

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ПРИМЕР ВВЕДЕНИЯ К ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	5
2. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ.....	6
2.1. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания .....	6
2.2. Удельная теплозащитная характеристика здания .....	9
2.3. Требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания .....	10
2.4. Определение класса энергетической эффективности здания.....	13
2.5. Экономическая оценка увеличения тепловой защиты здания .....	14
3. РАСЧЕТ ТРАНСМИССИОННЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ.....	15
3.1. Порядок действий при проведении расчета тепловых потерь здания.....	19
3.2. Пример расчета трансмиссионных теплопотерь .....	21
3.3. Мероприятия по энергосбережению в системе отопления здания .....	25
4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	26
4.1. Общие требования к системе вентиляции жилых зданий .....	26
4.2. Естественная вентиляция .....	27
4.3. Механическая вентиляция .....	28
4.4. Механическая приточно-вытяжная вентиляция с утилизацией теплоты удаляемого воздуха .....	29
4.5. Схемные решения утилизации вторичных энергетических ресурсов.....	32
4.6. Основные типы теплоутилизаторов.....	34
4.7. Пример расчета систем вентиляции жилого здания.....	36
5. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.....	37
6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО МЕРОПРИЯТИЯ.....	38
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема энерго- и ресурсосбережения в настоящее время является бесспорно ключевой для дальнейшего устойчивого развития человеческого общества и цивилизации в целом, и ее невозможно решить без уменьшения энерго- и ресурсопотребления в строительстве. Поэтому понимание обучающимися в магистратуре студентами способов минимального расхода энергии и ресурсов с наименьшим негативным влиянием зданий и сооружений на окружающую среду и знакомство с нормативными документами, регламентирующими эти способы, являются важнейшими задачами обучения в курсе «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при эксплуатации зданий».

Студентам предстоит выполнить курсовой проект по проектированию энерго- и ресурсосберегающих технологий для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для жилого здания, которое выдается преподавателем практических занятий. Пояснительная записка к практическим занятиям оформляется в виде рукописи, включающей в себя оглавление, введение, основную часть, заключение, список литературы.

Целью пособия является знакомство с нормативной и справочной литературой, содержащей исходную климатическую и техническую информацию. Задачи состоят в применении изучаемых методик к проектированию и выбору энерго- и ресурсосберегающих технологий при эксплуатации жилого здания в части теплозащиты, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Введение к пояснительной записке должно содержать цели и задачи выполнения работы, описание района строительства, этажность жилого здания, ориентацию главного фасада, состав наружных стен.

В заключении пояснительной записки излагаются энерго- и ресурсосберегающие мероприятия, примененные для данного здания, и дается оценка этих мероприятий.

### 1. ПРИМЕР ВВЕДЕНИЯ К ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

По заданию имеем 5-этажное жилое здание с размерами в плане  $11,6 \times 15$  м в г. Москве (рис. 1.1) с ориентацией главного фасада на север и составом наружной стены (последовательность указана от внутреннего воздуха):

- 1) штукатурка цементно-песчаным раствором по стальной оцинкованной сетке толщиной 50 мм;
- 2) кирпич глиняный обыкновенный по ГОСТ 530–80 на цементно-песчаном растворе толщиной 520 мм.

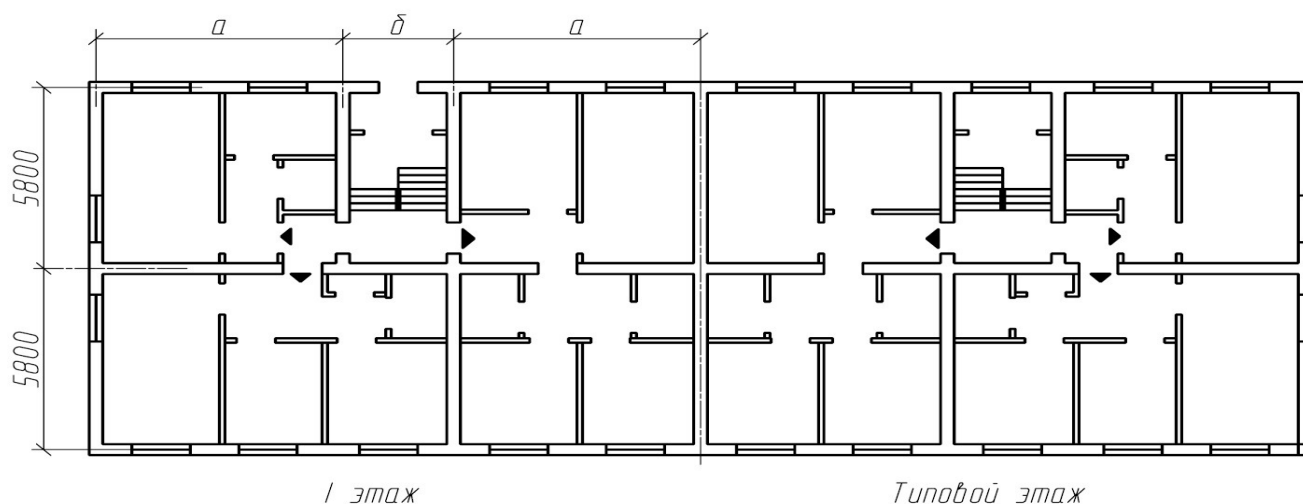


Рис. 1.1. План жилого здания

Окна по заданию — двойные в спаренных переплетах, остекление из обычного стекла в деревянных или ПВХ-переплетах.

В здании предусмотрена естественная приточно-вытяжная система вентиляции с двухсторонним присоединением спутников к стволу и нерегулируемыми вытяжными решетками. Во всех квартирах

принята одинаковая схема вентиляции, воздухообмен определен по норме вытяжки из кухни, ванной и санузлов.

Существующая система отопления является двухтрубной с верхней разводкой и попутным движением. Подающая магистраль проложена в неотапливаемом чердаке, а обратная — в неотапливаемом подвале.

## 2. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ

В нормативных документах по тепловой защите здания в части энергосбережения устанавливаются требования:

- к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций здания;
- удельной теплозащитной характеристике здания;
- расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.

В первой части курсового проекта проводится расчет этих показателей и на основании расчетов делается оценка энерго- и ресурсосбережения в здании.

### 2.1. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания

При разработке мероприятий по энергосбережению или проведению энергоаудита из проекта здания в первую очередь определяют параметры тепловой защиты здания, так как эта величина в большой степени влияет на нагрузку систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

По требованиям [1] требуемое сопротивление теплопередаче всех ограждающих конструкций жилых зданий определяется двумя способами:

- 1) по табл. 3 в зависимости от градусо-суток отопительного периода;
- 2) расчет с учетом понижающего регионального коэффициента  $m_p$  базового значения сопротивления теплопередаче наружного ограждения, рассчитанного по предыдущему п. 1.

В соответствии с действующей редакцией нормативного документа [1] региональный коэффициент  $m_p$  может приниматься не менее 0,63 для наружных стен, 0,8 — для всех остальных ограждающих конструкций, кроме остекления, для остекления — 1,0.

Однако стоит помнить, что использовать понижающий региональный коэффициент можно только в том случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике прил. Г [1] выполняются требования 10.1 [1] к данной удельной характеристике.

Таким образом, для рассматриваемого жилого здания в г. Москве имеем требуемые значения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, представленные в табл. 2.1.

*Таблица 2.1*

**Требуемые и фактические значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций заданного жилого здания**

Ограждающая конструкция	Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт		Фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по заданию, (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт
	по табл. 3 СП50	с учетом понижающего регионального коэффициента $m_p$	
Наружная стена	2,99	1,89	0,97
Чердачное перекрытие и перекрытие над неотапливаемым подвалом	3,95	3,16	3,16
Окна	0,66	0,66	0,4
Наружная дверь	0,78	0,78	0,78

После определения требуемых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций необходимо обеспечить, чтобы фактическая величина была не меньше этих значений.

В рамках курсового проекта считаем, что фактические значения сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия и дверей соответствуют требуемым с учетом регионального понижающего коэффициента. Для наружной стены рассчитываем по заданной конструкции. Значение для окон определяем по паспорту завода-изготовителя по типу окна.

Фактическая величина сопротивления теплопередаче наружной стены здания равна  $0,97 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , а окна —  $0,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Для того чтобы требование СП50 выполнялось, необходимо утеплить наружные стены и заменить светопрозрачные конструкции в здании.

В жилых зданиях, которые не относятся к памятникам архитектуры, утепление производится с наружной стороны стены. В качестве утеплителя используем минераловатные плиты с устройством вентилируемого фасада (рис. 2.1).

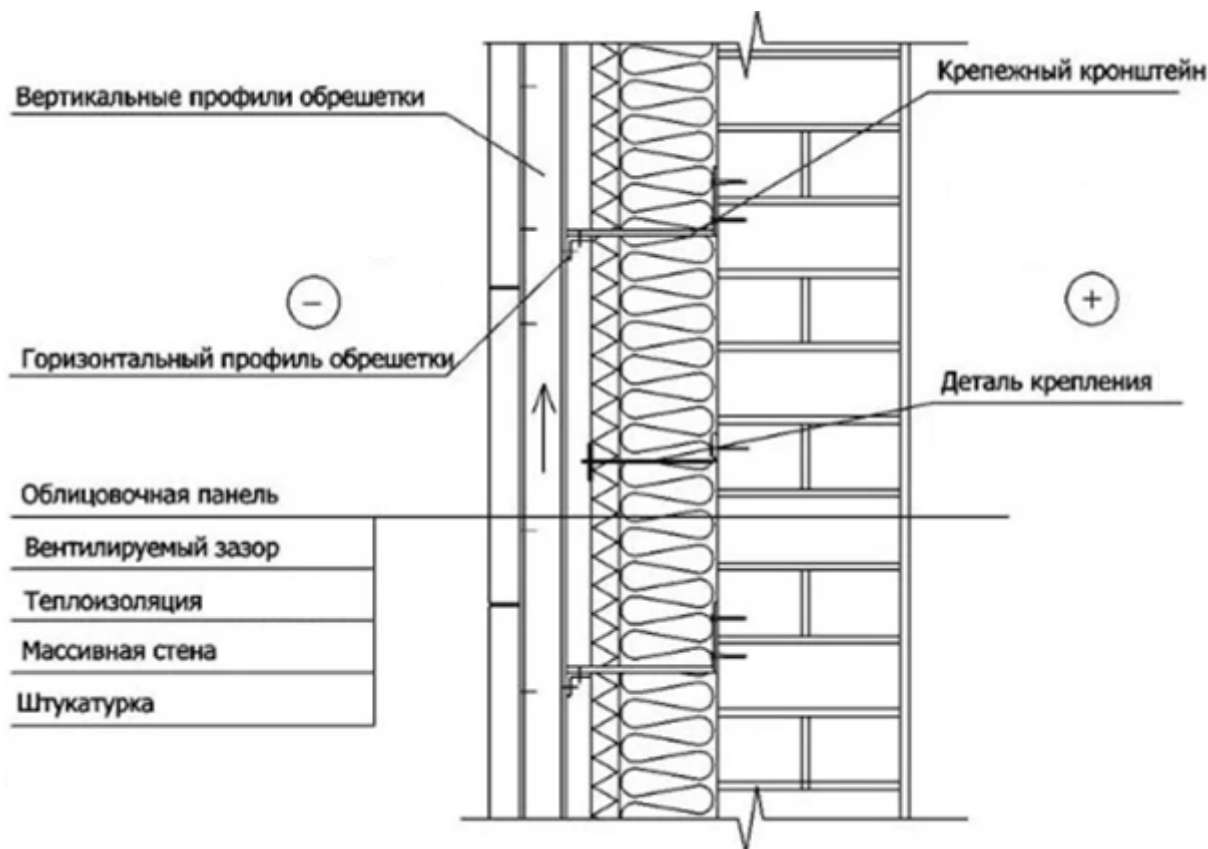


Рис. 2.1. Утепление массивной стены с облицовкой металлическими фасадными панелями

Необходимая толщина утеплителя рассчитывается приравнением фактического значения сопротивления теплопередаче к требуемой величине. Кроме того, по требованиям [1] необходимо учитывать неоднородности в ограждающих конструкциях, которые приводят к увеличению толщины слоя утеплителя. В данном курсе учитываются только точечные неоднородности в виде дюбелей для крепления утеплителя и линейные неоднородности — дверные и оконные откосы.

Для того чтобы фактическое сопротивление теплопередаче остекления здания соответствовало требуемым значениям, необходимо подобрать окна с сопротивлением теплопередаче не ниже требуемой величины, то есть не ниже значения  $0,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . При выборе остекления можно пользоваться данными заводов-изготовителей или использовать значения из табл. 2.2.

Для жилого здания рекомендуем к установке двухкамерный стеклопакет из стекла с мягким селективным покрытием с величиной приведенного сопротивления теплопередаче  $0,68 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Результатом данного расчета имеем наружные ограждения жилого здания, соответствующие требованиям [1].

## Значения приведенного сопротивления теплопередаче для различных конструкций окон

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_o$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	
	в деревянных или ПВХ-переплетах	в алюминиевых переплетах
1. Двойное в спаренных переплетах остекление из стекла:		
- обычного	0,4	—
- с твердым селективным покрытием	0,55	—
2. Двойное в отдельных переплетах остекление из стекла:		
- обычного	0,44	0,34
- с твердым селективным покрытием	0,57	0,45
3. Тройное в отдельно-спаренных переплетах остекление из стекла:		
- обычного	0,55	0,46
- с твердым селективным покрытием	0,60	0,50
4. Однокамерный стеклопакет из стекла:		
- обычного	0,35	0,34
- с твердым селективным покрытием	0,51	0,43
- с мягким селективным покрытием	0,56	0,47
5. Двухкамерный стеклопакет из стекла:		
- обычного (с межстекольным расстоянием 6 мм)	0,50	0,43
- обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,54	0,45
- с твердым селективным покрытием	0,58	0,48
- с мягким селективным покрытием	0,68	0,52
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65	0,53
6. Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в отдельных переплетах из стекла:		
- обычного	0,56	0,50
- с твердым селективным покрытием	0,65	0,56
- с мягким селективным покрытием	0,72	0,60
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69	0,60
7. Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах из стекла:		
- обычного	0,65	—
- с твердым селективным покрытием	0,72	—
- с мягким селективным покрытием	0,80	—
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82	—
8. Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,70	—
9. Два однокамерных стеклопакета в отдельных переплетах	0,74	—
10. Четырехслойное остекление в двух спаренных переплетах	0,80	—

## 2.2. Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика здания — количество теплоты, равное потерям тепловой энергии через теплозащитную оболочку здания единицы отапливаемого объема в единицу времени при перепаде температуры в  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1].

Удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не более нормируемого значения  $K_{об} < K_{об}^{тр}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C). Данное требование является обязательным и называется комплексным требованием к тепловой защите здания.

Проверяем выполнение комплексного требования к теплозащитной оболочке здания.

Определяем нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики по табл. 7 [1] с учетом примечаний: при  $V_{от} = 2610\text{ м}^3$ .

$$k_{об}^{тр} = \begin{cases} \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \leq 960; \\ \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} & V_{от} > 960. \end{cases} \quad (2.1)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{2610}}}{0,00013 \cdot 4551 + 0,61} = 0,296 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}.$$

Проверка по формуле:

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{\text{ГСОП}}}; \quad (2.2)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{4551}} = 0,126 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}.$$

Так как результат по формуле (2.1) больше полученного по формуле (2.2), принимаем в качестве требуемого нормируемого значения удельной теплозащитной характеристики здания величину большую:

$$k_{об}^{тр} = 0,296 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}.$$

Фактическое значение удельной теплозащитной характеристики здания:

$$K_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i^n \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_{\Phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right) = K_{комп} \cdot K_{общ}, \quad (2.3)$$

где  $n_{t,i}$  — коэффициент, показывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от значений, принятых при расчете ГСОП; принимаем равным 0,9 для чердачного покрытия и 0,6 для перекрытия над неотапливаемым подвалом, для остальных ограждающих конструкций равен 1;  $A_{\Phi,i}$  — площадь  $i$ -го фрагмента отдельных ограждений конструкций.

Общий коэффициент теплопередачи здания:

$$K_{общ} = \frac{1}{A_{н}^{сум}} \sum_i \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_{\Phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}. \quad (2.4)$$

Для определения общего коэффициента теплопередачи здания расчетные значения для ограждающих конструкций заносим в табл. 2.3.

## Расчетные значения для ограждающих конструкций

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{\phi,i}, \text{м}^2$	$R_{o,i}^{\text{пр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$n_{t,i} A_{\phi,i} / R_{o,i}^{\text{пр}}, \text{Вт}/\text{°C}$	%
Наружная стена	1	798	1,89	403,03	59,74
Окна	1	124,2	0,68	182,65	27,07
Наружные двери	1	5	0,78	6,41	0,95
Чердачное покрытие	0,9	174	3,16	49,56	7,35
Перекрытие над неотапливаемым подвалом	0,6	174	3,16	33,04	4,9
Сумма	—	1275,2	—	674,69	100

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{1275,2} \cdot 674,69 = 0,529 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Коэффициент компактности здания  $K_{\text{комп}}, \text{м}^{-1}$ , определяется по формуле

$$K_{\text{комп}} = \frac{A_{\text{н}}^{\text{сум}}}{V_{\text{от}}}. \quad (2.5)$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{1275,2}{2610} = 0,489 \text{ 1/м}.$$

Совокупность фрагментов теплозащитной оболочки здания должна полностью замыкать оболочку отапливаемой части здания.

Удельная теплозащитная характеристика здания  $k_{\text{об}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ , определяется по формуле

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{\text{пр}}} \right) = K_{\text{комп}} \cdot K_{\text{общ}}, \quad (2.6)$$

где  $R_{o,i}^{\text{пр}}$  — приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

$$K_{\text{об}} = 0,529 \cdot 0,489 = 0,259 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}.$$

Полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания меньше максимально допустимой величины:

$$K_{\text{об}} = 0,259 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}} < K_{\text{об}}^{\text{тр}} = 0,296 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}.$$

Таким образом, комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется.

### 2.3. Требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого здания  $q_{\text{от}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ , на стадии разработки проектной документации является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, численно равная расходу тепловой энергии на 1 м отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1 °C.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемому значению  $q_{\text{от}}^{\text{тр}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ . Для нормирования энергопотребления здания расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию определяется в режиме, усредненном за отопительный период:

$$q_{от}^p \leq q_{от}^{tp},$$

где  $q_{от}^{tp}$  — нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м<sup>3</sup>·°C), определяемая для различных типов жилых зданий по табл. 14 [1].

Для пятиэтажного жилого многоквартирного здания нормируемая величина удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию  $q_{от}^{tp} = 0,359$  Вт/(м<sup>3</sup>·°C).

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{от}^p$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C), следует определять по формуле

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{кпи} (k_{быт} + k_{рад}), \quad (2.7)$$

где  $k_{об}$  — удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C), определяется в соответствии с прил. Ж [1];  $k_{вент}$  — удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);  $k_{быт}$  — удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);  $k_{рад}$  — удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);  $\beta_{кпи}$  — коэффициент полезного использования теплопоступлений, определяемый по формуле:

$$\beta_{кпи} = \frac{K_{рег}}{1 + 0,5\eta_b}, \quad (2.8)$$

где  $K_{рег}$  — коэффициент эффективности регулирования подачи теплоты в системах отопления с местными терморегуляторами и центральным авторегулированием на вводе, равный 0,9 по данным [1];  $\eta_b$  — средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период.

Удельную вентиляционную характеристику здания следует определять по формуле

$$k_{вент} = \frac{0,28c(L_{вент}\rho_b^{вент}n_{вент}(1 - k_{эф}) + G_{инф}n_{инф})}{168V_{от}}, \quad (2.9)$$

где  $c$  — удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);  $\rho_b^{вент}$  — средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле:

$$\rho_b^{вент} = \frac{353}{273 + t_{от}}. \quad (2.10)$$

$L_{вент}$  — расход приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке, м<sup>3</sup>/ч, для жилого здания определяется по формуле

$$L_{вент} = 0,35A_{об}h_{эт}, \quad (2.11)$$

где  $A_{об}$  — общая площадь квартир, м<sup>2</sup>;  $h_{эт}$  — высота этажа от пола до потолка, м;  $n_{вент}$  — число часов работы механической вентиляции в течение недели;  $G_{инф}$  — расход инфильтрующегося воздуха в здание;  $n_{инф}$  — число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией;  $k_{эф}$  — коэффициент эффективности рекуператора.

Удельную характеристику бытовых тепловыделений жилых зданий, Вт/(м<sup>3</sup>·°C), следует определять по формуле

$$k_{быт} = \frac{q_{быт}A_{ж}}{V_{от}(t_b - t_{от})}, \quad (2.12)$$

где  $A_{ж}$  — площадь жилых помещений, м<sup>2</sup>;  $q_{быт}$  — величина бытовых тепловыделений на 1 м площади, принимается для жилых зданий 17 Вт/м<sup>2</sup>.



Удельную характеристику теплоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м<sup>3</sup>·°С), следует определять по формуле

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{V_{\text{от}} \text{ГСОП}}, \quad (2.13)$$

где  $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$  — теплоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год; для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяются по методике раздела 10 [2]:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \sum_j I_j^{\text{вер}} \cdot \sum_{l=1}^L g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl}, \quad (2.14)$$

где  $I_j^{\text{вер}}$  — суммарная солнечная радиация за отопительный период для вертикальной поверхности, ориентированной по направлению  $j$ , МДж/год·м<sup>2</sup>;  $A_{jl}$  — площадь окон, ориентированных по направлению  $j$ , м<sup>2</sup>;  $g_{jl}$  — коэффициент общего пропускания солнечной энергии для окон, определяемый по прил. Б [2];  $\tau_{2jl}$  — коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, отн. ед., определяемый по формуле

$$\tau_{2jl} = \frac{1}{A_0} \sum_{l'=1}^{L'} \left[ A_{l'} \cdot \left( 1 - \frac{2(1-\rho_i)}{\beta_i(2-\rho_i)} \right) \right], \quad (2.15)$$

где  $\beta_i$  — индекс  $i$ -й ячейки переплета, отн. ед.; для переплета прямоугольной формы рассчитывается по формуле

$$\beta_i = \frac{2a_i b_i}{d_i \sqrt{\pi} (a_i + b_i)}, \quad (2.16)$$

где  $d_i$  — толщина  $i$ -й ячейки переплета, м;  $A_0$  — площадь оконного блока по наружному обмеру, м<sup>2</sup>;  $A_{l'}$  — площадь  $i$ -й ячейки в свету, м<sup>2</sup>;  $a_i, b_i$  — ширина и высота  $i$ -й ячейки в свету, м;  $\rho_i$  — коэффициент диффузного отражения внутренних граней  $i$ -й ячейки, отн. ед.

Суммарная (прямая плюс рассеянная) солнечная радиация на вертикальную поверхность  $I_j^{\text{верт}}$ , МДж/год·м<sup>2</sup>, при действительных условиях облачности за отопительный период для климатического района строительства определяется по формуле

$$I_j^{\text{вер}} = \sum_{i=1}^m \left( S_i^{\text{гор}} K_{\text{ГВ}ji} + \frac{D_i^{\text{гор}}}{2} + \frac{I_i^{\text{гор}} \cdot A_{ki}}{200} \right), \quad (2.17)$$

где  $S_i^{\text{гор}}$  — прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в  $i$ -м месяце отопительного периода, МДж/м<sup>2</sup>;  $K_{\text{ГВ}ji}$  — коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную для  $i$ -го месяца отопительного периода для  $j$ -й ориентации фасада;  $D_i^{\text{гор}}$  — рассеянная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в  $i$ -м месяце отопительного периода, МДж/м<sup>2</sup>;  $I_i^{\text{гор}}$  — суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при средней облачности, МДж/м<sup>2</sup>;  $A_{ki}$  — альbedo подстилающей поверхности в  $i$ -м месяце отопительного периода, %.

## 2.4. Определение класса энергетической эффективности здания

Для оценки достигнутой в проекте здания или в эксплуатируемом здании потребности энергии на отопление и вентиляцию установлены следующие классы энергосбережения (табл. 2.4), % отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины.

Таблица 2.4

**Классы энергосбережения жилых и общественных зданий**

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
<b>При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий</b>			
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	
<b>При эксплуатации существующих зданий</b>			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос

Проектирование зданий с классами энергосбережения D, E не допускается. Классы A, B, C устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации.

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год),

$$q = 0,024 \text{ГСОП} q_{\text{от}}^{\text{п}}. \quad (2.18)$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), определяется по формуле

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \text{ГСОП} q_{\text{от}}^{\text{п}} V_{\text{от}}. \quad (2.19)$$

Общие теплопотери здания за отопительный период, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), определяются по формуле

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} (k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}). \quad (2.20)$$

Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий  $q_{\text{от}}^{\text{нп}}$  определяется по табл. 14 [1] в зависимости от типа и этажности здания.

Для определения класса энергетической эффективности здания необходимо определить величину отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, %, от нормируемой (базовой) величины:

$$\frac{q_{от}^p - q_{от}^{тр}}{q_{от}^{тр}} 100 \%. \quad (2.21)$$

## 2.5. Экономическая оценка увеличения тепловой защиты здания

Для экономической оценки доутепления наружных ограждающих конструкций здания существует два метода.

**Метод минимума приведенных затрат** — один из самых простых методов. В данном случае упрощенно считается, что на 1 м<sup>2</sup> одновременно осуществляются вложения капитальных затрат К. Эксплуатационные затраты Э зависят от количества тепловой энергии, требуемой для компенсации тепловых потерь через ограждающие конструкции, а, как известно, чем выше сопротивление теплопередаче, тем ниже потребность в теплоте.

Следовательно, получаем, что суммарные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции (приведенные затраты) в течение Т лет имеют вид

$$П = К + Т \cdot Э, \quad (2.22)$$

где единовременные капитальные затраты К, руб., складываются из стоимости дополнительного утепления наружных ограждений К<sub>ут</sub>, руб.; стоимости оборудования на отопление и охлаждение помещений К<sub>об</sub>, руб., и стоимости условий присоединения систем отопления и охлаждения к теплосети и электросети города К<sub>прис</sub>:

$$К = К_{ут} + К_{об} + К_{прис}. \quad (2.23)$$

Затраты на устройство теплоизоляции К<sub>ут</sub>, руб., по [3] вычисляются по формуле

$$К_{ут} = C_{ут} \cdot V_{ут}, \quad (2.24)$$

где C<sub>ут</sub> — удельная стоимость теплоизоляционного материала с работами по его установке, руб./м<sup>3</sup>; V<sub>ут</sub> — суммарный объем теплоизоляционного материала в конструкциях ограждений, м<sup>3</sup>.

Эксплуатационные затраты на отопление и охлаждение здания, руб./год, складываются из стоимости потребляемой электроэнергии системами кондиционирования Э<sub>эл</sub>, руб./год, из стоимости, связанной с потреблением тепловой энергии системой отопления Э<sub>т.от</sub>, руб./год, амортизационных отчислений на эксплуатацию оборудования Э<sub>ам</sub>, руб./год, и годовых расходов на оплату труда рабочих, обслуживающих оборудование систем, Э<sub>зп</sub>, руб./год:

$$Э = Э_{эл} + Э_{т.от} + Э_{ам} + Э_{зп}. \quad (2.25)$$

Затраты на потребление электроэнергии, руб./год, системой кондиционирования вычисляются по формуле [3]

$$Э_{эл} = Z_p \cdot N_{раб} \cdot N_{уст} \cdot C_{эл}, \quad (2.26)$$

где Z<sub>p</sub> — продолжительность работы оборудования в течение суток, ч; N<sub>раб</sub> — число рабочих дней в году; N<sub>уст</sub> — установочная мощность оборудования, кВт; C<sub>эл</sub> — стоимость электроэнергии, руб./(кВт·ч).

Затраты на потребление тепловой энергии, руб./год, за отопительный период системой отопления

$$Э_{т.от} = 0,0864 \frac{\sum Q_{от}}{4,19(t_B - t_{н5})} ГСОП \cdot C_m, \quad (2.27)$$

где 0,0864 = 86 400 · 10<sup>-6</sup>, здесь 86 400 — число секунд в сутках.

Амортизационные отчисления  $\Theta_{ам}$ , руб./год, определялись по формуле [80]

$$\Theta_{ам} = 1,2K^*/T_{ам}, \quad (2.28)$$

где  $K^*$  — капитальные затраты, руб., без учета стоимости присоединения к энергоснабжающим сетям.

Годовые расходы на оплату труда рабочих, обслуживающих оборудование систем, руб./год, определяются по формуле

$$\Theta_{зп} = C_{ср} \cdot N_{чел} \cdot n_{см} \cdot 12, \quad (2.29)$$

где  $C_{ср}$  — средняя ставка заработной платы рабочих, руб./мес.;  $N_{чел}$  — численность рабочих в бригаде;  $n_{см}$  — количество смен обслуживания в сутки.

Задача заключается в минимизации величины  $\Pi$  на 1 м<sup>2</sup> конструкции.

Упрощенно считается, что капитальные затраты линейно зависят от сопротивления теплопередаче ограждения (толщины утеплителя). В то же время чем больше сопротивление теплопередаче, тем меньше теплопотери и тем меньше затраты на отопление, и, следовательно, эксплуатационные затраты обратно пропорциональны сопротивлению теплопередаче. Таким образом, надо продифференцировать выражение (2.22) и приравнять к нулю производную, чтобы найти минимум приведенных затрат и соответствующее ему экономически целесообразное приведенное сопротивление теплопередаче.

Недостатком этой методики является то, что изменение капитальных затрат на конструкцию считается линейной функцией от ее сопротивления теплопередаче  $R_0$ . На самом деле по мере увеличения  $R_0$  капитальные затраты меняются скачкообразно. Так как  $K$  — это одно из слагаемых приведенных затрат  $\Pi$ , то дифференцирование выражения (2.22) становится некорректным.

**Метод совокупных дисконтированных затрат (СДЗ).** В современных условиях рыночной экономики методом выявления экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, а также наиболее предпочтительным и наглядным считается метод совокупных дисконтированных затрат (СДЗ) [3], которые рассчитываются по формуле

$$\text{СДЗ} = K \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T + \Theta \left[ \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T - 1 \right] \cdot \left(\frac{100}{p}\right), \quad (2.30)$$

где  $p$  — норма дисконта, %, равная среднерыночной банковской ставке по кредитам;  $K$  — капитальные затраты, руб., для соответствующего варианта;  $T$  — годы;  $\Theta$  — годовые эксплуатационные затраты по вариантам.

Суть метода заключается в том, что для оплаты дополнительного утепления здания привлекаются заемные средства (кредит банка). Если годовая экономия расходов на тепловую энергию в дополнительно утепленном варианте превзойдет годовой процент за кредит, то вариант рентабелен, если нет, то следует уменьшить толщину доутепления. При использовании выражения (2.30) удастся более корректно выявить экономическое превосходство одного варианта утепления над другим. Для определения срока окупаемости средств следует построить графики СДЗ для сравниваемых вариантов от  $T$  и найти точку их пересечения. Таким образом, метод позволяет не только найти вариант с минимальными СДЗ за заданное число лет, но и определить, за какое время дополнительные затраты окупятся.

### 3. РАСЧЕТ ТРАНСМИССИОННЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ

В соответствии с СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» система отопления жилого здания должна обеспечивать нормируемую температуру воздуха в помещении, учитывая:

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)