

Кафедра теплогазоснабжения
и вентиляции

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе
для обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 Архитектура,
07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия,
07.03.04 Градостроительство

Составители: С.А. Тихомиров, А.А. Мелехин

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2021

УДК 697
ББК 38.762
И62

Рецензент — кандидат технических наук, доцент *С.М. Усигов*,
доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ

И62 **Инженерные системы и оборудование** [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе для обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 Архитектура, 07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия, 07.03.04 Градостроительство / сост.: С.А. Тихомиров, А.А. Мелехин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. — Электрон. дан. и прогр. (0,6 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/> — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях приводятся расчеты систем отопления, вентиляции и оборудования зданий.

Для обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 Архитектура, 07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия, 07.03.04 Градостроительство.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Редактор *Н.А. Котова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная правка, верстка *О.В. Суховой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 08.04.2021. Объем данных 0,6 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
Практическое занятие 1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (СТЕН, ПЕРЕКРЫТИЙ)	6
Практическое занятие 2 ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И В ТОЛЩЕ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ	10
Практическое занятие 3 ПОДБОР ОКОННЫХ БЛОКОВ	15
Практическое занятие 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	17
Практическое занятие 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ НА НАГРЕВ ИНФИЛЬТРУЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХА	19
Практическое занятие 6 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	21
Практическое занятие 7 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	23
Практическое занятие 8 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДОВ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА И ВЫБОР НАСОСА	25
Практическое занятие 9 РАСЧЕТ И ПОДБОР ЭЛЕВАТОРА	26
Практическое занятие 10 РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА ТЕПЛОВОГО ПУНКТА	28
Практическое занятие 11 РАСЧЕТ ГРЯЗЕВИКА	30
Практическое занятие 12 РАСЧЕТ РАСШИРИТЕЛЬНОГО БАКА	31
Практическое занятие 13 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЯ	32
Самостоятельная работа 1 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В НАРУЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	34
Самостоятельная работа 2 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТРУБОПРОВОДАМИ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ В ЗДАНИЯХ	35
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	36
ПРИЛОЖЕНИЕ. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ	37

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях приводятся материал и рекомендации для подготовки к практическим занятиям и самостоятельной работе, цель которой — приобретение обучающимися практических навыков расчетов инженерных систем и оборудования, а также методика теплотехнического расчета ограждающих конструкций здания, в том числе расчет:

- толщины утеплителя;
- проверки ограждающей конструкции на возможность выпадения водяных паров;
- теплопередачи стен, перекрытий, оконных блоков;
- тепловых потерь с ограждающих конструкций;
- тепловых потерь на подогрев инфильтрующего воздуха;
- теплового потока на отопление здания;
- трубопроводов системы отопления с подбором стояков, магистралей, отопительных приборов;
- элеваторного узла, грязевика, расширительного бака, теплообменника;
- вентиляционных каналов с подбором их габаритов, вентиляционных решеток;
- тепловых потерь в трубопроводах систем горячего водоснабжения зданий.

Кроме того приведен расчет тепловых потерь в наружных сетях теплоснабжения зданий по удельным характеристикам.

Практическое занятие 1

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (СТЕН, ПЕРЕКРЫТИЙ)

Определяем градусо-сутки отопительного периода (ГСОП), °С·сут/год:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) z_{\text{о.п}},$$

где $t_{\text{в}}$ — внутренняя температура помещений, °С (принимается по [2] или по табл. П1 приложения); $t_{\text{о.п}}$ — средняя температура за отопительный период, °С (принимается по [1]); $z_{\text{о.п}}$ — продолжительность отопительного периода, сут (принимается по [1]).

Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий) по [1] или по табл. П2 приложения, $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$. В случае необходимости проводим интерполяцию базовых значений по формуле

$$R_0^{\text{ТР}} = \frac{(R_6 - R_{\text{М}})}{(\text{ГСОП}_6 - \text{ГСОП}_{\text{М}})} (\text{ГСОП} - \text{ГСОП}_{\text{М}}) + R_{\text{М}},$$

где R_6 — большее значение базового требуемого сопротивления передаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$; $R_{\text{М}}$ — меньшее значение базового требуемого сопротивления передаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$; ГСОП_6 — большее значение градусо-суток согласно R_6 , °С·сут/год; $\text{ГСОП}_{\text{М}}$ — меньшее значение градусо-суток согласно $R_{\text{М}}$, °С·сут/год; ГСОП — определенное значение градусо-суток отопительного периода, °С·сут/год.

Определяем удельную теплозащитную характеристику здания:

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \sum \frac{n_i A_i}{R_{\text{o.i}}^{\text{ТР}}},$$

где $V_{\text{от}}$ — строительный отапливаемый объем (укрупненное значение принимается по наружному обмеру), м^3 ; n — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (для стен, окон — 1; чердачных перекрытий — 0,9; подвальных перекрытий — 0,6); A — площадь ограждающей конструкции (стен, перекрытий), м^2 ; $R_{\text{o.i}}^{\text{ТР}}$ — базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий) по [1], $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$.

Определяем требуемую защитную характеристику здания или принимаем по табл. П5 приложения:

$$k_{\text{об}}^{\text{ТР}} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{\text{от}}}}}{0,00013 \text{ ГСОП} + 0,61},$$

где $V_{\text{от}}$ — строительный отапливаемый объем (принимается по наружному обмеру), м^3 ; ГСОП — определенное значение градусо-суток отопительного периода, °С·сут/год.

Сравниваем полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания $k_{\text{об}}$ с допустимой величиной $k_{\text{об}}^{\text{ТР}}$. Если $k_{\text{об}} \leq k_{\text{об}}^{\text{ТР}}$, то комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется. Если нет, то подбираем базовые значения теплопередачи или проверяем расчет.

Определяем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_0^{\text{норм}} = m_p R_0^{\text{тр}},$$

где m_p — коэффициент (для стен — 0,63, для светопрозрачных конструкций — 0,95, для перекрытий и иных ограждающих конструкций — 0,8).

Определяем термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{\text{ут}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_{\text{ут}} = R_0^{\text{норм}} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right),$$

где $R_0^{\text{норм}}$ — нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (для всех ограждающих конструкций принимается — 8,7 $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$); $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (для стен — 23, для чердачных перекрытий — 12, подвальных перекрытий — 6, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$); δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м; λ_i — теплопроводность слоя ограждающей конструкции (по справочным данным), $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

Определяем толщину утеплителя:

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \cdot \lambda_{\text{ут}},$$

где $R_{\text{ут}}$ — термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; $\lambda_{\text{ут}}$ — теплопроводность утеплителя (по справочным данным [4]), $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

Принимаем толщину утеплителя с учетом запаса и линейки выпускаемой продукции.

Рассчитываем фактическое сопротивление теплопередаче с учетом принятого утеплителя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}},$$

где $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (принимается по табл. ПЗ приложения), $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (принимается по табл. П4 приложения), $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$; δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м; λ_i — теплопроводность слоя ограждающей конструкции, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

Рассчитываем коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций (стен, перекрытий), $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$:

$$K = \frac{1}{R_0^{\phi}},$$

где R_0^{ϕ} — фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Внутренняя температура помещений — 21 °С;

средняя температура наружного воздуха за отопительный период — -7,5 °С;

продолжительность отопительного периода — 213 сут;

строительный отапливаемый объем — 2192 м³;

площадь ограждающих конструкций (стен — 381 м²; окон — 94,5 м²; подвальных перекрытий — 378 м²; чердачных перекрытий — 378 м²);

значение базового требуемого сопротивления передаче стены при 8000 °С·сут/год — 4,2, м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления передаче стены при 6000 °С·сут/год — 3,5, м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления передаче перекрытия при 8000 °С·сут/год — 5,5, м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления передаче перекрытия при 6000 °С·сут/год — 4,6, м²·°С/Вт.

Расчет

1. Определяем градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{о.п}) z_{о.п} = (21 - (-7,5)) 213 = 6071.$$

2. Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий), м²·°С/Вт:

– для стен:

$$R_0^{тр} = \frac{(4,2 - 3,5)}{(8000 - 6000)} (6071 - 6000) + 3,5 = 3,52,$$

– для перекрытий:

$$R_0^{тр} = \frac{(5,5 - 4,6)}{(8000 - 6000)} (6071 - 6000) + 4,6 = 4,63.$$

3. Определяем удельную теплозащитную характеристику здания:

$$k_{об} = \frac{1}{2192} \left(\frac{1 \cdot 381,1}{3,52} + \frac{1 \cdot 94,5}{0,6} + \frac{0,6 \cdot 378}{4,63} + \frac{0,9 \cdot 378}{4,63} \right) = 0,18.$$

4. Определяем требуемую защитную характеристику здания:

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{2192}}}{0,00013 \cdot 6071 + 0,61} = 0,27.$$

5. Сравниваем полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания $k_{об}$ с допустимой величиной $k_{об}^{тр}$:

$$k_{об} \leq k_{об}^{тр}.$$

Комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется.

6. Определяем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

– для стен: $R_0^{\text{норм}} = m_p R_0^{\text{тп}} = 0,63 \cdot 3,52 = 2,22,$

– для перекрытий: $R_0^{\text{норм}} = m_p R_0^{\text{тп}} = 0,8 \cdot 4,63 = 3,7.$

7. Определяем термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{\text{ут}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_{\text{ут}} = 2,22 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{1}{23} \right) = 1,68.$$

8. Определяем толщину утеплителя, м:

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \lambda_{\text{ут}} = 1,68 \cdot 0,06 = 0,1008.$$

9. Принимаем толщину утеплителя с учетом запаса и линейки выпускаемой продукции — 110 мм.

10. Рассчитываем фактическое сопротивление теплопередаче с учетом принятого утеплителя, R_0^{ϕ} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \left(\frac{0,01}{0,76} + \frac{0,11}{0,06} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} \right) + \frac{1}{23} = 2,38.$$

11. Рассчитываем коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций (стен, перекрытий), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$:

– для стен:

$$K = \frac{1}{R_0^{\phi}} = \frac{1}{2,38} = 0,42,$$

– для перекрытий:

$$K = \frac{1}{R_0^{\phi}} = \frac{1}{3,7} = 0,27.$$

Практическое занятие 2

ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И В ТОЛЩЕ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

Конденсации водяных паров на внутренней поверхности наружного ограждения не происходит, если температура на данной поверхности $\tau_{в.п}$, °С, выше температуры точки росы t_p , °С, т.е. выполняется условие

$$\tau_{в.п} > t_p.$$

Определяем температуру на внутренней поверхности стены $\tau_{в.п}$, °С:

$$\tau_{в.п} = t_в - \frac{\frac{1}{\alpha_в}}{R_0^{\text{факт}}} (t_в - t_н),$$

где $R_0^{\text{факт}}$ — фактическое сопротивление теплопередаче с учетом принятого утеплителя, $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$;

$\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (принимается по табл. ПЗ приложения), $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°С}$;

$t_в$ — внутренняя температура помещений, °С (принимается по табл. П1 приложения);

$t_н$ — температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 °С (принимается по [2]).

Определяем точку росы t_p , °С:

$$t_p = 20,1 - \left(5,75 - 0,00206 \frac{E \varphi_в}{100} \right)^2,$$

где E — упругость водяных паров (принимается по [4]), Па; $\varphi_в$ — относительная влажность внутреннего воздуха в помещении.

Определяем общее сопротивление паропроницанию наружной стены $R_{о.п}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$, по формуле

$$R_{о.п} = R_{п.в} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{п.н},$$

где $R_{п.в}$ — сопротивление паропроницанию внутренней стенки (принимается как константа 0,0267), $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$; $R_{п.н}$ — сопротивление паропроницанию наружной стенки (принимается как константа 0,0052), $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$; μ_i — коэффициент паропроницания i -го слоя, $\frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$; δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м.

Определяем распределение температуры по сечению стены, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца — января $t_н = t_{х.м}$, °С:

$$t_x = t_в - \frac{\frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}}{R_{оп}} (t_в - t_{х.м}); \quad t_x = t_н + \frac{\frac{1}{\alpha_н} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}}{R_{оп}} (t_в - t_{х.м}),$$

где $R_{о.п}$ — общее сопротивление паропроницанию наружной стены, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$; $t_в$ — внутренняя температура помещений, °С (принимается по [1] или по табл. П1 приложения); $t_{х.м}$ — средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца, °С (принимается по [2]);

α_b — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (принимается по табл. П3 приложения), Вт/м °С; α_n — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (принимается по табл. П4 приложения) Вт/м·°С; μ_i — коэффициент паропроницания i -го слоя, $\frac{\text{мг}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}}$; δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м.

Определяем парциальное давление водяных паров влажного воздуха E , Па, в состоянии насыщения, соответствующее температуре в расчетных сечениях наружной стены по справочнику [4].

Определяем парциальное давление водяных паров в наружном и внутреннем воздухе по формулам, Па:

$$e_n = \frac{E_n \varphi_n}{100},$$

где E_n — упругость водяных паров в наружном воздухе, Па; φ_n — относительная влажность наружного воздуха, %.

$$e_b = \frac{E_b \varphi_b}{100},$$

где E_b — упругость водяных паров во внутреннем воздухе помещений, Па; φ_b — относительная влажность внутреннего воздуха в помещении, %.

Определяем распределение парциального давления водяных паров по сечению стены:

$$e_x = e_b - \frac{R_{п.в} + \sum_{i=1}^x R_i}{R_{п.в} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{п.н}} (e_b - e_n),$$

где $R_i = \frac{\delta_i}{\mu_i}$, здесь R_i — сопротивление паропроницанию части наружной стены от рассматриваемой точки до внутреннего и наружного воздуха, $\frac{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}}{\text{мг}}$;

$R_{п.в}$ — сопротивление влагоотдаче на внутренней поверхности стены, $R_{п.в} = 0,0267 \frac{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}}{\text{мг}}$;

$R_{п.н}$ — сопротивление влагоотдаче на наружной поверхности стены, $R_{п.н} = 0,0052 \frac{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}}{\text{мг}}$.

Строим графики $E = f(\delta)$, $e = f(\delta)$, Па. Если $E \geq e$, то конденсации водяных паров в толщине или на поверхности ограждающих конструкций не происходит. Если в какой-либо точке $E \geq e$ превышает, требуется нанесение пароизоляции перед соответствующим слоем. Если $e < E$, то конденсации водяных паров в толще ограждающей конструкции не происходит, в противном случае требуется нанесение пароизоляции перед соответствующим слоем.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Внутренняя температура помещений — 21 °С;

средняя температура наружного воздуха за наиболее холодный месяц — -16,3 °С;

фактическое сопротивление теплопередаче с учетом принятого утеплителя R_0^ϕ , $R_0^\phi = 2,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$;

температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 t_H ,
 t_H — -36 °С;

Решение

Определяем температуру на внутренней поверхности стены $t_{в.п}$, °С:

$$t_{в.п} = t_B - \frac{\frac{1}{\alpha_B}}{R_0^{\text{факт}}} (t_B - t_H) = 21 - \frac{1}{\frac{8,7}{2,38}} (21 - (-36)) = 18,25.$$

Определяем точку росы t_p , °С:

$$t_p = 20,1 - \left(5,75 - 0,00206 \frac{E \varphi_B}{100} \right)^2,$$
$$t_p = 20,1 - \left(5,75 - 0,00206 \frac{2488 \cdot 55}{100} \right)^2 = 11,51,$$

где E — упругость водяных паров при 21 °С — 2488, Па;

φ_B — относительная влажность внутреннего воздуха в помещении — 55 %.

Конденсации водяных паров на внутренней поверхности наружного ограждения не происходит, т.е. выполняется условие $t_{в.п} > t_p$.

Определяем общее сопротивление паропроницанию наружной стены $R_{0.п}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{Мг}}$, по формуле

$$R_{0.п} = R_{п.в} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{п.н} = 0,0267 + \frac{0,01}{0,09} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,11}{0,49} + \frac{0,01}{0,09} + 0,0052 = 2,75.$$

Определяем распределение температуры по сечению стены при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца — января $t_H = t_{х.м}$:

$$t_{в.п} = t_B - \frac{\frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}}{R_{0.п}} (t_B - t_{х.м}) = 21 - \frac{1}{\frac{8,7}{2,38}} (21 - (-16,3)) = 19,2 \text{ °С};$$

$$t_1 = 21 - \frac{\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76}}{2,38} (21 - (-16,3)) = 19 \text{ °С};$$

$$t_2 = 21 - \frac{\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,25}{0,7}}{2,38} (21 - (-16,3)) = 13,4 \text{ °С};$$

$$t_3 = 21 - \frac{\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,11}{2 \cdot 0,06}}{2,38} (21 - (-16,3)) = -1 \text{ °С};$$

$$t_4 = t_H + \frac{1}{\alpha_H} + \frac{\delta_i}{\mu_i} (t_B - t_{x.M}) = -16,3 + \frac{1}{23} + \frac{0,01}{0,76} (21 - (-16,3)) = -15,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{H.П} = -16,3 + \frac{1}{2,38} (21 - (-16,3)) = -15,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Определяем парциальное давление водяных паров влажного воздуха в состоянии насыщения, соответствующее температуре в расчетных сечениях наружной стены по [6]:

$$E_B = 2488 \text{ Па}; \quad E_{B.П} = 2225 \text{ Па}; \quad E_1 = 2197 \text{ Па}; \quad E_2 = 1537 \text{ Па};$$

$$E_3 = 563 \text{ Па}; \quad E_4 = 159 \text{ Па}; \quad E_{H.П} = 157 \text{ Па}; \quad E_H = 147 \text{ Па}.$$

Определяем парциальное давление водяных паров в наружном и внутреннем воздухе по формулам:

$$e_H = \frac{E_H \varphi_H}{100} = \frac{147 \cdot 78}{100} = 115 \text{ Па},$$

где E_H — упругость водяных паров в наружном воздухе, Па; φ_H — относительная влажность наружного воздуха, $\varphi_H = 78 \%$;

$$e_B = \frac{E_B \varphi_B}{100} = \frac{2488 \cdot 55}{100} = 1368 \text{ Па},$$

где E_B — упругость водяных паров во внутреннем воздухе помещений, Па; φ_B — относительная влажность внутреннего воздуха в помещении, $\varphi_B = 55 \%$.

Определяем распределение парциального давления водяных паров, Па, по сечению стены:

$$e_{B.П} = e_B - \frac{R_{П.X-B}}{R_{O.П}} (e_B - e_H) = 1368 - \frac{0,0267}{2,75} (1368 - 115) = 1365;$$

$$e_1 = 1368 - \frac{0,0267}{2,75} \frac{0,01}{0,09} (1368 - 115) = 1305;$$

$$e_2 = 1368 - \frac{0,0267}{2,75} \frac{0,01}{0,09} \frac{0,25}{0,11} (1368 - 115) = 270;$$

$$e_3 = 1368 - \frac{0,0267}{2,75} \frac{0,01}{0,09} \frac{0,25}{0,11} \frac{0,11}{2 \cdot 0,49} (1368 - 115) = 219;$$

$$e_4 = e_H + \frac{R_{П.X-H}}{R_{O.П}} (e_B - e_H) = 115 + \frac{0,0052 + \frac{0,01}{0,09}}{2,75} (1386 - 115) = 168;$$

$$e_{H.П} = 115 + \frac{0,0052}{2,75} (1386 - 115) = 117.$$

Строим графики $E = f(\delta)$, $e = f(\delta)$, Па (рисунок). Если $e < E$, то конденсации водяных паров в толще ограждающей конструкции не происходит. Если $e > E$ в какой-то точке, то требуется нанесение пароизоляции перед соответствующим слоем.

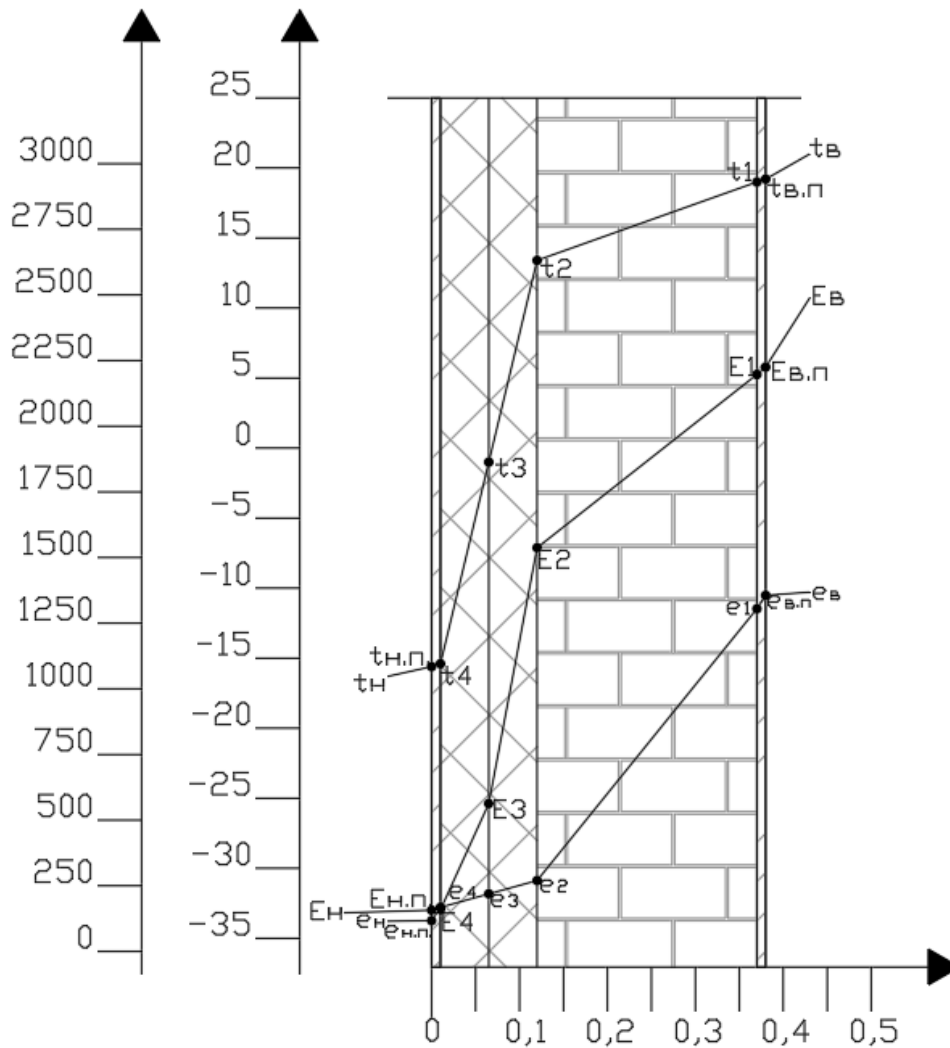


Рисунок. Схема ограждающей конструкции

Практическое занятие 3 ПОДБОР ОКОННЫХ БЛОКОВ

Определяем градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) z_{\text{о.п}}$$

Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче оконных блоков, м²·°С/Вт:

$$R_0^{\text{ТР}} = \frac{(R_{\text{б}} - R_{\text{м}})}{(\text{ГСОП}_{\text{б}} - \text{ГСОП}_{\text{м}})} (\text{ГСОП} - \text{ГСОП}_{\text{м}}) + R_{\text{м}}$$

Выбираем стеклопакет не менее базового (требуемого) значения сопротивления теплопередаче. Проверяем принятый тип заполнения оконных проемов на воздухопроницаемость и подбираем тип уплотнения притворов по условию

$$R_{\text{и}}^{\text{ф}} \geq R_{\text{и}}^{\text{ТР}}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг},$$

где $R_{\text{и}}^{\text{ф}}$ — фактическое сопротивление воздухопроницаемости; $R_{\text{и}}^{\text{ТР}}$ — требуемое сопротивление воздухопроницаемости.

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницаемости, м²·ч/кг:

$$R_{\text{и}}^{\text{ТР}} = \frac{1}{G^{\text{н}}} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3},$$

где $G^{\text{н}}$ — нормативная воздухопроницаемость окна в пластмассовых или алюминиевых переплетах для жилых и общественных зданий, $G^{\text{н}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}$; ΔP_0 — разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$.

Находим разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа ΔP , Па, по формуле

$$\Delta P = 0,55 H (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \gamma_{\text{н}} v^2,$$

где H — высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вентиляционной шахты, м; v — расчетная скорость ветра для холодного периода как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16 %, м/с.

Определяем удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха $\gamma_{\text{н}}$, $\gamma_{\text{в}}$, Н/м³, в зависимости от наружной и внутренней температуры по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}$$

Рассчитываем коэффициенты теплопередачи для оконных блоков, Вт/м²·°С:

$$K = \frac{1}{R_0^{\text{ф}}}$$

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Расчетное требуемое сопротивление теплопередаче для окна равно: $R_{0,ок}^{тр} = 0,6 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$.

Решение

1. Для установки в здании принимаем конструкцию окна из двухкамерного стеклопакета из обычного стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном с сопротивлением теплопередаче:

$$R_{0,ок}^{пр} = 0,65 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт};$$

$$R_{и}^{\phi} = 0,4 \frac{м^2 \cdot ч}{кг}.$$

2. Определяем удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха γ_n, γ_v , $Н/м^3$, в зависимости от наружной и внутренней температуры по формуле

– для внутреннего воздуха:

$$\gamma_v \frac{3463}{273 + t_v} = \frac{3463}{273 + 21} = 11,78 \frac{Н}{м^3},$$

– для наружного воздуха:

$$\gamma_n \frac{3463}{273 + t_n} = \frac{3463}{273 - 36} = 14,61 \frac{Н}{м^3}.$$

3. Находим разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа ΔP по формуле $\Delta P = 0,55 H (\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \gamma_n v^2 = 0,55 \cdot 9,8 (14,61 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,61 \cdot 4^2 = 22 \text{ Па}$, где $H = 9,8 \text{ м}$; $v = 4 \text{ м/с}$.

4. Определяем требуемое сопротивление воздухопроницаемости:

$$R_{и}^{тр} = \frac{1}{G_{и}} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3} = \frac{1}{5} \left(\frac{22}{10} \right)^{2/3} = 0,34 \frac{м^2 \cdot ч}{кг},$$

$R_{и}^{\phi} > R_{и}^{тр}$ — условие выполняется.

5. Рассчитываем коэффициенты теплопередачи для оконных блоков:

$$K = \frac{1}{R_0^{\phi}} = \frac{1}{0,65} = 1,54 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}.$$

Практическое занятие 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Тепловая мощность системы отопления Q_p , Вт, определяется по формуле

$$Q_p = Q_{т.п} + Q_{инф} - Q_{быт},$$

где $Q_{т.п}$ — тепловые потери через ограждающие конструкции; $Q_{инф}$ — затраты теплоты на подогрев инфильтрующего воздуха в помещении; $Q_{быт}$ — бытовые тепловыделения в помещении.

Тепловые потери через ограждающие конструкции помещения $Q_{т.п}$, Вт, определяются следующим образом:

$$Q_{т.п} = k A (t_b - t_n) n (1 + \sum \beta),$$

где k — коэффициент теплопередачи отдельной ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С); t_n — расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92) при расчете тепловых потерь через наружные ограждения, °С; t_b — температура внутри расчетного помещения, °С; A — площадь ограждающей конструкции, м²; n — коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; β — коэффициент, учитывающий добавочные потери.

Добавочные тепловые потери β_2 , связанные с поступлением холодного воздуха через наружные двери, принимают в размере 0,27*H* для двойных дверей с тамбуром между ними и 0,22*H* — для одинарных (*H* — высота здания от уровня земли до устья вентиляционной шахты).

Коэффициент теплопередачи k для окон записан как разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены. В связи с этим при расчете тепловых потерь через стену не требуется вычитать площадь окон из площади стены. Сумма тепловых потерь через наружные стены и окна при этом не изменится.

Ориентацию ограждения по сторонам света принято обозначать: ЮВ — юго-восток; ЮЗ — юго-запад; Ю — юг; С — север; СВ — северо-восток; СЗ — северо-запад; З — запад; В — восток. Добавочные тепловые потери β_1 на ориентацию наружных стен, окон и дверей в долях от основных принимают в следующих размерах: для конструкций, ориентированных на С, СВ, СЗ и В — 0,1; З и ЮВ — 0,05; ЮЗ и Ю — 0. Заполняем табл. 1.

Определяем общий тепловой поток на отопление здания, Вт:

$$Q = k Q_p \beta_1 \beta_2,$$

где Q_p — общие тепловые потери и тепловыделения, Вт; k — поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери, связанные с охлаждением теплоносителя в магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях (при прокладке обеих магистралей в техподполье или подвале — $k = 1,03$, при прокладке одной из магистралей на чердаке — $k = 1,1$); β_1 — коэффициент, учитывающий дополнительный тепловой поток отопительных приборов за счет округления их площади сверх расчетной величины, принимается $\beta_1 = 1,04$; β_2 — коэффициент, учитывающий дополнительные тепловые потери приборов, расположенных у наружных ограждений, принимается $\beta_2 = 1,04$.

Определяем общий расход воды в системе отопления, кг/ч:

$$G = \frac{3,6 Q}{c (t_n - t_o)},$$

где Q — расчетное теплоснабжение системы отопления здания, Вт; c — удельная теплоемкость теплоносителя в системе отопления, принимается по справочным данным при температуре 95 °С равной 4,208, кДж/(кг·°С); t_n — температура теплоносителя на входе в систему отопления, °С; t_o — температура теплоносителя на выходе из системы отопления, °С.

Практическое занятие 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПТЕРЬ НА НАГРЕВ ИНФИЛЬТРУЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХА

Определяем тепловые потери на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже:

$$Q_{\text{инф}} = q_{\text{инф}} \sum A_{\text{ок}},$$

где $\sum A_{\text{ок}}$ — суммарная площадь окон в помещении, м²; $q_{\text{инф}}$ — удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже, Вт/м².

Определяем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже, Вт/м²:

$$q_{\text{инф}} = 0,278 c_v \beta_{\text{э}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) G_0,$$

где c_v — массовая теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С); $\beta_{\text{э}}$ — экономизерный коэффициент для окон в спаренных переплетах, $\beta_{\text{э}} = 1,0$; $t_{\text{в}}$ — внутренняя температура воздуха в помещении, °С; $t_{\text{н}}$ — расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 °С; G_0 — удельный расход инфильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч).

Определяем удельный расход инфильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч):

$$G_0 = \frac{1}{R_{\text{и}}^{\Phi}} \left(\frac{P}{10} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где $R_{\text{и}}^{\Phi}$ — фактическое сопротивление воздухопроницанию окна, м²·ч/кг;

P — расчетная разность давлений с двух сторон окон, Па.

Определяем расчетную разность давлений с двух сторон окон, Па:

$$P = 5,4 H (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) + 0,29 \rho_{\text{н}} v^2,$$

где v — расчетная скорость ветра для холодного периода как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16 %, м/с (определяем по данным табл. 2 [1]).

Рассчитываем плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{в}}$, кг/м³, в зависимости от наружной и внутренней температуры по формуле

$$\rho = \frac{3463}{273 + t}$$

Пример расчета

Исходные данные для расчета

1. Фактическое сопротивление воздухопроницанию окна $R_{и.ф}$, $R_{и.ф} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}$.
2. Скорость ветра V , $V = 4 \text{ м/с}$.
3. Высота от середины окна до устья вентиляционной шахты H ; $H_1 = 8,3 \text{ м}$, $H_2 = 5,4 \text{ м}$.
4. Температура наружного воздуха — $-36 \text{ }^\circ\text{C}$; температура внутреннего воздуха в помещениях — $21 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. Размеры окон на 1, 2 этаже: ширина — $1,5 \text{ м}$, высота — $1,5 \text{ м}$.

Расчет

1. Определяем плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3 :

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_n} = \frac{353}{273 + (-36)} = 1,49;$$

$$\rho_v = \frac{353}{273 + t_v} = \frac{353}{273 + 21} = 1,2.$$

2. Определяем расчетную разность давлений с двух сторон окон, Па:

$$P_1 = 5,4 \cdot 8,3 (1,49 - 1,2) + 0,29 \cdot 1,49 \cdot 4^2 = 19,91;$$

$$P_2 = 5,4 \cdot 5,4 (1,49 - 1,2) + 0,29 \cdot 1,49 \cdot 4^2 = 15,37.$$

3. Определяем удельный расход инфильтрующегося воздуха, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$:

$$G_1 = 1/0,4 (P_1/10)^{2/3} = 3,96;$$

$$G_2 = 1/0,4 (P_2/10)^{2/3} = 3,33.$$

4. Определяем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт/м^2 :

$$q_{инф1} = 0,278 \cdot 1,005 \cdot 1 (21 - (-36)) 3,96 = 63,01;$$

$$q_{инф2} = 0,278 \cdot 1,005 \cdot 1 (21 - (-36)) 3,33 = 53,02.$$

5. Определяем тепловые потери на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт:

$$Q_{инф1} = 63,01 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 142;$$

$$Q_{инф2} = 53,02 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 119.$$

Практическое занятие 6 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Гидравлический расчет производится методом удельных линейных потерь давления. В тупиковых системах расчет ведется через дальние, наиболее нагруженные участки. Для этого выбирается главное циркуляционное кольцо — самое неблагоприятное направление для воды, по которому прежде всего подбираются диаметры отопительных труб. Все остальные второстепенные кольца, возникающие в этой системе, должны увязываться с главным. В попутной системе расчет ведется через средний наиболее нагруженный стояк.

Определяем расчетное циркуляционное давление в системе по формуле

$$\Delta P_p = \Delta P_n + B \Delta P_e,$$

где ΔP_n — расчетное циркуляционное насосное давление, Па; B — безразмерный коэффициент, зависящий от типа системы, для двухтрубной системы принимается $B = 0,4$; ΔP_e — расчетное циркуляционное естественное давление, Па.

Определяем естественное давление по формуле

$$\Delta P_e = g h \beta (t_r - t_o),$$

где g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; h — высота от центра нагревания системы до центра охлаждения рассматриваемого прибора (в данном случае прибора первого этажа); β — коэффициент объемного расширения воды, показывающий приращение плотности жидкости при уменьшении ее температуры на $1 \text{ }^\circ\text{C}$, принимаем $\beta = 0,64 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; t_r — температура воды в подающей магистрали системы, $^\circ\text{C}$; t_o — температура воды в обратной магистрали системы, $^\circ\text{C}$.

Определяем основное циркуляционное кольцо и его параметры. Расчет основного циркуляционного кольца заключается в подборе диаметров участков основного циркуляционного кольца (ОЦК) таким образом, чтобы фактические суммарные потери давления на всех участках ОЦК составляли 90–95 % от расчетного располагаемого давления. Чтобы рассчитать потери на местные сопротивления, необходимо определить сумму коэффициентов местных сопротивлений на каждом участке. Коэффициенты местных сопротивлений участков ОЦК сведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет сумм коэффициентов местных сопротивлений участков ОЦК

№ участка	Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (одного элемента) ζ	Количество местных сопротивлений N	Коэффициент местных сопротивлений (всех элементов) $N \zeta$
1	2	3	4	5

Тогда средние удельные потери давления на трение для рассматриваемого второстепенного кольца составят:

$$R_{\text{ср}} = 0,65 \frac{\Delta P_p}{\sum l_{\text{оцк}}},$$

где 0,65 — коэффициент, учитывающий долю потерь давления на трение; ΔP_p — расчетное располагаемое давление для расчета системы отопления, Па; $\sum l_{\text{оцк}}$ — сумма длин участков ОЦК, м.

Диаметры подбираются по значению $R_{\text{ср}}$ таким образом, чтобы фактические удельные потери на трение приближались к значению $R_{\text{ср}}$, причем желательно подбирать диаметры магистралей по возможности больше, а диаметры стояков — меньше.

Гидравлический расчет основного циркуляционного кольца сведен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты гидравлического расчета ОЦК

Данные по схеме ОЦК				Принято						
№ участка	Тепловая нагрузка участка Q , Вт	Расход воды на участке G , кг/ч	Длина участка l , м	Диаметр условного прохода D_y , мм	Скорость движения воды w , м/с	Потери давления на трение		Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \zeta$	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Сумма потерь давления $Rl + Z$, Па
						Па/м	По длине участка Rl , Па			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
										$\sum Rl + Z$

Практическое занятие 7

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Тепловой расчет отопительных приборов заключается в определении площади нагревательной поверхности приборов с учетом тепlopоступлений от прокладываемых в помещении теплопроводов, а также в выборе размеров (марок) приборов (или определении числа их элементов).

Расчетная площадь наружной поверхности приборов A_p , м², определяется по формуле

$$A_p = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}},$$

где $Q_{\text{пр}}$ — требуемая теплоотдача отопительного прибора, Вт; $q_{\text{пр}}$ — поверхностная плотность теплового потока прибора, Вт/м².

Требуемая площадь прибора рассчитывается с учетом теплоотдачи труб (стояков, подводов, ветвей), открыто проложенных в отапливаемых помещениях (при прокладке труб в скрытой стене или стяжке пола их теплоотдача не учитывается):

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{п}} - 0,9 Q_{\text{тр}},$$

где $Q_{\text{п}}$ — расчетные тепловые потери помещения или их доля, приходящаяся на данный прибор, если в помещении он не один, Вт; $Q_{\text{тр}}$ — суммарная теплоотдача открыто проложенных труб, Вт.

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} l_{\text{в}} + q_{\text{г}} l_{\text{г}},$$

где $q_{\text{в}}$, $q_{\text{г}}$ — теплоотдача 1 м соответственно вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м, определяемая для неизолированных труб по табл. II.24 [5] в зависимости от диаметра и положения, а также разности температур теплоносителя t_t и воздуха в помещении $t_{\text{в}}$; $l_{\text{в}}$, $l_{\text{г}}$ — длина соответственно вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения, м.

Теплоотдача 1 м изолированных труб определяется по табл. II.24 [5]. Действительный тепловой поток отопительного прибора $Q_{\text{пр}}$, Вт (теплоноситель — вода) определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ном}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p b \psi c,$$

где $Q_{\text{ном}}$ — номинальный тепловой поток прибора, Вт, определяемый по данным фирмы-производителя; n , p , c — экспериментальные числовые показатели по табл. 9.2 [5]; b — коэффициент учета атмосферного давления в районе строительства, принимается по табл. 9.1 [5] (расчетное барометрическое давление определяется по справочнику); ψ — коэффициент учета направления движения воды в приборе.

Средний температурный напор в отопительном приборе при теплоносителе воде $\Delta t_{\text{ср}}$, °С, определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}},$$

где $t_{\text{ср}}$ — средняя температура воды в приборе, °С; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении, °С.

Практическое занятие 8

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДОВ ТЕПЛООВОГО ПУНКТА И ВЫБОР НАСОСА

Определяем гидравлические потери теплопроводов теплового пункта по формуле

$$\Delta P_{\text{т.п}} = \sum(Rl + Z),$$

где R — удельные потери давления на трение, Па/м; l — суммарная длина теплопроводов системы отопления в тепловом пункте, м; Z — потери давления на местные сопротивления теплопроводов в тепловом пункте, определяемые по сумме коэффициентов местного сопротивления, Па.

Определяем потери давления в межтрубном пространстве теплообменника:

$$\Delta P_{\text{т.о}} = 10^4 A \omega_{\text{м.пр}}^2 n,$$

где A — коэффициент, принимаемый в зависимости от конструкции принятого теплообменника; $\omega_{\text{м.пр}}$ — скорость теплоносителя в межтрубном пространстве, м/с; n — число секций теплообменника, шт.

Определяем расчетное насосное циркуляционное давление по формуле

$$\Delta P_{\text{с.о}} = \Delta P_{\text{ц.н}} - \Delta P_{\text{т.п}} - \Delta P_{\text{т.о}},$$

где $\Delta P_{\text{ц.н}}$ — циркуляционное давление, развиваемое насосом при данном расходе; $\Delta P_{\text{т.п}}$ — потери давления в теплопроводах теплового пункта; $\Delta P_{\text{т.о}}$ — потери давления в водоводяном подогревателе.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Требуется подобрать циркуляционный насос системы отопления. Циркуляционный насос подбираем по каталогу фирмы “Grundfos”. Выбор осуществляется по значению расхода воды в системе таким образом, чтобы давление, развиваемое насосом, составляло 20–40 кПа. Расход воды в системе отопления составляет $G_c = 2181$ кг/ч.

Принимаем в соответствии с изложенными выше положениями насос производства фирмы “Grundfos” серии UPS марки UPS 25-55 180 2.

Основные характеристики насоса:

- расход перемещаемой жидкости $G_n, G_n = 2181$ кг/ч;
- давление, развиваемое насосом $\Delta P_{\text{ц.н}}, \Delta P_{\text{ц.н}} = 25\,312$ Па;
- мощность, потребляемая электродвигателем $N, N = 0,084$ кВт.

Насос принадлежит к типу современных циркуляционных насосов серии “in-line”, закрепляемых непосредственно на трубах систем отопления.

Расчет

Определяем гидравлические потери теплопроводов теплового пункта:

$$\Delta P_{\text{т.п}} = \sum(Rl + Z) = 87,64 \cdot 21,85 + 2867 = 4778 \text{ Па},$$

где Rl — общие удельные потери давления на трение, $Rl = 87,64$ Па; Z — потери давления на местные сопротивления теплопроводов в тепловом пункте, $Z = 2867$ Па.

Определяем потери давления в межтрубном пространстве теплообменника:

$$\Delta P_{\text{т.о}} = 10^4 A \omega_{\text{м.пр}}^2 n = 10^4 \cdot 0,926 \cdot 0,55^2 \cdot 3 = 8393 \text{ Па},$$

где A — коэффициент, принимаемый в зависимости от конструкции принятого теплообменника, принимаем 0,926; $\omega_{\text{м.пр}}$ — скорость теплоносителя в межтрубном пространстве, $\omega_{\text{м.пр}} = 0,55$ м/с; n — число секций теплообменника, $n = 3$ шт.

Определяем расчетное насосное циркуляционное давление по формуле

$$\Delta P_{\text{с.о}} = \Delta P_{\text{ц.н}} - \Delta P_{\text{т.п}} - \Delta P_{\text{т.о}} = 25\,312 - 4778 - 8393 = 12\,141 \text{ Па}.$$

Практическое занятие 9 РАСЧЕТ И ПОДБОР ЭЛЕВАТОРА

Определяем коэффициент смещения элеватора:

$$U = \frac{T_1 - t_1}{t_1 - T_2},$$

где T_1 — температура теплоносителя на выходе из магистральной тепловой сети, °С; T_2 — температура теплоносителя на входе в магистральную тепловую сеть, °С; t_1 — температура теплоносителя на входе в систему отопления здания после элеватора, °С.

Определяем напор перед элеватором, м:

$$H = 1,4 H_{c.o} (1 + U)^2,$$

где $H_{c.o}$ — потери в теплопроводах, Па.

Определяем диаметр горловины элеватора d_r , мм, по формуле

$$d_r = 9,0 \sqrt[4]{\frac{G_{c.o}^2 (1 + U)^2}{H_{c.o}}},$$

где $G_{c.o}$ — расчетный расход воды на отопление из тепловой сети, кг/ч.

Определяем диаметр смещения элеватора d_c , мм:

$$d_c = 9,6 \sqrt[4]{\frac{H_{c.o}^2}{H}}.$$

Номер элеватора выбираем по диаметру горловины d_r в зависимости от располагаемой разности давлений в подающем и обратном теплопроводе на вводе в здание (табл. 5).

Таблица 5

Конструктивные характеристики элеваторных узлов марки

Номер элеваторов	Диаметр горловины, мм	Длина, мм	Диаметр сопла, мм
1	15	360	3–8
2	20	440	4–8
3	25	570	6–10
4	30	620	7–12

Пример расчета

1. Определяем коэффициент смещения элеватора:

$$U = \frac{T_1 - t_1}{t_1 - T_2} = \frac{150 - 95}{95 - 70} = 2,2,$$

где T_1 — температура теплоносителя на выходе из магистральной тепловой сети, $T_1 = 150$ °С;
 T_2 — температура теплоносителя на входе в магистральную тепловую сеть, $T_2 = 70$ °С;
 t_1 — температура теплоносителя на входе в систему отопления здания после элеватора, $t_1 = 95$ °С.

2. Определяем напор перед элеватором, м:

$$H = 1,4 H_{c.o} (1 + U)^2 = 1,4 \cdot 0,349 (1 + 2,2)^2 = 5,0 \text{ м},$$

где $H_{c.o}$ — потери в теплопроводах, $H_{c.o} = 3425$ Па или 0,349 м.

3. Определяем диаметр горловины элеватора d_r , мм, по формуле

$$d_r = 9,0 \cdot \sqrt{\frac{1,119^2 (1 + 2,2)^2}{5,0}} = 11,34 \text{ мм},$$

где $G_{c.o}$ — расчетный расход воды на отопление из тепловой сети, $G_{c.o} = 1119$ кг/ч.

Принимаем 15 мм по линейке выпускаемых элеваторов.

4. Определяем диаметр смещения элеватора, мм:

$$d_c = 9,6 \sqrt{\frac{1,119^2}{5,0}} = 6,79 \text{ мм},$$

где $G_{c.o}$ — расчетный расход воды на отопление из тепловой сети, $G_{c.o} = 1,119$ т/ч.

Принимаем 7 мм. Выбираем элеватор 1 с диаметром горловины $d_r = 15$ мм и диаметром сопла $d_c = 7$ мм.

Практическое занятие 10 РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

Вычисляем ориентировочное живое сечение для прохода воды в трубном и межтрубном пространстве:

$$f_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{тр}}}{\rho_{\text{тр}} \omega_{\text{тр}}},$$
$$f_{\text{мтр}} = \frac{G_{\text{мтр}}}{\rho_{\text{мтр}} \omega_{\text{мтр}}},$$

где $\omega_{\text{тр}}$, $\omega_{\text{мтр}}$ — ориентировочная скорость воды в трубном и межтрубном пространстве соответственно, м/с; принимаем $\omega_{\text{тр}} = \omega_{\text{мтр}} = 1$ м/с; $\rho_{\text{тр}}$, $\rho_{\text{мтр}}$ — плотность воды в трубном и межтрубном пространстве соответственно, кг/м³.

По величине $f_{\text{тр}}$ и $f_{\text{мтр}}$ выбираем теплообменник и определяем его основные характеристики (по каталогу производителя):

- площадь поверхности нагрева одной секции F_0 , м²;
- длина одной секции l_1 , м;
- площадь живого сечения трубок $f_{\text{тр}}$, м²;
- площадь межтрубного пространства $f_{\text{мтр}}$, м²;
- внутренний диаметр корпуса теплообменника $D_{\text{в}}$, м;
- наружный диаметр трубок $d_{\text{н}}$, м;
- внутренний диаметр трубок $d_{\text{вн}}$, м;
- количество трубок в одной секции z , шт.

Уточняем фактические скорости.

Вычисляем коэффициент теплообмена в трубном и межтрубном пространстве:

$$\alpha = 1,16 (1210 + 18 t_{\text{ср}} - 0,038 t_{\text{ср}}^2) \frac{\omega^{0,8}}{d^{0,2}},$$

где $t_{\text{ср}}$ — средняя температура теплоносителя, °С; ω — скорость воды, м/с; d — эквивалентный диаметр, м.

Для трубного пространства: $t_{\text{ср}} = 0,5 (T_1 + T_2)$.

Для межтрубного пространства: $t_{\text{ср}} = 0,5 (T_{\text{г}} + T_0)$.

Для межтрубного пространства:

$$d_{\text{экв}} = \frac{D_{\text{в}}^2 - z d_{\text{н}}^2}{D_{\text{в}} d_{\text{н}}}.$$

Вычисляем коэффициент теплопередачи теплообменника:

$$K = \frac{\Psi \cdot \beta}{\frac{1}{\alpha_{\text{тр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{мтр}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}},$$

где Ψ — коэффициент эффективности теплообмена, принимаем $\Psi = 1,65$; β — коэффициент загрязнения поверхности труб, принимаем $\beta = 0,8$; $\alpha_{\text{тр}}$, $\alpha_{\text{мтр}}$ — коэффициенты теплообмена в трубном и межтрубном пространстве соответственно, Вт/(м²·°С).

Находим среднюю логарифмическую разность температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(T_1 - t_r) - (T_2 - t_o)}{2,3 \lg \frac{(T_1 - t_r)}{(T_2 - t_o)}}.$$

Находим требуемую поверхность нагрева:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{cp}}}.$$

Находим число секций:

$$n = \frac{F}{F_0},$$

где F — требуемая поверхность нагрева, м^2 ; F_0 — площадь поверхности нагрева одной секции, м^2 .

Потери давления в межтрубном пространстве теплообменника:

$$\Delta P_{\text{т.о}} = 10^4 A \omega_{\text{мтр}}^2 n,$$

где A — коэффициент, принимаемый в зависимости от конструкции принятого теплообменника.

Практическое занятие 11

РАСЧЕТ ГРЯЗЕВИКА

Скорость воды в грязевике не должна превышать 0,05 м/с. Она определяется по формуле

$$\omega = \frac{G}{3600 \rho (H - h) D},$$

где H — высота корпуса грязевика, м; h — высота от дна корпуса до оси подводящего патрубка, м; G — расход теплоносителя, л/с; ρ — плотность теплоносителя, кг/м³.

Пример расчета

Грязевик подбираем по диаметру подводящих патрубков. При диаметре $D_y = 40$ мм принимаем:

- диаметр корпуса — $D = 216$ мм;
- высота корпуса — $H = 350$ мм;
- высота от дна корпуса до оси подводящего патрубка — $h = 275$ мм.

Скорость воды в грязевике не должна превышать 0,05 м/с. Она определяется по формуле

$$\omega = \frac{G}{3600 \rho (H - h) D} = \frac{2781}{3600 \cdot 971 (0,35 - 0,275) 0,216} = 0,039 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Если скорость воды в грязевике меньше требуемой (0,05 м/с), то грязевик подобран правильно.

Практическое занятие 12

РАСЧЕТ РАСШИРИТЕЛЬНОГО БАКА

Полезный объем открытого расширительного бака определяем в зависимости от объема воды в системе отопления по формуле

$$V_{\text{полн}} = k \cdot V_c, \text{ л},$$

где k — коэффициент, учитывающий объемное расширение воды при изменении ее температуры, принимается по данным табл. 10.2 [5], $k = 0,024$.

Объем воды в системе отопления рассчитывается по формуле

$$V_c = (V_{\text{пр}} + V_{\text{т.о}} + V_{\text{тр}}) Q_c, \text{ л},$$

где $V_{\text{пр}}$ — удельный объем воды в приборах системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, л/кВт; $V_{\text{т.о}}$ — удельный объем воды в теплообменнике системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, л/кВт; $V_{\text{тр}}$ — удельный объем воды в трубах системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, л/кВт; Q_c — тепловая нагрузка, кВт.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

$V_{\text{пр}}$ — удельный объем воды в приборах системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, $V_{\text{пр}} = 7,1$ л/кВт; $V_{\text{т.о}}$ — удельный объем воды в теплообменнике системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, $V_{\text{т.о}} = 0,21$ л/кВт; $V_{\text{тр}}$ — удельный объем воды в трубах системы отопления, приходящийся на 1 кВт мощности системы отопления, $V_{\text{тр}} = 6,9$ л/кВт; Q_c — тепловая нагрузка, $Q_c = 50,76$ кВт.

Расчет

Определяем объем воды в системе отопления, л:

$$V_c = (V_{\text{пр}} + V_{\text{т.о}} + V_{\text{тр}}) Q_c = (7,1 + 0,21 + 6,9) 50,76 = 721,3 \text{ л}.$$

Определяем полезный объем открытого расширительного бака, л:

$$V_{\text{полн}} = k V_c = 0,024 \cdot 721,3 = 17,3 \text{ л}.$$

Принимаем к установке расширительный бак объемом 20 л.

Практическое занятие 13 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЯ

Расчет воздухообмена в помещениях

Определяем количество удаляемого воздуха для жилых комнат L , м³/ч, по формуле

$$L = 3 A_{\text{п}},$$

где $A_{\text{п}}$ — площадь пола жилых комнат, м².

Воздухообмен рассчитывается для каждой типовой квартиры. Воздухообмен в кухнях и санузлах принимаем по нормам воздухообмена: кухня с четырехконфорочной газовой плитой — 90 м³/ч; ванная индивидуальная — 25 м³/ч; уборная индивидуальная — 25 м³/ч; совмещенный санузел — 50 м³/ч.

За расчетный воздухообмен квартиры принимаем бóльшую из двух величин суммарного воздухообмена для жилых комнат или суммарного воздухообмена для кухни и санузлов. Удаление воздуха из квартиры осуществляется через вытяжные решетки и каналы, расположенные в кухнях и санузлах (табл. 6).

Таблица 6

Расчет воздухообмена квартир здания

Квартиры	Суммарный воздухообмен для жилой комнаты	Воздухообмен				
		Кухни	Ванной	Уборной	Совмещенного санузла	Принимаемый
1	2	3	4	5	6	7

Аэродинамический расчет

Определяем естественное (гравитационное) давление для каналов ветвей каждого этажа по формуле

$$P_{ei} = 9,81 H_i (\rho_5 - \rho_v),$$

где P_{ei} — естественное давление i -го этажа, Па; H_i — разность отметок устья вытяжной шахты и середины вытяжной решетки рассчитываемого этажа, м; ρ_5 — плотность наружного воздуха при температуре 5 °С, кг/м³; ρ_v — плотность внутреннего воздуха в помещении °С, кг/м³.

Определяем плотность воздуха внутри помещения и наружного воздуха, кг/м³:

$$\rho_i = \frac{353}{273 + t_i},$$

где ρ_i — плотность воздуха при температуре t_i , кг/м³.

Проводим аэродинамический расчет системы вентиляции и определяем потери давления в вентиляционных каналах. В качестве главной ветви выбираем ветвь, удельное располагаемое давление которой будет наименьшим P_{ei} .

Цель аэродинамического расчета — подбор сечения вытяжных каналов и решеток, обеспечивающих удаление из помещения расчетного количества воздуха при расчетном естественном давлении. Аэродинамический расчет каналов начинают с наиболее удаленной от вытяжной шахты ветви верхнего этажа, имеющей наименьшее естественное давление (табл. 7).

Таблица 7

Аэродинамический расчет

№ участка	L	l	Предварительный (окончательный) расчет							
			$a \times b$	A	v	R	Rl	P_d	$\Sigma\zeta$	P_{Π}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
										ΣP_{Π}

Примечание: L — расход воздуха на участке, м³/ч; l — длина участка, м; $a \times b$ — габариты вентиляционной решетки, мм; A — площадь сечения вентиляционной решетки, м²; v — скорость воздуха на участке, м/с; R — удельные линейные потери давления воздуха на участке (по номограмме), Па/м; Rl — линейные потери давления воздуха на участке, Па; P_d — полные потери давления на участке, Па; $\Sigma\zeta$ — значения коэффициентов местных сопротивлений воздухопроводов (вход в вентиляционную решетку — 1,2; колено (поворот) на 90° — 1,1; тройник на проход — 0,5; тройник на ответвление — 1,5; зонт над вытяжной шахтой — 1,3); P_{Π} — полное давление на участке, Па.

Определяем полные потери давления участка по формуле, Па:

$$P_{\Pi} = R l + \Sigma\zeta P_d.$$

Проверяем запас давления на неучтенные потери (запас должен быть 5–10 %):

$$\text{Запас} = \frac{P_{e1} - \Sigma P_{\Pi i}}{P_{e1}} 100.$$

Самостоятельная работа 1

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В НАРУЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тепловые потери (часовые) наружными трубопроводами системы теплоснабжения могут быть определены по формуле

$$Q_{\text{т.п}} = \sum 0,86 q_{\text{норм}} \beta_i L_i,$$

где $q_{\text{норм}}$ — удельные тепловые потери трубопроводами, ккал/м·ч; (принимается в соответствии табл. П8–П11 приложения); L_i — длина участка, м; β_i — коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматурой, компенсаторами, опорами. Коэффициент местных тепловых потерь принимается: для подземной канальной и надземной прокладок равным 1,2 при диаметрах трубопроводов до 0,15 м и 1,15 при диаметрах 0,15 м и более, а также при всех диаметрах бесканальной прокладки.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Дана схема тепловой сети с нанесенными диаметрами на участках и длиной участков. Схема прокладки — канальная. Температурный график работы тепловой сети — 110/50. Рассчитать часовые тепловые потери в наружных тепловых сетях на участке 100 м с диаметром трубопровода 150 мм.

Расчет

Определяем часовые тепловые потери в наружных подающих трубопроводах системы теплоснабжения:

$$Q_{\text{т.п}} = \sum 0,86 q_{\text{норм}} \beta_i L_i = 0,86 \cdot 57 \cdot 1,2 \cdot 100 = 5882 \text{ Вт.}$$

Самостоятельная работа 2
РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТРУБОПРОВОДАМИ
СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ В ЗДАНИЯХ

Исходные данные для расчета

Длина участка — 4,5 м; внутренний диаметр трубопровода — 20 мм; трубопроводы проложены в бороздах, вертикальных каналах, коммуникационных шахтах, сантехнических кабинках — $t_{\text{окр}} = 23$ °С; $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ — температура горячей воды в начале и конце расчетного участка трубы, 55°С. Определить тепловые потери на участке.

Расчет

Определяем тепловые потери трубопроводами системы горячего водоснабжения (удельные тепловые потери см. табл. П6–П7 приложения):

$$Q_{\text{т.п}} = \left[\frac{\sum K_i d_i l_i (t_{\text{н}} + t_{\text{к}})}{2} - t_{\text{окр}} \right] (1 - \eta),$$

где K_i — удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения зданий, ккал/ч·м; d_i — диаметр трубопровода, м; l_i — длина участка, м; $t_{\text{н}}$ — температура в начале участка, °С; $t_{\text{к}}$ — температура в конце участка, °С; $t_{\text{окр}}$ — температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, °С; η — коэффициент полезного действия тепловой изоляции трубопроводов (принимается для трубопроводов диаметром до 32 мм — $\eta = 0,6$; 40–70 мм — $\eta = 0,74$; 80–200 мм — $\eta = 0,81$).

$$Q_{\text{т.п}} = \left[\frac{10 \cdot 0,02 \cdot 4,5 (55 + 55)}{2} - 23 \right] (1 - 0,6) = 10,6 \text{ Вт.}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. N 191-ст : дата введения 2013-01-01.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* : издание официальное : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 275 : дата введения 2013-01-01.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 265 : дата введения 2013-07-01.
4. Сканава А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий / А.Н. Сканава. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Стройиздат, 1983. — 304 с.
5. Богословский В.Н. Отопление : [учебник для вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция»] / В.Н. Богословский, А.Н. Сканава. — Москва : Стройиздат, 1991. — 736 с. — ISBN 5-274-01527-1.

ПРИЛОЖЕНИЕ. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица П1

Нормируемая температура в помещениях

Назначение здания	$t, ^\circ\text{C}$
Жилое здание	18–20
Гостиница, общежитие, административное здание	18–20
Детский сад, ясли, поликлиника, амбулатория, диспансер, больница	20
Высшее, среднее специальное учебное заведение, школа, школа-интернат, предприятие общественного питания, клуб	16
Театр, пожарное депо	15
Кинотеатр	34
Гараж	10
Баня	25

Таблица П2

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче, ($\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт, ограждающих конструкций

Здания и помещения	Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче, ($\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытый и перекрытый над проездами	Чердачных перекрытий, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Свето-прозрачных ограждающих конструкций, кроме фонарей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
Жилые, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,49	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,63	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,73	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,75	0,45
	10 000	4,9	7,2	6,4	0,77	0,5
	12 000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
Лечебно-профилактические, дошкольные образовательные и общеобразовательные организации, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10 000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12 000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,49	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,63	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,73	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,75	0,45
	10 000	4,2	5,6	4,8	0,77	0,5
	12 000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10 000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12 000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45

Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м·°С)
стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты ребер к расстоянию, между гранями соседних ребер	8,7
потолков с выступающими ребрами	7,6
окон	8,0
зенитных фонарей	9,9

Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий, Вт/(м·°С)
наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в северной строительной-климатической зоне	23
перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в северной строительной-климатической зоне	17
перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими, подпольями, не вентилируемых наружным воздухом	6

Нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики здания

Отапливаемый объем здания, м	Значения, Вт/(м·°С), при количестве, °С·сут/год				
	1000	3000	5000	8000	12 000
150	1,206	0,892	0,708	0,541	0,411
300	0,957	0,708	0,562	0,429	0,326
600	0,759	0,562	0,446	0,341	0,259
1200	0,606	0,449	0,356	0,272	0,207
2500	0,486	0,360	0,286	0,218	0,166
6000	0,391	0,289	0,229	0,175	0,133
15 000	0,327	0,242	0,192	0,146	0,111
50 000	0,277	0,205	0,162	0,124	0,094
200 000	0,246	0,182	0,145	0,111	0,084

**Удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения зданий
(по месту и способу прокладки)**

Место и способ прокладки	Тепловые потери трубопровода, ккал/ч·м, при условном диаметре, мм						
	2	3	4	5	6	7	8
	15	20	25	32	40	50	70
Главный подающий стояк в штрабе или коммуникационной шахте, изолирован	—	—	—	—	17,00 21,80	19,10 24,50	23,40 30,00
Стояк без полотенцесушителей, изолированный, в шахте сантехкабины, борозде или коммуникационной шахте	9,70 12,80	10,80 14,20	11,90 15,70	13,50 17,80	—	—	—
То же, с полотенцесушителями	—	17,80 23,40	20,70 27,30	25,30 33,30	—	—	—
Стояк неизолированный в шахте сантехкабины, борозде или коммуникационной шахте или открыто в ванной, кухне	20,70 27,30	25,50 35,60	30,20 39,80	37,80 49,80	—	—	—
Распределительные изолированные трубопроводы (подающие):							
в подвале и на лестничной клетке	13,50 16,60	15,00 13,40	16,50 20,30	18,80 23,10	20,80 25,60	23,40 26,80	26,80 36,20
на холодном чердаке	16,60 19,70	18,50 21,90	20,30 24,10	23,20 27,50	25,60 30,40	28,80 34,20	35,20 41,80
на теплом чердаке	11,60 14,70	13,00 16,50	14,30 18,10	16,30 20,60	17,90 22,70	20,20 25,60	24,60 31,20
Циркуляционные трубопроводы изолированные:							
в подвале	10,90 14,00	12,10 15,60	13,30 17,10	15,10 19,40	16,70 21,50	18,80 24,20	23,00 29,60
на теплом чердаке	9,00 12,00	10,00 13,40	11,00 14,80	12,60 16,90	13,80 18,60	15,60 21,00	19,10 25,70
на холодном чердаке	14,00 17,10	15,60 19,10	17,10 20,90	19,40 23,70	21,50 23,70	24,20 29,60	29,60 36,20
Циркуляционные трубопроводы неизолированные:							
в квартирах	20,00 26,90	24,60 33,10	29,20 39,30	36,60 49,20	43,00 57,80	52,00 69,90	72,00 96,80
на лестничной клетке	23,50 30,40	28,90 37,40	34,20 44,20	42,80 55,40	50,30 65,10	60,80 78,70	84,50 109,4
Циркуляционные стояки в штрабе сантехнической кабины или ванной:							
изолированные		9,40 12,90	10,30 14,10	11,70 16,00	12,90 17,70	14,60 20,00	17,80 24,40
неизолированные		23,00 31,50	27,10 31,50	34,00 46,60	40,00 54,80	48,30 66,20	67,20 92,10

Примечание. Верхние показатели в ячейке — удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения без непосредственного водоразбора в системах теплоснабжения, нижние показатели — с непосредственным водоразбором.

**Удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения
(по перепаду температуры)**

Перепад температур, °С	Тепловые потери трубопровода, ккал/ч·м, при условном диаметре, мм											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200
30	22	28	35	44	48	54	68	80	97	119	143	173
32	23	30	37	47	50	58	73	85	103	127	152	185
34	25	32	39	50	53	61	77	91	110	135	162	196
36	26	33	42	53	56	65	82	95	116	143	171	208
38	28	35	44	56	60	68	86	102	123	151	181	219
40	29	37	46	59	63	72	91	107	129	159	190	231
42	31	39	49	63	67	76	97	114	137	169	202	242
44	33	42	52	66	71	81	103	121	145	179	214	254
46	34	44	54	70	75	85	108	127	154	189	226	265
48	36	46	57	73	79	90	114	134	162	199	238	277
50	38	48	60	77	83	94	120	140	170	209	250	288
52	40	51	63	81	87	99	126	147	179	220	263	300
54	42	53	66	85	91	104	132	155	188	230	276	312
56	44	56	70	88	95	108	139	162	197	241	289	323
58	46	58	73	92	99	113	145	170	206	252	302	335
60	48	61	76	96	104	113	151	177	215	263	315	347

Примечание. При перепаде температуры горячей воды, отличном от приведенных его значений, удельные тепловые потери следует определять интерполяцией.

Нормы тепловых потерь трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, спроектированных в период с 2004 г.

Ø, мм	Продолжительность эксплуатации																			
	До 5000 ч/год включительно										Более 5000 ч/год									
	Разность температур теплоносителя и наружного воздуха, °С																			
	15	45	95	145	195	245	295	345	395	445	15	45	95	145	195	245	295	345	395	445
	Нормы плотности теплового потока, ккал/чм																			
25	4	10	20	29	40	51	63	76	89	103	4	9	17	27	36	46	58	70	82	95
40	5	12	22	33,5	45	58	71	85	100	116	4	10	20	30	40	52	65	77	91	106
50	6	14	25	37	49	63	77	92	108	126	5	12	22	33	44	57	70	84	99	114
65	7	15	28	41	56	71	86	103	121	139	6	14	25	37	50	64	77	93	109	126
80	8	17	31	45	59	76	92	110	129	148	7	15	27	40	53	67	83	99	116	134
100	9	19	34	49	65	83	100	120	139	161	8	16	29	43	58	73	89	107	126	144
125	10	22	38	54	72	97	118	139	163	186	9	18	33	47	64	80	98	117	137	157
150	11	23	41	60	79	106	128	151	176	202	9	20	36	52	69	87	114	134	157	180
200	14	29	51	71	94	126	151	178	206	236	12	24	43	62	82	102	132	157	182	208
250	16	34	58	82	107	143	171	201	232	264	14	28	49	71	92	114	149	175	203	232
300	19	38	65	91	119	158	189	222	255	291	15	34	58	82	107	132	164	193	223	255

Нормы тепловых потерь трубопроводов, расположенных в помещении, спроектированных в период с 2004 г.

Ø, мм	Продолжительность эксплуатации																	
	До 5000 ч/год включительно									Более 5000 ч/год								
	Температура теплоносителя, °С																	
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	50	100	150	200	250	300	350	400	450
	Нормы плотности теплового потока, ккал/ч·м																	
25	7	17	27	37	48	60	73	87	101	7	15	24	34	45	56	68	81	95
40	9	20	31	42	55	69	83	98	114	8	18	28	39	51	63	77	90	105
50	9	22	34	46	60	75	90	107	124	9	20	31	43	55	69	83	98	114
65	11	25	39	53	68	84	101	120	138	10	22	35	48	62	77	92	109	126
80	12	28	42	57	73	90	108	127	147	11	24	38	52	66	82	98	116	134
100	14	30	46	63	80	99	118	138	160	12	27	41	56	72	89	107	126	145
125	15	34	52	70	89	108	130	151	175	14	30	46	62	79	97	117	137	158
150	18	38	57	77	97	119	141	165	190	15	33	50	68	86	106	126	148	171
200	22	46	69	92	115	140	167	194	222	19	40	60	80	101	124	148	172	198
250	26	53	79	105	132	159	187	218	249	22	46	68	91	115	139	166	193	221
300	29	60	89	117	146	176	207	240	274	25	52	76	101	127	154	182	212	242

Нормы тепловых потерь трубопроводов водяной тепловой сети при канальной прокладке, спроектированных в период с 2004 г.

Ø, мм	Нормы плотности теплового потока, ккал/ч·м					
	Продолжительность эксплуатации					
	До 5000 ч/год включительно			Более 5000 ч/год		
	Температура теплоносителя, °С					
	65/50	90/50	110/50	65/50	90/50	110/50
25	18	22	27	16	21	24
32	21	25	28	18	22	26
40	22	27	30	19	24	28
50	25	29	34	22	26	30
65	28	34	39	25	30	34
80	30	36	41	27	32	37
100	34	40	46	29	34	40
125	38	46	52	34	40	45
150	42	51	57	36	43	49
200	52	61	70	45	52	60
250	61	71	81	52	61	69

Нормы тепловых потерь трубопроводов водяных тепловых сетей, проложенных бесканально, спроектированных в период с 2004 г.

Ø, мм	Нормы плотности теплового потока, ккал/ч·м					
	Продолжительность эксплуатации					
	До 5000 ч/год включительно			Более 5000 ч/год		
	Температура теплоносителя, °С					
	65/50	90/50	110/50	65/50	90/50	110/50
25	26	30	34	23	28	31
32	28	33	37	25	30	34
40	30	35	40	27	32	36
50	34	40	46	30	35	40
65	40	47	52	35	42	46
80	44	52	57	39	45	51
100	49	58	64	42	50	57
125	56	65	72	48	57	63
150	64	74	81	54	63	71
200	80	92	101	66	80	86
250	95	108	119	79	91	101