетических показателей в дипломном проекте определяется удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

**Удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период** – количество тепловой энергии за отопительный период, необходимое для компенсации тепловых потерь здания с учетом воздухообмена и тепловыделений при нормируемых параметрах теплового и воздушного режимов помещений в здании, отнесенное к единице отапливаемой площади или отапливаемого объема здания.

Теплотехнические и энергетические показатели должны быть сопоставлены с нормативными значениями, которые установлены техническими нормативными правовыми актами по энергосбережению [1–4]. Определяется класс энергоэффективности здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

В соответствии с действующими нормативными документами энергетическая эффективность здания характеризуется одним из восьми классов: А+, А, В, С, D, E, F, G. Согласно СН 2.04.02-2020 [1] при разработке проектной документации на вновь возводимые и реконструируемые жилые здания устанавливаются классы А+, А, В по показателю удельного расхода энергии

на отопление и вентиляцию за отопительный период. Проектирование вновь возводимых и реконструируемых жилых зданий классов С, D, E, F, G по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период не допускается.

## 1. РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ограждающие конструкции проектируемых в дипломном проекте зданий должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при оптимальном энергопотреблении.

Из-за наличия узлов сопряжения со смежными конструкциями, теплопроводных включений и изменений геометрии сечения ограждающие конструкции являются теплотехнически неоднородными. Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции рассчитывают одним из трех методов:

- упрощенным;
- с применением справочных значений удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности;
- детальным.

При разработке дипломного проекта допускается использование упрощенного метода расчета. Запроектированная конструкция наружной ограждающей конструкции должна иметь значение приведенного сопротивления теплопередаче не ниже нормативного значения.

Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для всех типов зданий приведены в таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1]. Фрагмент таблицы 7.1 СН 2.04.02-2020 [1] с нормативными значениями приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для жилых и общественных зданий, бытовых и административных зданий производственных предприятий, производственных зданий при строительстве, реконструкции, модернизации приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий (фрагмент таблицы 7.1 СН 2.04.02-2020 [1])

Ограждающие конструкции	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}$ , $м^2 \cdot °C/Вт$
1	2
<i>Жилые и общественные здания, бытовые и административные здания производственных предприятий</i>	
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	6,0

Окончание таблицы 1.1

1	2
Заполнения световых проемов	1,0
Перекрытия над техническими подпольями, неотапливаемыми подвальными и цокольными этажами, ограждающие конструкции технических подполий, перекрытия встроенных и встроенно-пристроенных тамбуров	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещений первого этажа не более 0,8 °С и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающие конструкции теплых чердаков	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой потолка и температурой воздуха помещений последнего этажа не более 0,8 °С и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
<i>Производственные здания</i>	
Наружные стены зданий	2,0
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	3,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, исходя из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа не более 2 °С
Заполнения световых проемов	0,6

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций упрощенным методом нормативное значение определяют умножением базового значения приведенного сопротивления теплопередаче, указанного в таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1], на повышающий коэффициент, значения которого указаны в таблице 6.1 СП 2.04.01-2020 [2].

Таблица 1.2. – Повышающий коэффициент нормативного значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий (таблица 6.1 СП 2.04.01-2020 [2])

Тип ограждающей конструкции	Повышающий коэффициент
1	2
Утепление снаружи с теплоизоляционным слоем по основанию из:	
– железобетона	1,9

Окончание таблицы 1.2

1	2
– полнотелого кирпича, пустотелого кирпича	1,84
– ячеистобетонных и керамзитобетонных блоков	1,90
Однослойные из кладочных изделий:	
– ячеистобетонных блоков	1,40
– керамзитобетонных блоков	1,25
– керамических поризованных пустотелых блоков	1,28
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	1,1

В упрощенном методе ограждающую конструкцию условно представляют в виде плоской теплотехнически однородной конструкции, состоящей из одной или нескольких частей с различными слоями. Значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{пр}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , состоящей из нескольких частей с различными слоями конструкции, определяют по формуле А.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{пр} = \frac{\sum_i A_i}{\sum_i \frac{A_i}{R_{0i}}}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – площадь  $i$ -й части ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ,  $i = 1 \dots n$ ;

$R_{0i}$  – сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной  $i$ -й части ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Формулу (1) применяют в случае нескольких конструктивных решений для ограждающих конструкций, примерно равных или незначительно отличающихся по площади частей. В остальных случаях в качестве значения  $R_{пр}$  принимают значение  $R_{0i}$ , которое соответствует конструктивному решению большей части конструкции.

Сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной  $i$ -й части ограждающей конструкции  $R_{0i}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяют по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_n R_{кн} + \frac{1}{\alpha_{н}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , определяемый по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для холодного периода года, Вт / (м<sup>2</sup> · °С), определяемый по таблице А.1 СП 2.04.01-2020 [2];

$R_{k_n}$  – термическое сопротивление слоя теплотехнически однородного участка ограждающей конструкции, м<sup>2</sup> · °С/Вт.

Таблица 1.3. – Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности (таблица 6.4 СП 2.04.01-2020 [2])

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{в}$ , Вт / (м <sup>2</sup> · °С)
Стены, полы, гладкие потолки, потолки с выступающими ребрами при отношении высоты ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a < 0,3$	8,7
Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6

Таблица 1.4. – Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (таблица А.1 СП 2.04.01-2020 [2])

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_n$ , Вт / (м <sup>2</sup> · °С)
Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами	23
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом	17
Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружные стены с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Термическое сопротивление слоя теплотехнически однородного участка ограждающей конструкции  $R_{k_n}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяют по формуле А.3 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{k_n} = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (3)$$

где  $\delta_n$  – толщина  $n$ -го слоя материала, м;

$\lambda_n$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала  $n$ -го слоя конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя ограждающей конструкции  $\lambda_n$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ , принимают в соответствии с приложением Д СП 2.04.01-2020 [2].

Значения эквивалентного коэффициента теплопроводности кладок из стеновых блоков ячеистого бетона с учетом растворных швов допускается принимать по таблице А.2 СП 2.04.01-2020 [2].

Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций жилых, общественных, административных и бытовых зданий и сооружений принимают по таблице 1.5 (таблица 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]).

Таблица 1.5. – Расчетные параметры воздуха в помещениях (таблица 5.1 СП 2.04.01-2020 [2])

Здания, помещения	Расчетная температура воздуха $t_{int}$ , °C	Относительная влажность воздуха $\Phi_B$ , %
1. Жилые здания (жилые помещения, кроме подсобных помещений)	18	55
2. Общественные здания (кроме указанных в поз. 3 и 5 помещений с влажным и мокрым режимами), в том числе административные и бытовые здания производственных предприятий	18	50
3. Здания дошкольных и детских лечебных учреждений	21	50
4. Залы ванн бассейнов	27	67
5. Административные и бытовые здания	18	50

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций здания в зимний период принимают по таблице 1.6 в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха (таблица 5.2 СП 2.04.01-2020 [2]).

Таблица 1.6. – Условия эксплуатации ограждающих конструкций (таблица 5.2 СП 2.04.01-2020 [2])

Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре $t_{int}$			Режим помещений	Условия эксплуатации ограждающих конструкций
до 12 °С включительно	свыше 12 °С до 24 °С включительно	свыше 24 °С		
До 60 включительно	До 50 включительно	До 40 включительно	Сухой	А
Св. 60 " 75 "	Св. 50 " 60 "	Св. 40 " 50 "	Нормальный	Б
" 75	" 60 " 75 "	" 50 " 60 "	Влажный	Б
	" 75	" 60	Мокрый	Б

*Примечание.* – Внутренние ограждающие конструкции, чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями помещений с нормальным влажностным режимом следует рассчитывать для условий эксплуатации ограждающих конструкций А.

При использовании легкой штукатурной системы утепления согласно п. 7.3.6 СП 3.02.01-2020 [3] приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{пр}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , определяют с учетом влияния анкерных устройств как теплопроводных включений.

Теплотехнический расчет перекрытия над техническими подпольями, неотапливаемыми подвальными и цокольными этажами, ограждающих конструкций технических подполий, перекрытия встроенных и встроенно-пристроенных тамбуров, перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающих конструкций теплых чердаков выполняют из условия соблюдения требуемого перепада температур внутреннего воздуха в помещениях первого (последнего) этажей зданий и внутренней поверхности конструкций этих помещений.

Минимальное значение нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{T \min}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , для таких конструкций определяют по формуле 6.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{T \min} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху. Принимают по таблице 6.2 СП 2.04.01-2020 [2];

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха в эксплуатируемых помещениях,  $\text{°C}$ . Принимают в соответствии с п. 5.1 СП 2.04.01-2020 [2];

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года,  $\text{°C}$ . Принимают по таблице 6.3 СП 2.04.01-2020 [2];

$\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ . Принимают по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2];

$\Delta t_{\text{в}}$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{°C}$ . Принимают по таблице 6.5 СП 2.04.01-2020 [2].

Расчетный перепад температуры воздуха помещений первого (последнего) этажа и поверхности конструкций (покрытия пола для первого этажа или потолка для последнего этажа) определяется по формуле (К.5) СП 2.04.01-2020 [2]:

$$\Delta t_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{п}}}{\alpha_{\text{в}} R_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{п}}$  – температура воздуха в техническом подполье, неотапливаемом подвале, теплом чердаке,  $\text{°C}$ ;

$R_{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче, перекрытия между техническим подпольем, неотапливаемым подвалом и первым этажом или перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Температура воздуха в техническом подполье (неотапливаемом подвале)  $t_{\text{п}}$ ,  $\text{°C}$ , определяется на основе решения уравнения теплового баланса по формуле К.1 СП 2.04.01-2020 [2], учитывающего тепlopоступления от изолированных транзитных трубопроводов системы отопления и горячего

водоснабжения, утепление наружных стен и перекрытий цокольного этажа. В дипломном проекте допускается принимать температуру внутреннего воздуха в техническом подполье (неотапливаемом подвале)  $t_n = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура воздуха на чердаке  $t_n$ ,  $^\circ\text{C}$ , определяется на основе решения уравнения теплового баланса по формуле Л.1 СП 2.04.01-2020 [2], учитывающего тепlopоступления от вытяжного воздуха системы вентиляции, инженерных коммуникаций, теплообмен между ограждающими конструкциями чердака и окружающей средой, между чердачным перекрытием и помещениями последнего этажа. В дипломном проекте допускается принимать температуру внутреннего воздуха на чердаке  $t_n = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Пример 1. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены**

*Исходные данные:*

- назначение: 9-этажный жилой дом в г. Минске;
- размещение в застройке: меридиональная ориентация фасадов;
- тип: стеновая конструктивная система;
- конструктивное решение: наружные стены из кирпича керамического, толщиной 510 мм.

*Расчетные условия:*

1. Расчетную температуру внутреннего воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ .
2. Относительную влажность воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\varphi_B = 55\%$ .
3. Условия эксплуатации ограждающих конструкций принимаем по таблице 5.2 СП 2.04.01-2020 [2]: Б.

Расчетный коэффициент теплопроводности материала каждого слоя наружной стены  $\lambda_n$ , Вт/(м· $^\circ\text{C}$ ), принимаем по приложению Д СП 2.04.01-2020 [2] для условий эксплуатации ограждающих конструкций Б. Характеристики материалов слоев наружной стены приведены в таблице П 1.1.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции принимаем по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ .

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий принимаем по таблице А.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ .

Таблица П 1.1. – Характеристики материалов слоев наружной стены

Номер слоя	Материал слоев наружной стены	Толщина слоя $\delta_n$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности материала $\lambda_n$ , Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление слоя $R_{k_n}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
1	Кирпичная кладка из кирпича керамического рядового условно-эффективного	0,51	1400	0,69	0,739
2	Цементно-известковая штукатурка	0,02	1800	0,93	0,022

Определяем значение сопротивления теплопередаче наружной стены  $R_{0i}$  по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_n R_{k_n} + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,69} + \frac{1}{23} = 0,919 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Нормативное значение сопротивления теплопередаче наружных стен принимаем по таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1]:  $R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$

Расчетное сопротивление теплопередаче  $R_{0i} = 0,919 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$  меньше нормативного значения  $R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , следовательно наружная стена требует утепления.

При расчете упрощенным методом нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен из кирпича при утеплении теплоизоляционным слоем снаружи принимаем с учетом повышающего коэффициента по таблице 6.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{пр} = 3,2 \cdot 1,84 = 5,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

Принимаем для утепления наружных стен легкую штукатурную систему с применением негорючих плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12. Плиты производятся следующих размеров: длина – 1000 мм, 1200 мм; ширина – 600 мм, 1000 мм; толщина – от 50 до 160 мм с шагом 10 мм. Физико-механические характеристики плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12 приведены в таблице П 1.2.

Таблица П 1.2. – Физико-механические характеристики плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12

Наименование показателя	Значение показателя
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	135
Теплопроводность при условиях эксплуатации А, Вт/м·К	0,0420
Теплопроводность при условиях эксплуатации Б, Вт/м·К	0,0437
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, кПа, не менее	40
Предел прочности при изгибе, кПа, не менее	100
Паропроницаемость, мг/(м·г·Па)	0,493
Влажность, %, не более	0,5
Горючесть, класс	НГ

Для расчетов принимаем значение термического сопротивления теплоизоляционного слоя  $R_{k_n}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, как разность нормативного значения приведенного сопротивления теплопередаче и расчетного сопротивления теплопередаче наружной стены без утепления:

$$R_{k_n} = 5,89 - 0,919 = 4,971 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Термическое сопротивление слоя теплотехнически однородного участка ограждающей конструкции  $R_{k_n}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяем по формуле А.3 СП 2.04.01-2020 [2]. Преобразовав формулу А.3, рассчитываем толщину теплоизоляционного слоя:

$$\delta_n = R_{k_n} \lambda_n = 4,971 \cdot 0,0437 = 0,217 \text{ м.}$$

Принимаем толщину теплоизоляционного слоя кратно 10 мм – 220 мм. Так как максимальная толщина плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12 составляет 160 мм, теплоизоляционный слой будет выполнен в два слоя из плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12 толщиной соответственно 110 и 110 мм.

Определяем значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены с утеплением  $R_{np}$  по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{np} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_n R_{k_n} + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{0,0437} + \frac{0,51}{0,69} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} = 5,953 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены с утеплением легкой штукатурной системой с теплоизоляционным слоем 220 мм из плит «БЕЛТЕП» марки ФАСАД 12 составляет  $5,953 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , что выше нормативного приведенного сопротивления теплопередаче  $5,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , следовательно конструкция наружной стены запроектирована в соответствии с требованиями СН 2.04.02-2020 [1], СП 2.04.01-2020 [2], СП 3.02.01-2020 [3].

### **Пример 2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия**

*Исходные данные:*

- назначение: 9-этажный жилой дом в г. Минске;
- конструктивное решение: 2-слойная рулонная кровля по железобетонному покрытию.

*Расчетные условия:*

1. Расчетную температуру внутреннего воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $t_{int} = 18 \text{ °C}$ .

2. Относительную влажность воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\varphi_b = 55\%$ .

3. Условия эксплуатации ограждающих конструкций принимаем по таблице 5.2 СП 2.04.01-2020 [2]: Б.

Расчетный коэффициент теплопроводности материала каждого слоя кровельного покрытия  $\lambda_n$ , Вт/(м·°C), принимаем по приложению Д СП 2.04.01-2020 [2] для условий эксплуатации ограждающих конструкций Б. Характеристики материалов слоев кровельного покрытия приведены в таблице П 2.1.

Таблица П 2.1. – Характеристики материалов слоев кровельного покрытия

Номер слоя	Материал слоев кровельного покрытия	Толщина слоя $\delta_n$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности материала $\lambda_n$ , Вт/(м·°C)	Термическое сопротивление слоя $R_{k_n}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт
1	2	3	4	5	6
1	Верхний слой водоизоляционного ковра К-СТ-БЭ-К/ПП	0,005	1200	0,22	0,023
2	Нижний слой водоизоляционного ковра К-СТ-БЭ-ПП/ПП	0,004	1000	0,17	0,024

Окончание таблицы П 2.1

1	2	3	4	5	6
3	Стяжка из цементно-песчаного раствора	0,03	1800	0,93	0,032
4	Теплоизоляционный слой	определяется расчетом	по данным производителя	по данным производителя	определяется расчетом
5	Керамзитобетон	0,05	600	0,16	0,313
6	Железобетонная плита покрытия	0,22	2500	2,04	0,108

*Примечание.* – Пароизоляционный слой в расчете не учитывается.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции принимаем по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий принимаем по таблице А.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_{н} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Определяем значение сопротивления теплопередаче покрытия  $R_{0i}$  без теплоизоляционного слоя по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_n R_{k_n} + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,22} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,05}{0,16} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{1}{23} = 0,657 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия принимаем по таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1]:  $R_{т.норм} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

При расчете упрощенным методом нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия принимаем с учетом повышающего коэффициента по таблице 6.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{пр} = 6,0 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Принимаем для утепления покрытия экструзионный пенополистирол ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF СТО 72746455-3.3.1-2012.

Плиты производятся следующих размеров: длина – 1180 мм; ширина – 580 мм; толщина – от 40 до 120 мм с шагом 10 мм. Физико-механические характеристики плит CARBON PROF приведены в таблице П 2.2.

Таблица П 2.2. – Физико-механические характеристики плит CARBON PROF ТЕХНОНИКОЛЬ

Наименование показателя	Значение показателя
Теплопроводность при условиях эксплуатации А, Б, Вт/м·К	0,032
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, кПа, не менее	200
Паропроницаемость, мг/(м·г·Па)	0,014
Водопоглощение по объему, %, не более	0,2
Горючесть, класс	Г4

Для расчетов принимаем значение термического сопротивления теплоизоляционного слоя  $R_{кн}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , как разность нормативного значения сопротивления теплопередаче и расчетного сопротивления теплопередаче покрытия:

$$R_{кн} = 6,6 - 0,657 = 5,943 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление слоя теплотехнически однородного участка ограждающей конструкции  $R_{кн}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяем по формуле А.3 СП 2.04.01-2020 [2]. Преобразовав формулу А.3, рассчитываем толщину теплоизоляционного слоя покрытия:

$$\delta_n = R_{кн} \lambda_n = 5,943 \cdot 0,032 = 0,190 \text{ м}.$$

Толщина теплоизоляционного слоя по расчету кратно 10 мм составляет 190 мм. Плиты CARBON PROF изготавливают толщиной 40, 50, 60, 80, 100, 120 мм. Таким образом, теплоизоляционный слой может быть сформирован в два слоя из плит толщиной соответственно 100 и 100 мм. Окончательно принимаем толщину теплоизоляционного слоя 200 мм.

Определяем значение приведенного сопротивления теплопередаче покрытия с утеплением  $R_{пр}$  по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{пр} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_n R_{кн} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,22} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,2}{0,032} + \frac{0,05}{0,16} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{1}{23} = 6,907 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Значение приведенного сопротивления теплопередаче покрытия с теплоизоляционным слоем 200 мм из плит CARBON PROF ТЕХНОНИКОЛЬ составляет 6,907 м<sup>2</sup>·°С/Вт, что выше нормативного приведенного сопротивления теплопередаче 6,6 м<sup>2</sup>·°С/Вт, следовательно конструкция покрытия запроектирована в соответствии с требованиями СП 3.02.01-2020 [3], СП 2.04.01-2020 [2], СН 2.04.02-2020 [1].

### **Пример 3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом**

*Исходные данные:*

- назначение: 9-этажный жилой дом в г. Минске;
- конструктивное решение: покрытие пола из линолеума.

*Расчетные условия:*

1. Расчетную температуру внутреннего воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $t_{int} = 18$  °С.

2. Относительную влажность воздуха принимаем по таблице 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\phi_B = 55\%$ .

3. Условия эксплуатации ограждающих конструкций принимаем по таблице 5.2 СП 2.04.01-2020 [2]: А.

Расчетный коэффициент теплопроводности материала каждого слоя перекрытия над неотапливаемым подвалом  $\lambda_n$ , Вт/(м·°С), принимаем по приложению Д СП 2.04.01-2020 [2] для условий эксплуатации ограждающих конструкций А. Характеристики материалов слоев кровельного покрытия приведены в таблице П 3.1.

Таблица П 3.1. – Характеристики материалов слоев перекрытия над неотапливаемым подвалом

Номер слоя	Материал слоев перекрытия	Толщина слоя $\delta_n$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности материала $\lambda_n$ , Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление слоя $R_{k_n}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
1	2	3	4	5	6
1	Линолеум	0,005	1800	0,38	0,013
2	Стяжка из цементно-песчаного раствора	0,05	1800	0,76	0,066

Окончание таблицы П 3.1

1	2	3	4	5	6
3	Теплоизоляционный слой	определяется расчетом	по данным производителя	по данным производителя	определяется расчетом
4	Железобетонная плита перекрытия	0,22	2500	1,92	0,115

*Примечание.* – Прослойка из холодной мастики в расчете не учитывается.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции принимаем по таблице 6.4 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий принимаем по таблице А.1 СП 2.04.01-2020 [2]:  $\alpha_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Значение сопротивления теплопередаче перекрытия  $R_{0i}$  без теплоизоляционного слоя определяем по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_n R_{k_n} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 0,392 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Минимальное приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{T.min}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяем по формуле 6.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{T.min} = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{\alpha_b \Delta t_b} = \frac{0,75 \cdot (18 - (-24))}{8,7 \cdot 0,8} = 4,53 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

где  $n = 0,75$  (таблица 6.2 СП 2.04.01-2020 [2]);

$t_n = -24 \text{ °C}$  (таблица 6.3 СП 2.04.01-2020 [2]);

$\Delta t_b = 0,8 \text{ °C}$  (таблица 7.1 СН 2.04.02-2020 [1]).

Положительная температура воздуха в неотапливаемом подвале формируется за счет тепlopоступлений от изолированных трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения, утепления наружных стен цокольного этажа. Температуру воздуха в неотапливаемом подвале принимаем  $t_n = 5 \text{ °C}$ .

Выполняем проверку перепада температуры пола и температуры воздуха помещений первого этажа  $R_{T.min}$  по формуле (К. 5) СП 2.04.01-2020 [2]

$$\Delta t_b = \frac{t_b - t_n}{\alpha_b R_{T.min}} = \frac{18 - 5}{8,7} = 0,33 \text{ °C}.$$

Условие  $\Delta t_b \leq 0,8 \text{ °C}$  соблюдается.

Для расчетов принимаем значение нормативного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом  $R_{т. норм} = R_{т. min} = 4,53 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Принимаем для утепления перекрытия пенополистирол ППС-35 СТБ 1437-2004. Плиты производятся следующих размеров: длина – 1000 мм; ширина – 1000 мм; толщина – от 20 до 500 мм с шагом 10 мм. Физико-механические характеристики плит ППС-35 приведены в таблице П 3.2.

Таблица П 3.2. – Физико-механические характеристики плит ППС-35

Наименование показателя	Значение показателя
Теплопроводность при условиях эксплуатации А, Б, Вт/м·К	0,038
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, кПа	не менее 250
Водопоглощение по объему, %	не более 2
Время горения, с	не более 4

Для расчетов принимаем значение термического сопротивления теплоизоляционного слоя  $R_{кн}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , как разность значения нормативного сопротивления теплопередаче и расчетного сопротивления теплопередаче покрытия:

$$R_{кн} = 4,53 - 0,392 = 4,138 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление слоя теплотехнически однородного участка ограждающей конструкции  $R_{кн}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяем по формуле А.3 СП 2.04.01-2020 [2]. Преобразовав формулу А.3, рассчитываем толщину теплоизоляционного слоя перекрытия:

$$\delta_n = R_{кн} \lambda_n = 4,138 \cdot 0,038 = 0,157 \text{ м}.$$

Толщину теплоизоляционного слоя принимаем кратно 10 мм: 160 мм.

Определяем значение приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом с теплоизоляционным слоем  $R_{пр}$  по формуле А.2 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$R_{пр} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_n R_{кн} + \frac{1}{\alpha_H} R_{0i} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_n R_{кн} + \frac{1}{\alpha_H} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,160}{0,038} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 4,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Выполняем проверку перепада температуры пола и температуры воздуха помещений первого этажа при  $R_{пр}$  по формуле (К.5) СП 2.04.01-2020 [2]:

$$\Delta t_{в} = \frac{t_{в} - t_{п}}{\alpha_{в} R_{пр}} = \frac{18 - 5}{8,7 \cdot 4,60} = 0,325 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Условие  $\Delta t_{в} \leq 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  соблюдается, следовательно конструкция перекрытия запроектирована в соответствии с требованиями СП 3.02.01-2020 [3], СП 2.04.01-2020 [2], СН 2.04.02-2020 [1].

## 2. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В соответствии с СН 2.04.02-2020 п. 5 [1] устанавливаются следующие нормируемые показатели энергетической эффективности жилых и общественных зданий, бытовых и административных зданий производственных предприятий:

- 1) теплотехнические показатели:
  - приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций;
  - воздухопроницаемость при стандартном перепаде давления.

*Примечание.* – Для производственных зданий нормируется только приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.

- 2) энергетические показатели:
  - удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;
  - удельный расход энергии на охлаждение и вентиляцию здания за период охлаждения;
  - удельный расход энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения.

С целью оценки поставляемой энергии нетто для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения установлен общий показатель энергетической эффективности (для многоквартирных жилых зданий).

Энергетические показатели нормируются с учетом энергии, получаемой из вторичных и возобновляемых источников, а также с учетом затрат вспомогательной энергии.

В дипломном проекте в разделе «Расчет показателей энергетической эффективности» приводится расчет удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период. Порядок выполнения расчета приведен в п. 2.1–2.6.

## 2.1. Расчетные условия

Расчетные условия, необходимые для определения показателей энергетической эффективности, определяются по СП 2.04.01-2020 [2] и СНБ 2.04.05–2000 [5].

### Пример 4

Для проектируемого 3-секционного 9-этажного жилого дома в г. Минске при определении показателей энергетической эффективности расчетные условия имеют следующие значения:

1) расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{int}$ , °С, принимается с учетом таблицы 5.1 СП 2.04.01-2020 [2]:

$$t_{int} = 18 \text{ °С};$$

2) расчетная температура наружного воздуха  $t_{ext}$ , °С, принимается с учетом таблицы 3.1 (столбец 5) СНБ 2.04.05-2000 [5]:

$$t_{ext} = -24 \text{ °С};$$

3) продолжительность отопительного периода,  $Z_{ht}$ , сут, принимается с учетом таблицы 3.1 СНБ 2.04.05-2000 [5]:

$$Z_{ht} = 198 \text{ сут};$$

4) средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{ht}$ , °С, принимается с учетом таблицы 3.1 СНБ 2.04.05-2000 [5]:

$$t_{ht} = -0,9 \text{ °С};$$

5) градусо-сутки отопительного периода  $D_d$ , °С·сут, определяют по формуле

$$\begin{aligned} D_d &= (t_{int} - t_{ht}) \cdot Z_{ht}, \\ D_d &= (18 - (-0,9)) \cdot 198 = 3742,2 \text{ °С} \cdot \text{сут}. \end{aligned} \quad (6)$$

Показатели расчетных условий приведены в таблице П 4.1.

Таблица П 4.1. – Расчетные условия

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	2	3	4
1. Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{int}$	°С	18

Окончание таблицы П 4.1

1	2	3	4
2. Расчетная температура наружного воздуха	$t_{ext}$	°С	-24
3. Продолжительность отопительного периода	$Z_{ht}$	сут	198
4. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{ht}$	°С	-0,9
5. Градусо-сутки отопительного периода	$D_d$	°С·сут	3742,2

## 2.2. Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

Назначение, размещение в застройке, тип и конструктивное решение проектируемого здания указываются в соответствии с принятыми объемно-планировочными и конструктивными решениями, представленными в архитектурно-строительном разделе дипломного проекта.

Рекомендуемое содержание информации о здании:

- 1) назначение: жилое / общественное / производственное / образовательное учреждение / лечебно-профилактическое учреждение. Если здание жилое, то указывается этажность и секционность здания;
- 2) размещение в застройке: меридиональная ориентация, широтная ориентация, диагональная ориентация;
- 3) тип: каркасное, стеновое;
- 4) конструктивное решение: указывается конструктивное исполнение здания – кирпичное, из газобетонных панелей, монолитное железобетонное, и т. п.

### Пример 5

Таблица П 5.1. – Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

Назначение	3-секционный 9-этажный жилой дом в г. Минске
Размещение в застройке	меридиональная ориентация фасадов
Тип	стенная конструктивная система
Конструктивное решение	кирпичное

### 2.3. Геометрические показатели здания

Геометрические показатели здания определяются по архитектурно-строительным чертежам. К геометрическим показателям зданий относятся: общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания  $A_e^{sum}$ , м<sup>2</sup>; площадь жилых помещений  $A_l$ , м<sup>2</sup>; расчетная площадь (для общественных зданий)  $A_r$ , м<sup>2</sup>; отапливаемый объем  $V_h$ , м<sup>3</sup>; коэффициент остекленности фасада здания  $f$ ; показатель компактности здания  $K_e^{des}$ .

Общую площадь наружных стен  $A_w$ , м<sup>2</sup>, с учетом оконных и дверных проемов определяют как произведение периметра здания по наружной поверхности стен на высоту внутри здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа.

Площадь окон и балконных дверей  $A_f$  и площадь наружных дверей и ворот  $A_{ed}$  определяют по размерам проемов в свету.

Площадь наружных стен  $A_w$  без учета окон и дверей определяют как разность общей площади наружных стен и суммарной площади окон и балконных дверей  $A_f$  и наружных дверей  $A_{ed}$ .

Площадь горизонтальных наружных ограждающих конструкций (покрытия, чердачного и цокольного перекрытий) определяют как площадь этажа здания (в пределах внутренних поверхностей наружных стен). При наклонных поверхностях потолков последнего этажа площадь покрытия (чердачного перекрытия) определяют как площадь внутренней поверхности потолка.

Отапливаемую площадь здания  $A_h$  определяют как площадь этажей здания (в том числе отапливаемых цокольного, подвального и мансардного), измеряемую в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемую перегородками и внутренними стенами. При этом площадь отапливаемых лестничных клеток и лифтовых шахт включают в площадь этажа.

В отапливаемую площадь здания не включают площадь теплых чердаков, неотапливаемых технических этажей, подвалов (подполий), холодных неотапливаемых веранд, неотапливаемых лестничных клеток, а также холодного чердака или его части, не занятой под мансарду.

При определении отапливаемой площади мансардного этажа учитывают площадь, ограниченную высотой до наклонного потолка: 1,2 м – при наклоне 30° к горизонту; 0,8 м – при наклоне от 45° до 60°; при наклоне 60° и более площадь измеряют до наружной стены.

Площадь жилых комнат здания  $A_l$ ,  $m^2$ , определяют как суммарную площадь всех жилых комнат.

Расчетную площадь для общественных зданий  $A_l$ ,  $m^2$ , определяют как сумму площадей всех помещений, за исключением коридоров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт внутренних открытых лестниц и пандусов.

Отапливаемый объем  $V_h$ ,  $m^3$ , определяют как объем пространства, ограниченного внутренними поверхностями наружных и внутренних ограждающих конструкций (например: стен, покрытия (чердачного перекрытия), перекрытия подвала, цокольного этажа или пола по грунту). Отапливаемый объем многоэтажного здания с одинаковым по высоте контуром наружных стен определяют как произведение отапливаемой площади типового этажа на высоту внутри здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа.

Коэффициент остекленности фасада здания  $f$  определяют по формуле

$$f = \frac{A_F}{A_W + A_F + A_{ed}}, \quad (7)$$

где  $A_F$  – площадь заполнений световых проемов (окон, балконных дверей, зенитных фонарей),  $m^2$ ;

$A_W$  – площадь наружных стен,  $m^2$ ;

$A_{ed}$  – площадь наружных дверей и ворот,  $m^2$ .

Расчетный показатель компактности здания  $K_e^{des}$  определяют по формуле 3 СП 2.04.02-2020 [4]

$$K_e^{des} = \frac{A_e^{sum}}{V_h}, \quad (8)$$

где  $A_e^{sum}$  – общая площадь наружных поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) последнего этажа и пола нижнего отапливаемого помещения,  $m^2$ ;

$V_h$  – отапливаемый объем здания, принимаемый равным объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций,  $m^3$ .

Расчетный показатель компактности жилых зданий  $K_e^{des}$  согласно п. 6.2.1.1 СП 2.04.02-2020 [4] рекомендуется принимать не более:

- 0,25 – для зданий высотой 16 этажей и более;
- 0,29 – то же от 10 до 15 этажей включительно;

- 0,32 – " от 6 до 9 этажей включительно;
- 0,36 – " 5 этажей;
- 0,43 – " 4 этажа;
- 0,54 – " 3 этажа;
- 0,61; 0,54; 0,46 – соответственно для двух-, трех- и четырехэтажных блокированных и секционных домов;
- 0,90 – для двух- и одноэтажных домов с мансардой;
- 1,10 – для одноэтажных домов.

### Пример 6

Для проектируемого жилого дома значения геометрических показателей представлены в таблице П 6.1.

Таблица П 6.1. – Геометрические показатели

Наименование показателя	Обозначение и единицы измерения	Нормативное значение	Расчетное проектное значение	Расчетное значение по исполнительной документации
1	2	3	4	5
Общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_e^{sum}, \text{ м}^2$	—	7183,8	
наружных стен	$A_w, \text{ м}^2$	—	4078,4	
окон и балконных дверей	$A_F, \text{ м}^2$	—	876,6	
в том числе ориентированных				
– на восток	$A_{F1}, \text{ м}^2$	—	350,64	
– на запад	$A_{F2}, \text{ м}^2$	—	525,96	
– на юг	$A_{F3}, \text{ м}^2$	—	—	
– на север	$A_{F4}, \text{ м}^2$	—	—	
витражей	$A_F, \text{ м}^2$	—	—	
фонарей	$A_F, \text{ м}^2$	—	—	
наружных дверей и ворот	$A_{ed}, \text{ м}^2$	—	9,8	
покрытий (совмещенных)	$A_c, \text{ м}^2$	—		
чердачных перекрытий (холодного чердака)	$A_c, \text{ м}^2$	—	1109,5	
перекрытий теплых чердаков	$A_c, \text{ м}^2$	—	—	

### Окончание таблицы П 6.1

1	2	3	4	5
перекрытий над техподпольями	$A_f, \text{ м}^2$	—	—	
перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	$A_f, \text{ м}^2$	—	1109,5	
пола по грунту	$A_f, \text{ м}^2$	—	—	
других ограждающих конструкций (при их наличии)	$A_i, \text{ м}^2$	—	—	
Площадь жилых помещений	$A_l, \text{ м}^2$	—	3853,3	
Площадь кухонь	$A_k, \text{ м}^2$		1001,7	
Расчетная площадь (для общественных зданий)	$A_l, \text{ м}^2$	—	—	
Отапливаемая площадь	$A_h, \text{ м}^2$	—	9393,5	
Отапливаемый объем	$V_h, \text{ м}^3$	—	27 959,4	
Коэффициент остекленности фасада здания	$f$	—	0,177	
Показатель компактности здания	$K_e^{des}$	0,32	0,257	

## 2.4. Теплотехнические показатели здания

Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{т. норм}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , принимаются по таблице 7.1 СН 2.04.02-2020 [1].

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{т. норм}$ .

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций выполняется согласно методике СП 2.04.01-2020 [2]. Пример расчета для проектируемого 3-секционного 9-этажного жилого дома приведен в разделе 1. Данные расчета заносятся в таблицу П 7.1.

По значениям геометрических показателей, приведенным в таблице П 6.1, и значениям приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, рассчитанным в разделе 1, выполняется расчет приведенного коэффициента теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания  $K_m^{tr}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания  $K_m^{tr}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяют по формуле 8 СП 2.04.02-2020 [4]

$$K_m^{tr} = \frac{\frac{A_w}{R_w^r} + \frac{A_F}{R_F^r} + \frac{A_{ed}}{R_{ed}^r} + \frac{n_1 A_C}{R_C^r} + \frac{n_2 A_f}{R_f^r} + \frac{n_3 A_{f_1}}{R_{f_1}^r} + \dots + \frac{n_i A_{f_i}}{R_{f_i}^r}}{A_e^{sum}},$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_i$  – коэффициенты, принимаемые в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху.

Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над техническими подпольями, стен между неотапливаемым объемом здания (например, неотапливаемой лестничной клеткой) с температурой воздуха в них  $t_{ext} < t_C < t_{int}$  коэффициент  $n$  определяют по формуле

$$n = \frac{t_{int} - t_C}{t_{int} - t_{ext}},$$

где  $t_C$  – температура воздуха теплого чердака (технического подполья, неотапливаемой лестничной клетки и пр.), °С. Определяют по СП 2.04.01-2020 [2];

$t_{ext}$  – температура наружного воздуха, °С. Определяют по СП 2.04.01-2020 [2].

Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции,  $K_m^{inf}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), рассчитывается по формуле 9 СП 2.04.02-2020 [4].

В дипломном проекте для зданий с естественным воздухообменом при инфильтрации воздуха через окна и балконные двери помещений и окна и входные наружные двери лестничных клеток допускается принять  $K_m^{inf} = 1,5 \div 1,65 K_m^{tr}$ .

Общий приведенный коэффициент теплопередачи здания  $K_m$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), рассчитывается по формуле 7 СП 2.04.02-2020 [4]

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}.$$

### Пример 7

Для проектируемого 3-секционного 9-этажного жилого дома коэффициент  $n$  для перекрытия над подвальным этажом определяем по формуле (11) СП 2.04.02-2020 [4]

$$n = \frac{t_{int} - t_c}{t_{int} - t_{ext}} = \frac{18 - 5}{18 - (-24)} = 0,31.$$

Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания  $K_m^{tr}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяем по формуле (8) СП 2.04.02-2020 [4]

$$K_m^{tr} = \frac{\frac{A_w}{R_w^r} + \frac{A_F}{R_F^r} + \frac{A_{ed}}{R_{ed}^r} + \frac{n_1 A_C}{R_C^r} + \frac{n_2 A_f}{R_f^r} + \frac{n_3 A_{f_1}}{R_{f_1}^r} + \dots + \frac{n_i A_{f_i}}{R_{f_i}^r}}{A_e^{sum}} =$$
$$= \frac{\frac{4078,4}{5,953} + \frac{876,6}{1,0} + \frac{9,8}{1,2} + \frac{1109,5}{6,907} + \frac{0,31 \cdot 1109,5}{4,60}}{7183,8} = 0,251 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$$

Условный коэффициент теплопередачи здания  $K_m^{inf}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, в дипломном проекте принимаем

$$K_m^{inf} = 1,65 K_m^{tr} = 1,65 \cdot 0,251 = 0,415 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Общий приведенный коэффициент теплопередачи здания  $K_m$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С); рассчитываем по формуле 7 СП 2.04.02-2020 [4]

$$K_m = 0,251 + 0,415 = 0,666 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Результаты расчетов теплотехнических показателей приведены в таблице П 7.1.

Таблица П 7.1. – Теплотехнические показатели

Наименование показателя	Обозначение и единицы измерения	Нормативное значение по упрощенному методу	Расчетное проектное значение	Расчетное значение по исполнительной документации
Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций:	$R_0^r$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			
наружных стен	$R_w^r$	5,89	5,953	
окон, балконных дверей и фонарей	$R_f^r$	1,0	1,0	
витражей	$R_f^r$	—	—	
входных дверей и ворот	$R_{ed}^r$	—	—	
покрытий, чердачных перекрытий (холодных чердаков)	$R_c^r$	6,6	6,907	
перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	$R_c^r$	—	—	
перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	$R_f^r$	4,53	4,60	
перекрытий над проездами и под эркерами	$R_f^r$	—	—	
пола по грунту	$R_f^r$	—	—	
других ограждающих конструкций (при их наличии)	$R_i^r$	—	—	
Приведенный коэффициент теплопередачи здания	$K_m^{tr}$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	—	0,251	
Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции	$K_m^{inf}$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	—	0,415	
Общий приведенный коэффициент теплопередачи здания	$K_m$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	—	0,666	

## 2.5. Энергетические показатели здания

Энергетические показатели здания рассчитываются по методике СП 2.04.02-2020 [4].

Общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период  $Q_h$ , МДж, определяют по формуле 6 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum}.$$

Удельные бытовые теплопоступления для жилых зданий  $q_{int}$ , Вт/м<sup>2</sup>, на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений ( $A_l$ , м<sup>2</sup>) и кухонь ( $A_k$ , м<sup>2</sup>) согласно п. 6.2.1.9. СП 2.04.02-2020 [4] принимают:

– при обеспеченности жильем 20 м<sup>2</sup> общей площади квартир и менее на 1 чел. –  $q_{int} = 9$  Вт/м<sup>2</sup>;

– при обеспеченности жильем 45 м<sup>2</sup> общей площади квартир и более на 1 чел. –  $q_{int} = 3$  Вт/м<sup>2</sup>;

– для других значений обеспеченности жильем – интерполяцией по значениям 3 и 9 Вт/м<sup>2</sup>.

Удельные бытовые теплопоступления в общественных зданиях  $q_{int_{pub}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, в общем случае определяют по формуле А.1 СП 2.04.02-2020 [4]

$$q_{int_{pub}} = \frac{Q_{peop} + Q_{ligh} + Q_{eq}}{A_{l. pub}},$$

где  $Q_{peop}$  – теплопоступления от людей, Вт;

$Q_{ligh}$  – теплопоступления от освещения, Вт;

$Q_{eq}$  – теплопоступления от электрических приборов и технологического оборудования, Вт;

$A_{l. pub}$  – расчетная площадь для общественных помещений, м<sup>2</sup>.

Теплопоступления от людей  $Q_{peop}$ , Вт, определяют по их количеству с учетом времени работы по формуле А.2 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{peop} = \frac{q_{int. peop} N_{peop} Z_{peop}}{168},$$

где  $q_{int. peop}$  – внутренние теплопоступления в общественном здании от одного человека, Вт/чел. Рекомендуется принимать равными: от взрослого –

90 Вт/чел., от ребенка – 70 Вт/чел. В зависимости от категории производимых работ, фактора гендерной принадлежности и температуры внутреннего воздуха в здании допускается определять по формуле А.3 СП 2.04.02-2020 [4]

$$q_{int. peop} = \frac{\sum (V_{hj} q_{int. peop. j})}{\sum V_{hj}},$$

где  $V_{hj}$  – соответствующий занимаемый объем  $j$ -го помещения определенного функционального назначения, м<sup>3</sup>;

$q_{int. peop. j}$  – теплоступления от одного человека в  $j$ -м помещении определенного функционального назначения, Вт/чел. Определяют по таблице А.1 СП 2.04.02-2020 [4];

$N_{peop}$  – среднее количество людей, находящихся в здании в течение рабочего дня, чел.;

$Z_{peop}$  – продолжительность нахождения людей в здании в течение недели, ч;

168 – продолжительность недели, ч.

Для общественных зданий с переменным количеством людей в течение рабочего времени количество людей определяют как сумму количества персонала и среднего количества посетителей.

Теплоступления от освещения  $Q_{ligh}$ , Вт, определяют с учетом мощности освещения и времени работы по формуле А.4 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{ligh} = \frac{q_{int. ligh} Z_{w. ligh} A_{ligh}}{168},$$

где  $q_{int. ligh}$  – удельные теплоступления от освещения, Вт/м<sup>2</sup>; принимают в зависимости от установленной мощности;

$Z_{w. ligh}$  – продолжительность работы освещения в течение недели, ч;

$A_{ligh}$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

168 – продолжительность недели, ч.

Установленную мощность осветительных приборов здания определяют в соответствии с проектной документацией. При отсутствии данных установленную мощность определяют по таблице А.2 СП 2.04.02-2020 [4].

Теплоступления от электрических приборов и технологического оборудования  $Q_{eq}$ , Вт, определяют по их установленной мощности, в зависимости

от продолжительности работы и загрузки оборудования в течение недели, по формуле А.5 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{eq} = \sum W_{eq.i} N_{eq.i} k_{eq.i} \frac{Z_{W_{eq.i}}}{168},$$

где  $W_{eq.i}$  – установленная мощность оборудования  $i$ -го типа, Вт;

$N_{eq.i}$  – количество оборудования  $i$ -го типа;

$k_{eq.i}$  – коэффициент загрузки оборудования  $i$ -го типа;

$Z_{W_{eq.i}}$  – продолжительность работы оборудования  $i$ -го типа в течение недели, ч;

168 – продолжительность недели, ч.

Значение установленной мощности  $W_{eq.i}$ , Вт, и коэффициента загрузки оборудования  $k_{eq.i}$  приведены в таблице А.3 СП 2.04.02-2020 [4].

Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода  $Q_{int}$ , МДж, определяют по формуле 16 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{int} = 0,0864 q_{int} Z_{ht} \cdot (A_l + A_k),$$

где  $Z_{ht}$  – продолжительность отопительного периода, сут;

$A_l$  – для жилых зданий – площадь жилых помещений; для общественных зданий – расчетная площадь, определяемая как 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, м<sup>2</sup>;

$A_k$  – площадь кухонь, м<sup>2</sup>.

Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна и фонари) в течение отопительного периода  $Q_s$ , МДж, для зданий, ориентированных по четырем сторонам света, определяют по формуле (17) СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_s = \tau_F k_F (A_{F1} l_1 + A_{F2} l_2 + A_{F3} l_3 + A_{F4} l_4) + \tau_C k_C A_C l_C,$$

где  $\tau_F$ ,  $\tau_C$  – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон, балконных дверей и зенитных фонарей соответственно непрозрачными

элементами их конструкции; принимают по проектным данным, а при отсутствии данных – по таблице В.1 (приложение В) СП 2.04.02-2020 [4];

$k_F, k_C$  – коэффициенты относительного пропускания солнечной радиации окон, балконных дверей и зенитных фонарей соответственно; принимают по паспортным данным изделий, а при отсутствии данных – по таблице В.2 (приложение В) СП 2.04.02-2020 [4]; при этом мансардные окна с углом наклона к горизонту  $45^\circ$  и более рассчитывают как вертикальные, с углом наклона менее  $45^\circ$  – как зенитные фонари;

$A_{Fi}, A_C$  – площадь заполнений световых проемов (окон, балконных дверей, зенитных фонарей) по сторонам света соответственно,  $m^2$ ;

$I_i$  – суммарная солнечная радиация на горизонтальную и вертикальные поверхности различной ориентации при средних условиях облачности за отопительный период,  $MДж/m^2$ ; принимают по таблице В.3 (приложение В) СП 2.04.02-2020 [4]. Для населенных пунктов, не указанных в таблице, следует принимать значения по ближайшим приведенным областным центрам.

Коэффициент  $\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительные теплотопотери, связанные с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждающих конструкций, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения; согласно п. 6.2.1.4. СП 2.04.02-2020 [4] принимают равным:

- 1,13 – для многосекционных и других протяженных зданий;
- 1,11 – для зданий башенного типа;
- 1,07 – то же с отапливаемыми подвалами;
- 1,05 – то же с отапливаемыми чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты.

Коэффициент  $\zeta$  – коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления; принимают по таблице 1 СП 2.04.02-2020 [4].

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода  $Q_h^y$ ,  $MДж$ , рассчитывают по формуле 5 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_h^y = Q_h \cdot \beta_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \zeta - Q_{h.rvd}^y - Q_{h.ren}^y + Q_{h.aux}^y,$$

где  $v$  – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение  $v = 0,9$ ;

$Q_{h.rvd}^y$  – тепловая энергия, передаваемая теплоутилизатором вытяжного воздуха за отопительный период, МДж; определяют по 6.2.2.1 СП 2.04.02-2020 [4];

$Q_{h.ren}^y$  – суммарная энергия, вырабатываемая из возобновляемых источников для отопления и вентиляции здания за отопительный период, МДж (тепловые насосы, фотоэлектрические батареи); определяют по 6.2.2.2 СП 2.04.02-2020 [4];

$Q_{h.aux}^y$  – вспомогательная энергия на обеспечение функционирования оборудования систем отопления и вентиляции здания за отопительный период, МДж (на основании паспортных данных циркуляционных насосов, систем автоматизации, приточных, вытяжных и рециркуляционных вентиляторов, привода ротора теплоутилизатора); определяют по 6.2.2.3 СП 2.04.02-2020 [4].

В дипломном проекте количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода  $Q_{h0}^y$ , МДж, с учетом тепловых потерь и бытовых теплопоступлений допускается определять по формуле

$$Q_{h0}^y = Q_h \cdot \beta_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \zeta.$$

Количество вспомогательной энергии на обеспечение функционирования оборудования систем отопления и вентиляции здания за отопительный период,  $Q_{h.aux}^y$ , МДж, допускается принимать равным  $0,00045Q_{h0}^y$

Таким образом, требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода  $Q_h^y$ , МДж, в дипломном проекте допускается определять по формуле

$$Q_h^y = Q_{h0}^y - Q_{h.rvd}^y - Q_{h.ren}^y + Q_{h.aux}^y.$$

### **Пример 8**

Для проектируемого 3-секционного 9-этажного жилого дома общие теплотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период  $Q_h$ , МДж, определяем по формуле 6 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum} = 0,0864 \cdot 0,666 \cdot 3742,2 \cdot 7183,8 = 1\,546\,925 \text{ МДж.}$$

Удельные бытовые теплопоступления на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений ( $A_l, \text{м}^2$ ) и кухонь ( $A_k, \text{м}^2$ )  $q_{int}, \text{Вт/м}^2$ , согласно п. 6.2.1.9. СП 2.04.02-2020 [4] принимаем

$$q_{int} = 9 \text{ Вт/м}^2.$$

Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода  $Q_{int}, \text{МДж}$ , определяем по формуле 16 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{int} = 0,0864 q_{int} Z_{ht} \cdot (A_l + A_k) = 0,0864 \cdot 9 \cdot 198 \cdot (3855,3 + 1001,7) = 747\,499 \text{ МДж}.$$

В соответствии с проектом окна в одинарном переплете с двухкамерным стеклопакетом (три ряда остекления) с низкоэмиссионным мягким покрытием.

Согласно приложению В СП 2.04.02-2020 [4] принимаем:

– коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами их конструкции,  $\tau_F = 0,8$ ;

– коэффициент относительного пропускания солнечной радиации светопрозрачной конструкции  $k_F = 0,48$ .

Суммарная солнечная радиация на вертикальные поверхности при средних условиях облачности за отопительный период в соответствии с приложением В, таблица В.3 СП 2.04.02-2020 [4] составит:  $I_B = 655 \text{ МДж/м}^2$ ;  $I_3 = 675 \text{ МДж/м}^2$ .

Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна) в течение отопительного периода  $Q_s, \text{МДж}$ , определяем по формуле 17 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_s = \tau_F k_F (A_{F1} I_1 + A_{F2} I_2) = 0,8 \cdot 0,48 \cdot (525,96 \cdot 675 + 350,64 \cdot 655) = 224\,522 \text{ МДж}.$$

Согласно п. 6.2.1.4 СП 2.04.02-2020 [4] принимаем коэффициент  $\beta_h = 1,13$ .

Коэффициент  $\zeta$  принимаем по таблице 1 СП 2.04.02-2020 [4], для двухтрубной системы отопления с терморегуляторами и центральным авторегулированием на вводе  $\zeta = 0,95$ .

Количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода  $Q_{h0}^y, \text{МДж}$ , рассчитываем по формуле 5 СП 2.04.02-2020 [4]

$$\begin{aligned} Q_{h0}^y &= Q_h \cdot \beta_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \zeta = \\ &= 1\,546\,925 \cdot 1,13 - (747\,499 + 224\,522) \cdot 0,9 \cdot 0,95 = \end{aligned}$$

$$= 1\,748\,025 - 831\,078 = 916\,947 \text{ МДж.}$$

Количество вспомогательной энергии на обеспечение функционирования оборудования систем отопления и вентиляции здания за отопительный период  $Q_{h.aux}^y$ , МДж, принимаем

$$Q_{h.aux}^y = 0,00045Q_{h0}^y = 0,00045 \cdot 916\,947 = 412,6 \text{ МДж.}$$

Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода  $Q_h^y$ , МДж, определяем по формуле 5 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_h^y = Q_{h0}^y - Q_{h.rvd}^y - Q_{h.ren}^y + Q_{h.aux}^y = 916\,947 - 0 - 0 + 412,6 = 917\,360 \text{ МДж.}$$

Результаты расчетов энергетических показателей приведены в таблице П 8.1.

Таблица П 8.1. – Энергетические показатели

Наименование показателя	Обозначение и единицы измерения	Нормативное значение	Расчетное проектное значение	Расчетное значение по исполнительной документации
1	2	3	4	5
<i>Энергетические показатели</i>				
Общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период	$Q_h$ , МДж	—	1 546 925	
Удельные бытовые теплопоступления	$q_{int}$ , Вт/м <sup>2</sup>	—	9	
Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	$Q_{int}$ , МДж	—	747 499	
Теплопоступления через светопрозрачные ограждающие конструкции в течение отопительного периода	$Q_s$ , МДж	—	224 522	
Требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода	$Q_h^y$ , МДж	—	917 360	

Окончание таблицы П 8.1

1	2	3	4	5
<i>Коэффициенты</i>				
Коэффициент, зависящий от способа регулирования подачи теплоты в системах отопления	$\zeta$	0,95		
Коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты (телопотребление)	$\beta_n$	1,13		

**Пример 9**

Расчет энергетических показателей для общественных зданий отличается расчетом удельных бытовых теплопоступлений в  $q_{int, pub}$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Пример расчета приведен для 9-ти этажного бизнес-центра в г. Минске. Геометрические показатели приняты по таблице П. 6.1.

Внутренние теплопоступления в общественном здании от одного человека  $q_{int, peop}$ , Вт/чел, принимаем 90 Вт/чел.

Теплопоступления от людей  $Q_{peop}$ , Вт, определяем по их количеству ( $N_{peop} = 128$  чел.) с учетом времени работы  $z_{peop}$  (5 дней в неделю, 8 ч. в день) по формуле А.2 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{peop} = \frac{q_{int, peop} N_{peop} z_{peop}}{168} = \frac{90 \cdot 128 \cdot 40}{168} = 2743 \text{ Вт.}$$

Удельные теплопоступления от освещения  $q_{int, ligh}$ , Вт/м<sup>2</sup>, принимаем в зависимости от установленной мощности освещения по таблице А.2 СП 2.04.02-2020 [4]: для офисов, кабинетов  $q_{int, ligh} = 25$  Вт/м<sup>2</sup>.

Теплопоступления от освещения  $Q_{ligh}$ , Вт, определяем с учетом мощности освещения ( $q_{int, ligh} = 25$  Вт/м<sup>2</sup>), времени работы ( $z_{w, ligh} = 20$  ч) и освещаемой площади ( $A_{ligh} = 4855$  м<sup>2</sup>) по формуле А.4 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{ligh} = \frac{q_{int, ligh} z_{w, ligh} A_{ligh}}{168} = \frac{25 \cdot 20 \cdot 4855}{168} = 14\,449 \text{ Вт.}$$

В бизнес-центре установлено:

– компьютеров  $N_{eq,1} = 69$  шт;

- принтеров  $N_{eq.2} = 34$  шт;
- ксероксов  $N_{eq.3} = 22$  шт.

Продолжительность работы оборудования в течение недели:

- компьютеров  $z_{W_{eq.1}} = 35$  ч;
- принтеров  $z_{W_{eq.2}} = 15$  ч;
- ксероксов  $z_{W_{eq.3}} = 12$  ч.

Значения установленной мощности  $W_{eq.i}$ , Вт, и коэффициента загрузки оборудования для оргтехники  $k_{eq.i}$  принимаем по таблице А.3 СП 2.04.02-2020 [4]:

- для компьютеров  $W_{eq.1} = 0,4$  Вт,  $k_{eq.1} = 0,5$ ;
- для принтеров  $W_{eq.2} = 0,2$  Вт,  $k_{eq.2} = 0,3$ ;
- для ксероксов  $W_{eq.3} = 1,5$  Вт,  $k_{eq.3} = 0,3$ .

Теплопоступления от электрических приборов и технологического оборудования  $Q_{eq}$ , Вт, определяем по их установленной мощности ( $W_{eq.i}$ , Вт) в зависимости от их количества ( $N_{eq.i}$ , шт) продолжительности работы ( $z_{W_{eq.i}}$ , ч) и загрузки оборудования в течение недели ( $k_{eq.i}$ ) по формуле А.5 СП 2.04.02-2020 [4]

$$Q_{eq} = \sum W_{eq.i} \cdot N_{eq.i} \cdot k_{eq.i} \cdot \frac{z_{W_{eq.i}}}{168} =$$

$$= 0,4 \cdot 69 \cdot 0,5 \cdot \frac{35}{168} + 0,2 \cdot 34 \cdot 0,3 \cdot \frac{15}{168} + 1,5 \cdot 22 \cdot 0,3 \cdot \frac{12}{168} = 3,77 \text{ Вт.}$$

Удельные бытовые теплопоступления в общественных зданиях  $q_{int_{pub}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяем по формуле А.1 СП 2.04.02-2020 [4]

$$q_{int_{pub}} = \frac{Q_{peop} + Q_{ligh} + Q_{eq}}{A_{l. pub}} = \frac{2743 + 14\,499 + 3,77}{4855} = 3,55 \text{ Вт/м}^2.$$

## 2.6. Комплексные показатели. Класс энергоэффективности здания

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $q_h^{des}$ , МДж/(м<sup>2</sup>·г) или МДж/(м<sup>3</sup>·г), определяют по формуле 4 СП 2.04.02-2020 [4]

$$q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{A_h} \quad \text{или} \quad q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{V_h},$$

где  $Q_h^y$  – требуемое количество энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода, МДж;

$A_h$  – отапливаемая площадь здания, м<sup>2</sup>;

$V_h$  – отапливаемый объем здания, принимаемый равным объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций, м<sup>3</sup>.

Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для жилых, общественных и административных зданий принимают в соответствии с таблицами 6.1 и 6.2 СН 2.04.02-2020 [1].

Согласно п. 6.1 СН 2.04.02-2020 [1] нормативные значения энергетических показателей устанавливаются в виде диапазона их отклонений от базовых значений соответственно установленному классу по показателям удельного расхода энергии. При определении нормативные значения показателей округляют до целых значений. Порядок определения нормативных значений энергетического показателя – в соответствии с приложением В СН 2.04.02-2020 [1].

### Пример 10

Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $q_h^{des}$ , МДж/(м<sup>2</sup>·г) определяем по формуле 4 СП 2.04.02-2020 [4]

$$q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{A_h} = \frac{917\,360}{9393,5} = 97,66 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{г}).$$

Базовые значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период для многоквартирного жилого здания этажностью 9 этажей принимаем в соответствии с таблицей 6.1 СН 2.04.02-2020 [1]

$$q_h^{req} = 60(216) \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \text{ (МДж}/\text{м}^2).$$

Отклонение значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период от базового значения 216 МДж/м<sup>2</sup> составит

$$P = \frac{97,66 - 216}{216} \cdot 100\% = -55\%.$$

Отклонение от базового значения согласно СН 2.04.02-2020 [1] (таблица 10.1) –55% соответствует диапазону от –46% до –60%. Следовательно, класс энергетической эффективности здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период – очень высокий **A<sub>h</sub>**.

Определяем диапазон нормативных значений показателя с округлением до целого значения:

$$60 \cdot (100 - 60) / 100 = 24 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \left( 86 \text{ МДж} / \text{м}^2 \right) - \text{минимальное значение};$$

$$60 \cdot (100 - 46) / 100 = 32,4 \approx 32 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \left( 115 \text{ МДж} / \text{м}^2 \right) - \text{максимальное значение}.$$

Искомый диапазон нормативных значений показателя с округлением до целого значения составляет 24 – 32 кВт·ч/м<sup>2</sup> (86–115 МДж/м<sup>2</sup>).

Результаты расчета комплексных показателей приведены в таблице П.10.

Таблица П.10. – Комплексные показатели. Класс энергоэффективности

Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя	Значение по исполнительной документации
Расчетный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_h^{des}$ кВт·ч/м <sup>2</sup> в год (МДж/м <sup>2</sup> в год)	27,13 (97,66)	
Нормативный удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_h^{req}$ кВт·ч/м <sup>2</sup> , кВт·ч/м <sup>3</sup> в год (МДж/м <sup>2</sup> , МДж/м <sup>3</sup> )	24–32 (86–115)	
Класс энергоэффективности здания по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период		<b>A<sub>h</sub></b>	

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Раздел «Энергетическая эффективность» представляется в дипломном проекте в форме пояснительной записки. Текст пояснительной записки пишется в редакторе Microsoft Word: шрифт Times New Roman, размер 14 пт, интервал одинарный. Поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, с правой стороны – 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом первой строки, равным 1,25 см.

Основной текст пояснительной записки должен разбиваться на отдельные озаглавленные параграфы. Сокращение слов по тексту пояснительной записки, за исключением общепринятых (например: т. е., и т. д., и т. п., и др.), не допускается.

Таблицы, помещенные в тексте, должны иметь заголовки и номер. При наборе текста в таблицах возможно уменьшение размера шрифта до 12 пт. Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Начало и конец таблицы отделяются от текста одним пробелом.

Таблицы необходимо нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией в пределах раздела. Номер таблицы будет состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. Например, раздел «Энергетическая эффективность» в дипломном проекте – седьмой, в этом случае таблица будет нумероваться следующим образом: Таблица 7.1. – Название таблицы.

В тексте пояснительной записки на все таблицы должны быть приведены ссылки, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием её номера.

Все иллюстрации (чертежи, схемы, фотографии), включаемые в текстовой материал записки, именуется рисунками. Иллюстрации нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например: Рисунок 7.1. – Название рисунка.

При ссылках на иллюстрации следует писать: «... в соответствии с рисунком 7.1» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации должны иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст) в случае необходимости. Точка после подрисуночного текста не ставится. Слово «Рисунок» и наименование помещают после

рисунка и пояснительных данных (если они есть), выравнивают по центру и располагают следующим образом:

#### Рисунок 1.1. – Конструкция наружной стены

Формулы должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word. Каждое буквенное обозначение, впервые встречающееся в формулах, должно быть обязательно расшифровано и указана размерность обозначаемой величины. Размер основного шрифта в формулах должен быть, как и во всем тексте пояснительной записки, равен 14 пт. Пояснения к символам и числовым коэффициентам в формулах, если они не пояснены ранее, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение к каждому символу даётся с новой строки в той последовательности, в которой символы расположены в формуле. Первая строка пояснения начинается со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (7.1). Ссылки в тексте на формулы дают по их порядковым номерам, указываемым в скобках, например «в формуле (7.5)».

Записка должна содержать ссылки на использованные источники. Список использованных источников по разделу включается в общий список использованных источников по дипломному проекту. Использованные источники нумеруются в тексте с учетом нумерации в предыдущих разделах дипломного проекта. Список должен быть составлен в соответствии с существующими требованиями [6].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность = Будынкі і збудаванні. Энергетычная эфектыўнасць : СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 29 с.
2. Строительная теплотехника = Будаўнічая цеплатэхніка : СП 2.04.01-2020. – Введ. 20.01.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 77 с.
3. Тепловая изоляция зданий и сооружений = Цеплавая ізаляцыя будынкаў і збудаванняў : СП 3.02.01-2020. – Введ. 07.12.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 44 с.
4. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели = Цеплавая ахова жылых і грамадскіх будынкаў. Энергетычныя паказчыкі : СП 2.04.02-2020. – Введ. 01.02.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 33 с.
5. Строительная климатология = Будаўнічая кліматалогія : СНБ 2.04.05-2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск : Минстройархитектуры, 2000. – 37 с.
6. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления = Бібліяграфічны запіс. Бібліяграфічнае апісанне. Агульныя патрабаванні і правілы састаўлення : ГОСТ 7.1–2003. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2004. – 48 с.