

Министерство образования Российской Федерации
Ульяновский государственный технический университет

ОТОПЛЕНИЕ ГРАЖДАНСКОГО ЗДАНИЯ

Методические указания к курсовому
и дипломному проектированию

Составитель А.А. Кудинов

Ульяновск 2001

УДК 697.1 (076)

ББК 38.762 я 7

О-85

Рецензент начальник ПТО Ульяновской ТЭЦ-3 Ю.Н. Алексеев

Одобрено секцией методических пособий научно-методического совета университета

Отопление гражданского здания:

О-85 Методические указания к курсовому проекту / Сост. А.А. Кудинов. Ульяновск: УлГТУ, 2001. 48 с.

В настоящих методических указаниях изложен материал для определения состава, объема и последовательности выполнения курсового и дипломного проектов. Приводятся подробные указания по выполнению необходимых расчетов, содержатся основные рекомендации по оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части работы.

Составлены в соответствии с программой курса «Отопление» для высших учебных заведений по специальности 2907 «Теплогазоснабжение и вентиляция». Работа подготовлена на кафедре ТГВ.

УДК 697.1 (0.76)

ББК 38.762 я 7

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. РАСЧЕТ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЙ	6
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	11
2.1. Основные потери теплоты через ограждающие конструкции	12
2.2. Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкций	15
2.3. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха	16
2.4. Теплопоступления в помещения зданий	20
2.5. Тепловая мощность системы отопления здания	20
3. ВЫБОР, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА К РАСЧЕТУ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ	21
3.1. Выбор и разработка конструкции системы отопления	21
3.2. Выбор, размещение и присоединение отопительных приборов	23
3.3. Подготовка к расчету схемы системы отопления	25
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ	26
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ	28
5.1. Гидравлический расчет трубопроводов методом удельной потери давления на трение	29
5.2. Гидравлический расчет трубопроводов методом характеристик сопротивлений	32
6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	36
6.1. Расчет поверхности нагрева отопительного прибора	36
6.2. Определение числа секций (элементов) отопительного прибора	38
7. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ И АВТОМАТИКИ УЗЛА ВВОДА	39
8. СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ	40
ПРИЛОЖЕНИЯ 1-3	42
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	47

ВВЕДЕНИЕ

Процесс проектирования систем отопления зданий можно разделить на три основных последовательных этапа: 1) определение потребности в тепле каждого помещения; 2) выбор параметров и элементов системы отопления и конструирование расчетной схемы трубопроводов; 3) гидравлический и тепловой расчеты.

Основная задача проектирования систем центрального водяного отопления здания состоит в определении экономичных диаметров трубопроводов и необходимого количества устанавливаемых отопительных приборов.

Исходными данными при проектировании являются геометрические и теплофизические характеристики ограждающих конструкций и взаимное расположение помещений, климатологические показатели и температурный режим помещений.

Выполнение проекта начинают с изучения архитектурно-строительных чертежей и требований, предписанных заданием на проектирование. В первом разделе приводят следующие данные.

1) Описание архитектурно-строительных чертежей (назначение здания, число и высота этажей, количество угловых помещений, оконных и дверных проемов, наличие подвального и чердачного помещений, строительный объем, характеристика конструкционных и теплоизоляционных слоев ограждений, ориентация по сторонам света). Описание сопровождают схемами и рисунками.

2) Метеорологические условия в основных помещениях (температура, относительная влажность и скорость движения воздуха) принимают по [6, раздел 2, прил. 1, 4].

3) Климатологические показатели для района строительства (расчетные температуры наружного воздуха, скорость и направление ветра, продолжительность отопительного периода) принимают по [5; 6, пп. 2.14, 2.15, прил. 7; 3, табл. 1.3; 7, табл. 1.5; 11, прил. 1].

4) Вид и параметры теплоносителя и температуру поверхностей отопительных приборов назначают согласно [6, раздел 3, прил. 10].

После изучения проектируемого объекта и климатологических данных определяют тепловую мощность системы отопления. Для этого составляют тепловой баланс расходов (приходов) тепла помещениями здания для расчетных зимних условий. Сведением всех составляющих расхода и прихода тепла в тепловом балансе помещения определяется дефицит (или избыток) тепла. Дефицит тепла указывает на необходимость устройства в помещении отопления. Тогда расчетную тепловую мощность системы отопления принимают равной дефициту тепла.

Рассчитав тепловую мощность, производят конструирование и подготовку к расчету схемы системы отопления. В результате изучения объемно-планировочных решений и строительных конструкций проектируемого здания принимается принципиальная расчетная схема трубопроводов системы отопления. Уточняются источник теплоснабжения, вид и параметры теплоносителя, места прокладки и схема разводки магистральных трубопроводов, конструкция и схема исполнения стояков, тип отопительных приборов, места и способы их установки, тип запорно-регулирующей арматуры. В соответствии с принятыми проектными решениями производят выбор основного оборудования и его элементов.

В аксонометрической проекции вычерчивается расчетная схема магистральных трубопроводов с указанием мест присоединения стояков; отдельно в виде развертки изображаются стояки с отопительными приборами.

Определение циркуляционного давления (насосного и гравитационного), необходимого для поддержания расчетного гидравлического режима в трубопроводах, предшествует расчету системы отопления.

Расчет системы отопления состоит из взаимосвязанных гидравлического и теплового расчетов трубопроводов и отопительных приборов. При ручном счете гидравлический расчет трубопроводов и тепловой расчет отопительных приборов выполняют в различной очередности [4].

1) В системах с отопительными приборами, длина которых практически не влияет на гидравлическое сопротивление стояка (радиаторы, полые панели, ребристые и гладкие трубы $d_y=50\div100$ мм), сначала выполняют гидравлический расчет.

2) В системах с отопительными приборами, длина греющих элементов которых существенно влияет на гидравлическое сопротивление стояка, сначала предварительно определяют поверхность нагрева приборов. После выполнения гидравлического расчета корректируют поверхность нагрева отопительных приборов. К таким приборам относятся конвекторы, панели и ребристые трубы, изготовленные из труб $d_y=15\div20$ мм.

3) В двухтрубных системах при скрытой прокладке стояков и подводок сразу (до гидравлического расчета) может выполняться окончательный тепловой расчет любых отопительных приборов.

При разработке схемы присоединения системы отопления к наружным тепловым сетям учитывают допустимое давление на отопительные приборы, температуру первичного теплоносителя, давление в подающем и обратном теплопроводах тепловых сетей.

Подбор вспомогательных деталей и оборудования (грязевиков, манометров и др.) узла ввода, расчет и подбор смесительного насоса (в том числе и водоструйного элеватора) и автоматики производят в зависимости от вида, расхода и параметров теплоносителя, конструкции и принципа действия системы отопления, диаметров трубопроводов.

В заключение необходимо изложить основные выводы и результаты работы по каждому из основных разделов проекта.

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [1, с. 4; 2, с. 20];

Δt^n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ограждающей конструкции, °С [1, табл. 2*];

α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м²·К) [1, с. 4; 2, с. 9].

2) Рассчитывают градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) [1, с. 3]

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{on}) Z_{on}, \quad (1.2)$$

где t_{on} – средняя температура периода со средней суточной температурой наружного воздуха ≤ 8 °С (средняя температура наружного воздуха в отопительный период), °С [3];

Z_{on} – продолжительность отопительного периода, сут.год [3].

3) Определяют минимальное приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{en} , (м²·К)/Вт, ограждающих конструкций здания, исходя из условий энергосбережения [1, табл. 1а или табл. 1б].

В [1, табл. 1а] приведены минимальные значения сопротивлений теплопередаче для зданий высотой более трех этажей, строительство которых производится с 1.06.96 г. (первый этап). В [1, табл. 1б] приведены минимальные значения сопротивлений теплопередаче для зданий любой этажности, строительство которых началось 01.01.2000 г. (второй этап). При этом, для вновь строящихся жилых и общественных зданий высотой до трех этажей, а также реконструируемых и капитально ремонтируемых независимо от этажности, сроки введения в действие требований [1, табл. 1б] устанавливаются как для первого этапа.

Для внутренних стен, перегородок или перекрытий между помещениями при разности расчетных температур в этих помещениях более 3 °С R_0 , (м²·К)/Вт, этих ограждающих конструкций следует принимать не ниже значений, определяемых по формуле (1.1).

4) Производят сравнение сопротивлений теплопередаче R_0^{mp} , рассчитанного из условий выполнения санитарно-технических и комфортных условий, и R_0^{en} , принятого по условиям энергосбережения. Большее значение сопротивления теплопередаче принимают для выполнения последующих расчетов.

5) Рассчитывают толщину $\delta_{из}$, м, теплоизоляционного слоя в конструкции ограждения, используя выражение

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^k R_i + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (1.3)$$

Тогда

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left(R_0 - \frac{1}{\alpha_B} - \sum_{i=1}^k R_i - \frac{1}{\alpha_n} \right), \quad (1.4)$$

где $R_0 = R_0^{ин}$, если $R_0^{ин} \geq R_0^{мп}$, в противном случае $R_0 = R_0^{мп}$;

$\sum_{i=1}^k R_i = \sum_{i=1}^k \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – сумма сопротивлений теплопроводности конструктивных

слоев ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

δ_i – толщина i -го конструктивного слоя, м ;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го конструктивного слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$i = 1, 2, \dots, k$; k – количество конструктивных слоев в ограждении;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [1, с. 5; 2, с. 9].

6) Округляют расчетное значение $\delta_{из}$ (вычисленное по формуле (1.4)) в большую сторону, принимая фактическое значение толщины слоя изоляции $\delta_{из}^{\phi}$, м , таким образом, чтобы общая толщина панелей наружных стен была кратной 0,05 м , а толщина кирпичной кладки – кратной половине кирпича.

7) Рассчитывают фактическое сопротивление теплопередаче R_0^{ϕ} , $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, ограждения по формуле

$$R_0^{\phi} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^k R_i + \frac{\delta_{из}^{\phi}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (1.5)$$

8) Для сложного ограждения, в котором имеются элементы, формирующие двухмерные температурные поля (окно, стык, наружный угол и др.), фактические теплотери оказываются большими, чем рассчитанные в предположении одномерности температурного поля. Для расчета теплотери сложного ограждения, в котором возникают двухмерные температурные поля, пользуются приведенным сопротивлением теплопередаче R_0^{np} , $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ [2, с. 14]

$$R_0^{np} = R_0^{\phi} F_0 / \left(F_0 + \sum_{i=1}^m a_f (f_i - 1) \cdot l_i \right), \quad (1.6)$$

где F_0 – площадь глади ограждения по наружному обмеру (без учета площади окон), м^2 ;

$a_f = 2 \lambda_{из} \cdot R_0^{\phi}$ – ширина участка ограждения с двухмерным температурным полем, м ;

f_i – фактор формы i -го элемента ограждения, формирующего двухмерное температурное поле, м;
 l_i – протяженность i -го элемента ограждения, формирующего двухмерное температурное поле, м;
 $i = 1, 2, \dots, m$; m – количество элементов, формирующих двухмерное температурное поле.

При определении фактора формы стыка перегородки и межэтажного перекрытия с наружной стеной в качестве определяющего размера перегородки (перекрытия) принимается половина ее толщины. Фактор формы стыка пола на грунте с наружной стеной и пола над неотапливаемым подвалом (подпольем) можно принять равным фактору формы наружного угла.

Допускается приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} наружных панельных стен жилых зданий принимать равным

$$R_0^{np} = R_0^{\phi} \cdot r, \quad (1.7)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности [1, табл. 6а*].

9) Приведенное сопротивление теплопередаче полов на грунте и стен (подвальных этажей и технических подвалов), расположенных ниже уровня земли, следует определять по зонам согласно [6, прил. 8, п. 3; 2, п. 8.2.1], см. также раздел 2 настоящих МУ.

10) Термическое сопротивление ограждения или его отдельного слоя, в котором материал неоднороден (пустотной ж/б плиты, многослойной каменной стены, облегченной кладки с термоизоляционным слоем и др.), определяют по методике, изложенной в [1, п. 2.8; 8, раздел 2].

11) Рассчитывают температуру τ_B , °С, на внутренней поверхности гладки наружного ограждения по формуле:

$$\tau_B = t_B - \frac{1/\alpha_e}{R_0^{\phi}} (t_B - t_H) n. \quad (1.8)$$

12) Рассчитывают температуру внутренней поверхности ограждения в наружном углу $\tau_{B,y}$, °С, по следующей формуле [4, 5]

$$\tau_{B,y} = \tau_B - 0,18(1 - 0,23R_0^{\phi})(t_B - t_H). \quad (1.9)$$

Уравнение (2.14) справедливо при условии, что $0,5 \leq R_0^{\phi} \leq 2,6$. Здесь значение R_0^{ϕ} принято в (м²·К)/Вт.

13) При наличии в наружном ограждении теплопроводного включения температуру на внутренней поверхности ограждения в месте теплопроводного включения $\tau_{B,T}$, °С, можно рассчитать, пользуясь температурным коэффициентом (показателем) [4], или по методике, изложенной в [1, п. 2.11]

$$\tau_{B.T} = \tau_B - \eta(\tau_B - \tau_T), \quad (1.10)$$

где η – коэффициент, зависящий от отношения ширины включения к его толщине [4, с. 180];

τ_T – температура, которую имела бы внутренняя поверхность ограждения той же толщины, сделанная целиком из материала теплопроводного включения, °С.

14) Температуры внутренних поверхностей наружного ограждения $\tau_B, \tau_{B.T}, \tau_{B.U}$ должны быть выше точки росы t_p , °С, в противном случае необходимо предусмотреть специальные мероприятия (устройство утепляющих вставок, прокладка стояка отопления в наружном углу, увеличение общего сопротивления теплопередаче стены и др.), предупреждающие конденсацию водяного пара на внутренней поверхности ограждения.

Температуру t_p , °С, точки росы можно определить по относительной влажности и температуре t_B , °С, воздуха внутри помещения, рассчитав парциальное давление p_B , Па, водяного пара в воздухе помещения:

$$p_B = P_B \cdot \varphi_B / 100, \quad (1.11)$$

где φ_B – относительная влажность внутреннего воздуха, %;

P_B – парциальное давление водяного пара в воздухе помещения при полном насыщении, Па, определяется по [2, прил. 1, табл. 1.1] в зависимости от t_B , °С, или по формуле:

$$P_B = 133,322 \cdot 10^{((156+8,12 \cdot t_B)/(236+t_B))}. \quad (1.12)$$

Принимая $P_B / 133,322 = 10^{((156+8,12 \cdot t_p)/(236+t_p))}$, находят t_p , °С,

Приближенное значение t_p , °С, можно рассчитать по формуле:

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot p_B)^2. \quad (1.13)$$

Для жилых и общественных зданий φ_B принимают по [1, п. 2.10*].

15) Производят подбор заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей). Требуемое сопротивление теплопередаче заполнения светового проема $R_{0.ок}^{mp}$, (м²·К)/Вт, определяют по [1, табл. 1а или табл. 1б] соответственно на первый или второй этап строительства из условий энергосбережения. Определив $R_{0.ок}^{mp}$, (м²·К)/Вт, принимают необходимую для заданного района строительства конструкцию остекления, руководствуясь [1, прил. 6* (справочное)]. Выбирать конструкцию остекления заполнения светового проема следует из условия, чтобы фактическое приведенное сопротивление теплопередаче остекления $R_{0.ок}^{np}$, (м²·К)/Вт, было бы не ниже $R_{0.ок}^{mp}$, (м²·К)/Вт. То есть должно выполняться условие:

$R_{0.ок}^{np} \geq R_{0.ок}^{mp}$. Здесь $R_{0.ок}^{np}$, (м²·К)/Вт, принимают по [1, прил. 6* (справочное)].

Значение приведенного сопротивления теплопередаче остекления, принятое по [1, прил. 6* (справочное)], должно быть не менее R_0^{mp} , (м²·К)/Вт, представленного в [1, табл. 9*].

16) Принимают конструкцию наружных дверей (в лестничной клетке) и ворот из условия $R_{0.дв} \geq 0,6 R_{0.ст}^{mp}$. Здесь $R_{0.дв}$ – приведенное сопротивление теплопередаче двери, (м²·К)/Вт; $R_{0.ст}^{mp}$ – требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены, рассчитанное по формуле (1.1), (м²·К)/Вт. Конструкции, сопротивления теплопередаче и коэффициенты теплопередачи наружных дверей приведены в [11, табл. 7.4].

Знание сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций здания (стен, перекрытий, покрытий, заполнений световых проемов, наружных дверей и др.) позволяет рассчитывать тепловые потоки (теплотери) через соответствующие конструкции и температурные поля в них.

17) Рассчитывают коэффициенты теплопередачи K , Вт/(м²·К), наружных ограждений:

а) для ограждений, не имеющих элементов, формирующих двухмерные температурные поля

$$K = 1 / R_0^{\phi}; \quad (1.14)$$

б) для ограждений, имеющих элементы, формирующие двухмерные температурные поля

$$K = 1 / R_0^{np}. \quad (1.15)$$

Расчет чердачного (или бесчердачного) перекрытия и перекрытия над неотапливаемым подвалом производят так же, как и расчет вертикального наружного ограждения. Для чердачных (бесчердачных) перекрытий и перекрытий над неотапливаемым подвалом расчет температурного поля в настоящей работе производить не нужно.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Тепловая мощность отопительной установки здания должна компенсировать теплотери через ограждающие конструкции и на нагревание холодного воздуха и материала, поступающих в помещения, с учетом технологических и бытовых тепловыделений. При определении тепловой мощности теплотери классифицируют на основные, добавочные и на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха. В процессе расчета тепловой мощности системы отопления пользуются специальной таблицей [2, 4], см. также приложение 3 настоящих МУ.

2.1. Основные потери теплоты через ограждающие конструкции

Теплопотери помещением здания определяют суммированием потерь тепла через отдельные элементы ограждающих помещение конструкций. При этом теплопотери $Q_{огр}$, Вт, через отдельный элемент ограждающей конструкции (наружную или внутреннюю стену, световой проем, дверь, пол, перекрытие, покрытие и др.) рассчитывают (с округлением до 5-10 Вт) по следующей формуле [2, п.8.2; 6, прил. 8]:

$$Q_{огр} = \frac{F}{R_0^{np}} (t_n - t_n) (1 + \sum \beta) n, \quad (2.1)$$

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

R_0^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(m^2 \cdot ^\circ C) / Вт$;

t_n – температура помещения, $^\circ C$ [2, п.8.2];

t_n – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года, $^\circ C$ [6, прил. 7, (параметры Б)];

β – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты. При вычислении основных теплопотерь по формуле (2.1) принимают $\beta=0$;

n – коэффициент учета положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху [2, табл. 5.2; 1, табл. 3*].

При расчете теплопотерь через внутренние ограждения, например, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых, в формуле (2.1) принимают $\beta=0$ и вместо $(t_n - t_n)n$ принимают разность температур $(t_n - t_x)$. Здесь t_x – температура воздуха в неотапливаемом помещении [2, формула (8.6)].

Потери теплоты через внутренние ограждающие конструкции допускается не учитывать, если разность температур в разделяющих помещениях не превышает $3^\circ C$ [6].

Расчетная площадь ограждающих конструкций при определении потерь теплоты вычисляется (с точностью до $0,1 m^2$) по определенным правилам обмера по планам и разрезам здания [2, с. 35].

Эти правила учитывают особенности теплообмена в местах стыков отдельных ограждающих конструкций. Линейные размеры ограждающих конструкций следует определять с точностью до $0,1 m$, а площади

ограждающих конструкций – с точностью до $0,1 \text{ м}^2$. Порядок обмера наружных ограждающих конструкций показан на рис. 2.1.

1) Наружные стены (НС). В плане длина стен угловых помещений измеряется от наружной поверхности до оси внутренних стен, неугловых помещений – между осями внутренних стен. По вертикальному разрезу на верхнем этаже – от поверхности чистого пола до наружной поверхности чердачного перекрытия. В совмещенных кровлях, имеющих вентилируемую воздушную прослойку, длина определяется от чистого пола до воздушной прослойки, на средних этажах от чистого пола нижнего этажа до чистого пола верхнего этажа, на первом этаже – от чистого пола первого этажа до наружной поверхности перекрытия над подвалом (рис. 2.1, а), от уровня подготовки грунта на лагах, до внутренней поверхности пола, расположенного непосредственно на грунте.

2) Площади заполнений световых проемов (окон, дверей, фонарей, ворот) определяются по наименьшим размерам строительных проемов.

3) Полы (Пл), потолки (Пт). Площади полов и потолков измеряются от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен (рис. 2.1, б).

Теплопотери через полы на грунте и на лагах и через подземную часть наружных стен, расположенных ниже уровня земли, определяют по зонам [2, рис. 8.1]. Для этого поверхность пола условно разбивают на полосы шириной 2 м, параллельные наружным стенам (рис. 2.2). Полосу, ближайшую к наружной стене, обозначают первой зоной, следующие две полосы – второй и третьей зонами, а остальную поверхность пола – четвертой зоной. Часть зоны, примыкающую к углам наружных стен, учитывают дважды.

Подземные части наружных стен при расчете теплопотерь рассматривают как продолжение пола на грунте. Разбивка на полосы (зоны) в этом случае делается от уровня земли и внутренней поверхности подземной части стен и далее по полу. Если в первую зону попадают окна, входящие в прямки, то их площади исключаются из площади зоны, потери теплоты через эти окна определяются отдельным расчетом.

Теплопотери каждой зоны рассчитывают по формуле (2.1), принимая $n=1$, $\beta=0$, а условные коэффициенты теплопередачи (сопротивления теплопередаче R_0^{np}) зон – по [2, п. 8.2; 6, прил. 8]. При этом сопротивления теплопередаче зон подземных частей стен принимаются и рассчитываются как для утепленного пола на грунте, в котором слои конструкции стены условно считают утепляющими слоями.

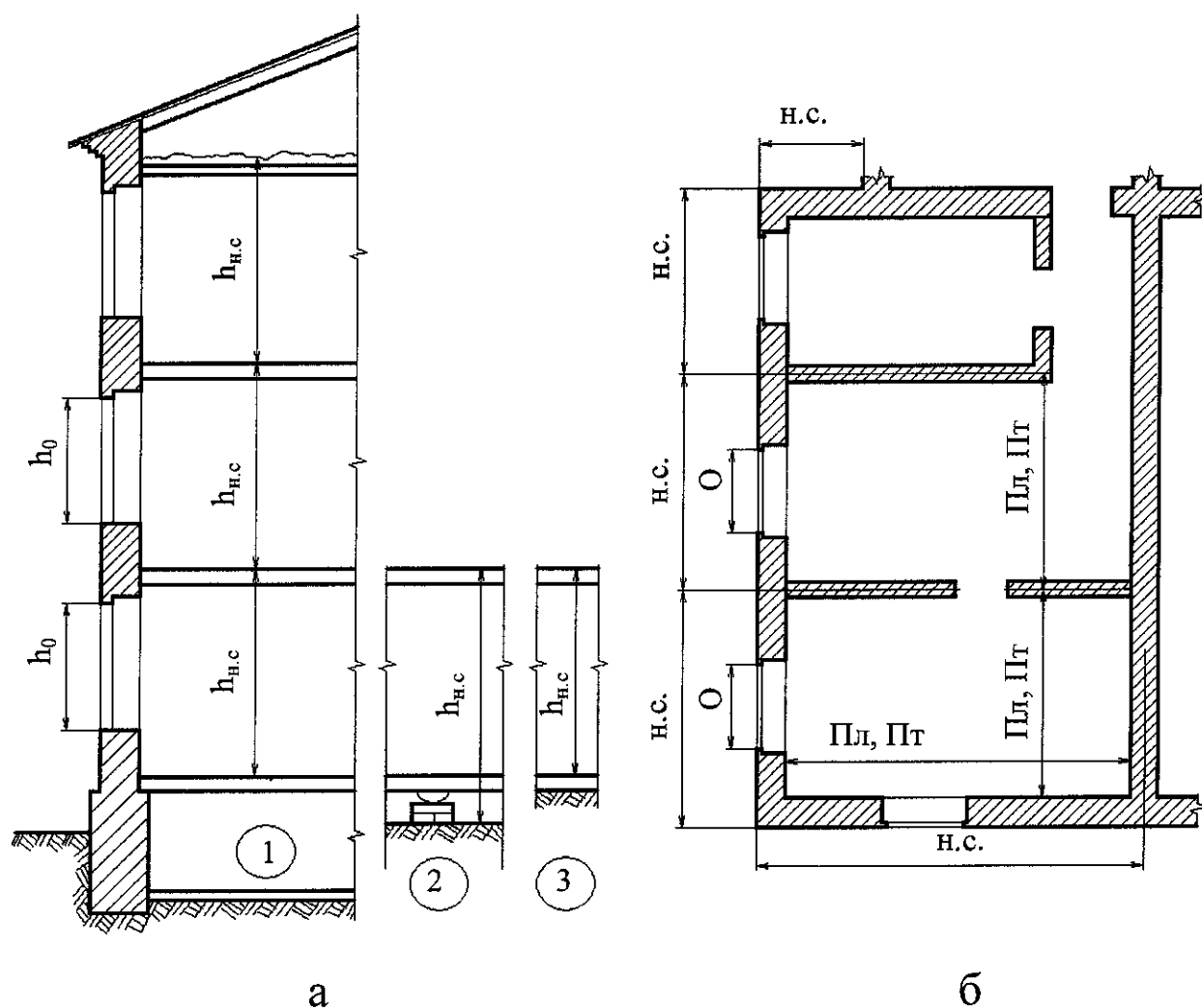


Рис. 2.1. Определение размеров ограждающих конструкций при расчете теплопотерь помещениями (н.с. – наружных стен, Пл – пола, Пт – потолка, О – окон): а – разрез здания, б – план здания; 1 – неотапливаемый подвал; 2 – пол по лагам; 3 – пол на грунте

Утепленным считается пол, расположенный непосредственно на грунте и имеющий утепляющий слой, коэффициент теплопроводности материала которого меньше $1,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Не утепленным, независимо от толщины, считается пол, расположенный непосредственно на грунте и состоящий, например, из нескольких слоев, коэффициент теплопроводности материала каждого из которых больше $1,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Теплопотери лестничной клетки определяют по всей ее высоте, как для одного помещения, см. также [6, п. 3.11].

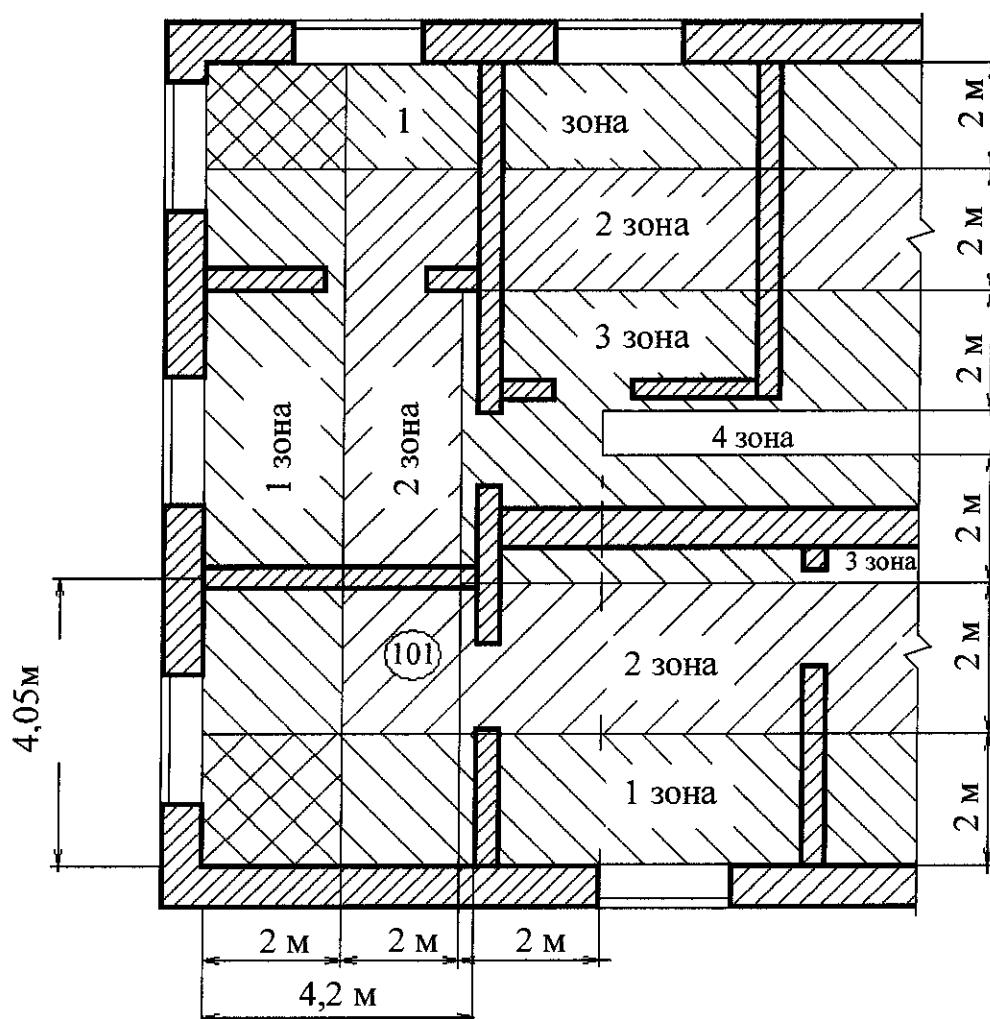


Рис. 2.2. Определение расчетных площадей полов на грунте и полов на лагах

2.2. Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции определяют в долях от основных теплопотерь, в практических расчетах их учитывают коэффициентом β , см. формулу (2.1).

Дополнительные теплопотери возникают вследствие усиленного излучения с поверхности ограждений, обращенных на северную сторону, изменения расчетной температуры t_v в угловых и высоких помещениях, поступлений холодного воздуха через открываемые проемы и др. В практике проектирования учитывают следующие добавочные теплопотери: 1) на ориентацию ограждений по сторонам горизонта; 2) в угловых помещениях

общественных, административно-бытовых и производственных зданий и сооружений, имеющих две или более наружных стен; 3) на поступление холодного воздуха через входы в здания при открывании наружных дверей и сооружения, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами; 4) на высоту помещений жилых, общественных и вспомогательных зданий; 5) на проветривание холодного подполья зданий в районах при $t_{н5} \leq -40^\circ\text{C}$ (параметры Б).

Числовые значения коэффициента β , учитывающие добавочные теплопотери, приведены в [2, с. 37; 6, прил. 8].

2.3. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха

1) Теплопотери на инфильтрацию в результате действия теплового и ветрового давлений.

Расход теплоты ΔQ_u , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в общем случае следует определять по следующей формуле [2, с. 37; 6, прил. 9].

$$\Delta Q_u = 0,28 \cdot \sum G_u \cdot C \cdot (t_B - t_H) \cdot k, \quad (2.2)$$

где C – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_B, t_H – расчетные температуры воздуха, $^\circ\text{C}$, внутри помещения и наружного воздуха в холодный период года [6, прил. 7 (параметры Б)];

k – коэффициент, учитывающий влияние трансмиссионного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 – для стыков панелей стен и для окон с тройными переплетами; 0,8 – для окон и балконных дверей с раздельными переплетами; 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов; 0,6 – для других наружных ограждающих конструкций;

$\sum G_u$ – расход инфильтрующегося воздуха через неплотности наружных ограждающих конструкций помещения, кг/ч

$$\sum G_u = \sum \frac{0,21 \cdot \Delta P_1^{0,67} \cdot F_1}{R_1} + \sum \frac{\Delta P_2^{0,5} \cdot F_2}{R_2} + \sum \frac{\Delta P_3 \cdot F_3}{R_3} + \sum \frac{\Delta P_4 \cdot 0,5 \cdot L}{\Delta P_{1\text{эт}}}, \quad (2.3)$$

где ΔP – разность давлений воздуха, Па, на наружной и внутренней поверхностях соответственно: окон, балконных дверей и фонарей – ΔP_1 ; наружных дверей, ворот и открытых проемов – ΔP_2 ; наружных стен – ΔP_3 ; стыков стеновых панелей – ΔP_4 ;

F_1 – площадь окон, балконных дверей, фонарей, м^2 ;

F_2 – площадь наружных и внутренних дверей, ворот и открытых проемов, м^2 ;

F_3 – площадь наружных стен, м^2 ;

R_1 – сопротивление воздухопроницанию окон, балконных дверей, фонарей, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч})/\text{кг}$, (при $\Delta P = 10 \text{ Па}$) [1, прил. 10*];

R_2 – сопротивление воздухопроницанию дверей, ворот и открытых проемов R_2 , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}^{0.5})/\text{кг}$, принимают равным: 0,3 – для дверей помещения; 0,47 – для дверей при входе из коридоров на открытые пожарные лестницы или лоджии; 0,14 – для наружных дверей при входе в здание через тамбур;

R_3 – сопротивление воздухопроницанию наружных стен, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$, [1, прил. 9];

L – длина стыков стеновых панелей, м.

Инфильтрация воздуха через стыки стеновых панелей учитывается только для жилых зданий.

Разность давлений воздуха ΔP может быть рассчитана по формуле [6]:

$$\Delta P = (H - h)(\gamma_H - \gamma_B) + 0,5\rho_H V_H^2 (C_H - C_3) \cdot K^* - P_0, \quad (2.4)$$

где H – высота здания от уровня земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или шахты, м;

h – расчетная высота от уровня земли до верха окон, балконных дверей, ворот, проемов или до середины наружных стен и вертикальных стыков стеновых панелей, м;

γ_H, γ_B – удельный вес, соответственно, наружного воздуха и воздуха внутри помещения, $\text{Н}/\text{м}^3$;

ρ_H – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\gamma = \frac{3463}{(273 + t)}; \quad (2.5)$$

$$\rho_H = \rho_0 \frac{273}{273 + t_H} \cdot \frac{P_a}{101325}, \quad (2.6)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при нормальных физических условиях, $\rho_0 = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$;

P_a – расчетное значение барометрического давления для данного района, Па;

K^* – коэффициент изменения скоростного давления ветра по высоте здания, см. приложение 2 настоящих МУ;

V_H – скорость наружного ветра, м/с, принимается по [6, прил. 7, с учетом п. 3.2];

C_H, C_3 – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной сторон ограждений здания ($C_H = 0,8$; $C_3 = -0,6$);

P_0 – условно-постоянное давление воздуха в помещении, определяется расчетом из условий соблюдения равенства масс воздуха, поступающего в помещения и удаляемого из него в результате инфильтрации и эксфильтрации через ограждающие конструкции, Па [7, с. 104].

При вычислении разности давлений ΔP для жилых и общественных зданий с естественной вытяжной вентиляцией, учитывая частичную потерю давлений при движении воздуха по вентиляционным каналам, используют вместо формулы (2.4) следующую формулу

$$\Delta P = g(H - h)(\rho_H - 1,27) + 0,5\rho_H V_H^2 (C_H - C_3) \cdot K^*, \quad (2.7)$$

включающую плотность воздуха при температуре $+5^\circ\text{C}$ ($1,27 \text{ кг/м}^3$).

2) В помещениях жилых и общественных зданий (жилые комнаты, кухни и др.), оборудованных естественной вытяжной вентиляцией, кроме расхода теплоты на нагрев воздуха, инфильтрующегося за счет ветрового и гравитационного давлений, определяется расход тепла ΔQ_u^* , Вт, на нагрев воздуха, инфильтрующегося вследствие естественной вытяжки, не компенсируемой подогретым приточным воздухом, по формуле

$$Q_u^* = 0,28 \cdot V_0 \cdot C \cdot \rho_B \cdot F_{II} (t_B - t_H), \quad (2.8)$$

где C – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная $1 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

ρ_B – плотность внутреннего воздуха, кг/м^3 ;

F_{II} – площадь «чистого» пола помещения, м^2 ;

t_B – расчетная температура воздуха внутри помещения, $^\circ\text{C}$;

t_H – расчетная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, для проектирования отопления [6, прил. 7 (параметры Б)];

V_0 – нормативный расход удаляемого из помещения воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, не компенсируемый подогретым приточным воздухом; для жилых

зданий $V_o = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола жилых помещений и кухни.

При определении общих тепловых потерь помещениями таких зданий учитывается большая из величин расходов теплоты ΔQ_u или ΔQ_u^* .

Для помещений производственных зданий теплотери на нагревание инфильтрационного воздуха допускается принимать 30% от основных теплотерь через ограждения (но не менее, чем это требуется на нагревание воздуха, поступающего вследствие дебаланса объемов воздуха приточно-вытяжной механической вентиляции) [2, с. 38].

Для входных дверей и ворот с воздушно-тепловыми завесами, действующими в рабочее время, количество воздуха, инфильтрирующегося в нерабочее время, через щели по их периметру $G_{щ}$, кг/ч, можно рассчитывать по следующей формуле [2, с. 38]:

$$G_{щ} = 3600 A_{щ} (2\rho_H \cdot \Delta P / \sum \zeta)^{0,5}, \quad (2.9)$$

где $A_{щ} = b \cdot l$ – площадь щелей шириной b , м, и общей длиной l , м

($b \approx 0,002$ м – для дверей, $b \approx 0,005$ м – для ворот);

ΔP – разность давлений воздуха снаружи и внутри помещения, Па [2, гл. 6];

$\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений щелей ($\sum \zeta \approx 2,0$).

Теплотери на нагревание этого количества воздуха рассчитываются по формуле (2.2).

Для ворот без тамбуров, шлюзов или воздушных завес, открываемых в течение смены в общей сложности не более, чем на 15 мин, теплотери на нагревание поступающего наружного воздуха допускается учитывать путем введения коэффициента $\beta = 3,0$ к основным теплотерям через ворота, рассчитанным по формуле (2.1) при $\beta = 0$.

Для окон лестничных клеток многоэтажных зданий теплотери на нагревание инфильтрующегося воздуха определяют с учетом различной разности давления на уровне расположения верха окон по высоте здания [2, пример 8.6].

Теплотери на инфильтрацию для лестничных клеток, вычисленные по формуле (2.2), сравнивают с величиной дополнительных теплотерь на поступление холодного воздуха через входы в здание при открытии наружной двери (см. п. 2.2 настоящих МУ). В расчетную тепловую мощность системы отопления здания закладывают большую из полученных величин дополнительных теплотерь.

2.4. Теплопоступления в помещения зданий

В помещениях зданий зимой возможны тепловыделения вследствие выделений теплоты людьми, теплопроводами и нагревательным технологическим оборудованием, источниками искусственного освещения и работающим электрическим оборудованием, нагретыми материалами и изделиями. Теплота может выделяться при технологических процессах, от солнечной радиации и др.

Расчет этих составляющих теплового баланса помещения подробно рассматривается в курсе «Вентиляция», т.к. в производственных зданиях задачу ассимиляции избыточной теплоты и компенсацию недостатка теплоты выполняет вентиляция, совмещенная с отоплением. Расчет некоторых составляющих поступлений теплоты предоставлен в [2, п. 8.3].

Величину бытовых тепловыделений Q_b , Вт, в помещениях жилых зданий определяют из расчета 21 Вт на 1 м² площади пола помещений, в которых предусматривается установка отопительных приборов, то есть

$$Q_b = 21 \cdot F_{II}, \quad (2.10)$$

где F_{II} – площадь «чистого» пола отапливаемого помещения, м².

2.5. Тепловая мощность системы отопления здания

Теплопотери каждого помещения определяют как сумму расчетных теплопотерь через все его наружные ограждения с учетом добавочных теплопотерь. В них включают также теплопотери или теплопоступления (со знаком минус) через внутренние ограждения и теплопоступления (со знаком минус) от оборудования и др. Для установления расчетной тепловой мощности системы отопления здания расчетные теплопотери суммируют для всех помещений каждого этажа, по этажам и для здания в целом, включая теплопотери лестничных клеток.

Фактическая тепловая мощность системы отопления превышает расчетные теплопотери здания и рассчитывается по формуле:

$$Q_{om} = K \cdot Q_{zd} + \Delta Q, \quad (2.11)$$

где Q_{om} – фактическая тепловая мощность системы отопления здания, кВт;
 Q_{zd} – расчетная тепловая мощность системы отопления здания, кВт;
 $K=1,0$ – при системах воздушного отопления производственных зданий;

$K = \beta_1 \cdot \beta_2$ – при местных отопительных приборах, значения β_1 и β_2 представлены в [2, табл. 9.4 и 9.5];

$\Delta Q \leq 0,03 \cdot Q_{30}$ – учитывается при прокладке теплопроводов систем отопления в холодных помещениях.

Значение коэффициента K в формуле (2.11) должно быть не более 1,07.

Исходя из фактической тепловой мощности системы отопления здания, определяют количество теплоносителя, направляемого в систему отопления, и выбирают тип и размеры теплообменников, теплопроводов, отопительных агрегатов и приборов.

3. ВЫБОР, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА К РАСЧЕТУ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

В жилищно-гражданском строительстве широко применяют центральные системы водяного, парового и воздушного отопления. Наибольшее распространение получили системы водяного отопления, как наиболее гигиеничные, совершенные в эксплуатации и регулируемые в широких пределах в зависимости от температуры наружного воздуха.

Системы водяного отопления монтируют с естественной и искусственной циркуляцией, однотрубные и двухтрубные, с вертикальным и горизонтальным расположением трубопроводов, к которым присоединяются отопительные приборы, с верхней и нижней прокладкой подающей магистрали, с тупиковым и попутным движением воды в подающей и обратной магистралях [2, пп. 10.1, 10.2; 4, § 1.4, § 6.2].

Однотрубные системы дополнительно подразделяются на проточные и непроточные. Проточные системы бывают регулируемые (с трехходовыми кранами на осевых или смещенных обходных участках или без обходных участков с кранами на подводках) и нерегулируемые (без обходных участков и без кранов для регулировки). В непроточных системах (с осевыми или смещенными замыкающими участками) устанавливают регулирующие краны на подводках к отопительным приборам.

3.1. Выбор и разработка конструкции системы отопления

Назначение, конструкция и условия эксплуатации здания определяют особенности теплового режима помещений и, следовательно, вид системы и отопительных приборов, параметры теплоносителя и режим действия системы отопления. Систему отопления, вид и параметры теплоносителя предусматривают в соответствии с требованиями санитарных и противопожарных норм, в зависимости от назначения здания и с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций.

Указания по выбору систем отопления, допустимых к применению в

зданиях различного назначения изложены в [6, с. 4÷7, прил. 10; 2, пп. 10.4, 10.6]. Предельные температуры теплоносителя для отопительных приборов, устанавливаемых на высоте до 1 м от уровня пола, принимаются согласно [6, прил. 10; 2, п. 7.2]. Рекомендации по необходимости устройства воздушных и воздушно-тепловых завес (воздушных завес с подогревом воздуха) приведены в [6, пп. 4.85÷4.88].

В современных многоэтажных жилых и общественных зданиях проектируют преимущественно вертикальные однотрубные проточно-регулируемые системы водяного отопления (со смещенными обходными участками и трехходовыми кранами). При этом предпочтение следует отдавать проточно-регулируемым системам с унифицированными приборными узлами. На подводках к отопительным приборам устанавливают также краны двойной регулировки. Однотрубные проточные нерегулируемые системы водяного отопления наиболее экономичны, но применяются лишь в зданиях, где не требуется регулирование температуры воздуха отдельных помещений.

Для отопления зданий с плоскими кровлями без чердаков или с совмещенными кровлями широко применяют однотрубные системы с П-образными стояками и трехходовыми кранами у отопительных приборов. Однако в зданиях больше 12 этажей во избежание увеличения расхода теплоносителя применяют верхнюю разводку однотрубных стояков.

Системы отопления высотных зданий (высотой более 60 м) зонируют (делят на части) по высоте. Высота зоны определяется величиной допустимого давления воды в нижних приборах или кранах и возможностью размещения оборудования, трубопроводов и других коммуникаций на техническом этаже [4, § 6.8].

В зданиях увеличенной протяженности, монтируемых из сборных каркасно-панельных конструкций и имеющих удлиненные световые проемы, устраивают горизонтальные системы отопления.

Двухтрубные системы по сравнению с однотрубными более сложны в монтаже, а при верхней разводке менее гидравлически устойчивы по вертикали, поэтому их устраивают в зданиях высотой до трех этажей и в зданиях с разноэтажными частями ограниченных размеров.

Системы с естественной циркуляцией (двух- и однотрубные) допускаются в зданиях с индивидуальной котельной при радиусе действия до 30 м, их выполняют только с тупиковой разводкой магистралей. В малоэтажных жилых домах можно применять квартирную систему водяного отопления [4, § 6.7].

Однотрубные системы следует проектировать, как правило, с тупиковой разводкой магистралей. Желательно обеспечить пофасадное регулирование теплоотдачи отопительных приборов. Применение двухтрубных систем водяного отопления, а также однотрубных систем водяного отопления с попутным движением теплоносителя должно быть обосновано [6, п. 3.13].

Главный стояк размещают во вспомогательных помещениях (например,

в коридоре или в лестничной клетке). В системах с верхней разводкой подающие магистрали прокладываются на чердаке на расстоянии 1÷1,5 м от наружных стен, обратные – в подвале или подпольном канале. В системах с нижней разводкой прокладку подающих и обратных магистралей следует предусматривать совместную в подвалах, а при их отсутствии – в подпольном канале. Основные рекомендации по устройству трубопроводов и конструированию систем отопления изложены в [6, с. 5÷8; 2, п. 10.6].

Схему системы отопления конструируют применительно к конкретному зданию во фронтальной аксонометрической проекции (без искажения), начиная от распределительного коллектора и заканчивая сборным. Отопительные приборы на схеме изображают прямоугольниками, длина которых должна соответствовать принятой на планах, а высота – действительной высоте (в масштабе) приборов. Все подающие трубопроводы изображают сплошной линией, обратные – пунктирной. Подводки к приборам наносят в масштабе, однако «утки» (если они имеются) не показываются. При изображении присоединений двухсторонних подводов к угловым стоякам показывают изгиб одной из подводов.

В случаях, когда взаимное наложение стояков затрудняет чтение схемы, стояки системы отопления переднего фасада здания смещают по отношению к стоякам заднего фасада, условно обрывая трубы и помечая буквами места обрывов. Допускается раздельное изображение схем разводящих магистралей и отдельных типов стояков. При изображении двухтрубных стояков подающий стояк вычерчивают справа, если смотреть из помещения.

На схеме условно изображают расширительный бак, воздухоотборники с воздухоотводчиками (если они предусматриваются), краны регулирующие, запорные, опускные, воздушные, задвижки и др. арматуру, а также отдельные типовые узлы присоединения стояков к магистралям.

3.2. Выбор, размещение и присоединение отопительных приборов

Местные отопительные приборы (радиаторы, конвекторы, панели, ребристые трубы) принимают из числа изготавливаемых промышленностью и выбирают с учетом технико-экономических, архитектурных, теплотехнических, санитарно-гигиенических и производственно-монтажных требований. Технические характеристики основных отопительных приборов приведены в [2, прил. X; 3, с. 114÷126]. Основные рекомендации по выбору вида прибора изложены в [2, п. 9.2; 6, с. 7÷8].

В помещениях с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями применяют приборы с гладкой поверхностью, лучше всего отопительные панели, совмещенные со строительными конструкциями; применение гладкотрубных приборов должно быть обосновано.

При нормальных санитарно-гигиенических требованиях в помещениях используют приборы с гладкой или ребристой поверхностью. Рекомендуются устанавливать не более одного-двух видов приборов для всего отапливаемого

здания. В гражданских зданиях чаще применяют радиаторы и конвекторы, в промышленных – радиаторы и ребристые трубы.

При пониженных санитарно-гигиенических требованиях в помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей, могут устанавливаться приборы любого вида; предпочтение отдается приборам с высокими технико-экономическими показателями.

Для отопления лестничных клеток многоэтажных зданий следует использовать высокие конвекторы (типа КВ), которые применяют также для отопления залов и других помещений большого объема.

Рекомендации по размещению отопительных приборов в помещениях приведены в [2, п. 9.2; 6, с. 7÷8].

Отопительные приборы располагают преимущественно под световыми проемами (под витринами – по всей их длине). При этом вертикальные оси прибора и оконного проема должны совпадать с отклонением не более 50 мм. В жилых домах (в том числе в гостиничных зданиях, общежитиях) и вспомогательных зданиях предприятий совпадение вертикальных осей оконного проема и отопительного прибора не обязательно.

Установка отопительных приборов недопустима в отсеках тамбуров имеющих наружные двери. В крупных помещениях без рабочих мест у наружных ограждений допустим перенос части приборов к внутренним стенам с применением высоких конвекторов. В помещениях высотой более 6 м, особенно при теплопотерях через потолки и световые проемы наверху, целесообразно часть приборов (от 1/4 до 1/3 общего их числа) размещать в верхней зоне.

Отопительные приборы размещают так, чтобы был обеспечен их осмотр, очистка и ремонт. Минимальные расстояния от строительных конструкций зданий до нагревательных приборов и между приборами необходимо принимать по [6, с. 7]. Следует применять открытую установку приборов. Ограждения и укрытия отопительных приборов допустимы в помещениях детских учреждений, картинных галерей и музеев, в спортивных, торговых и зрелищных залах, в фойе, холлах и вестибюлях.

В помещениях, не имеющих вертикальных наружных ограждений (например, во внутренних коридорах), приборы не устанавливают, а теплопотери этих помещений относят к смежным с ними помещениям с наружными ограждениями. В лестничных клетках 2- и 3-этажных зданий отопительные приборы устанавливают, в основном, на первом этаже, не размещая часть их на лестничных площадках.

Для отопления ванных комнат применяют регистры – полотенцесушители, которые в домах с газовыми колонками подключаются к системе отопления, а в зданиях с централизованным горячим водоснабжением – к системе горячего водоснабжения. В последнем случае теплопотери ванных комнат в проекте отопления не учитываются.

В зданиях массового строительства следует предусматривать, как правило, одностороннее присоединение отопительных приборов к

трубопроводам, используя унифицированные проточно-регулируемые узлы и узлы с замыкающими участками. Разностороннее присоединение допускается в случаях, когда обратная магистраль находится непосредственно под приборами или когда приборы необходимо установить ниже магистралей системы отопления, а также при вынужденной установке более 20 секций в радиаторе (более 15 секций в системах с естественной циркуляцией) или соединении нескольких приборов «на сцепке».

Установка двух приборов «на сцепке» допускается в пределах одного помещения, а также когда последующий прибор предназначается для нерегулируемого отопления второстепенного помещения (коридора, уборной, кухни жилого здания и т.д.). Длина «сцепки» при этом не должна превышать 1,5 м, а диаметры «сцепок» принимают равными диаметрам ниппельных отверстий приборов.

У отопительных приборов устанавливают регулирующие краны. Однако у приборов, размещаемых близ наружных проемов, при входах в лестничные клетки, во входных тамбурах, а также у проточных приборов в подвалах регулирующие краны не устанавливают. При наличии в помещении нескольких приборов допускается регулирующие краны устанавливать только у части их. Рекомендации по установке регулирующей арматуры приведены в [6, пп. 3.61÷3.63; 2, п.10.6.2; 4, § 5.4].

При размещении отопительных приборов в помещениях, где имеются периодические тепловыделения, предусматривают их групповое выключение.

Присоединение гладких или ребристых труб, устанавливаемых в несколько ярусов или рядов, рекомендуется выполнять по последовательной схеме движения теплоносителя сверху вниз.

3.3. Подготовка к расчету схемы системы отопления

Подготовка к гидравлическому расчету трубопроводов системы отопления заключается в основном в разбивке схемы на расчетные участки с указанием длин и тепловых нагрузок. Под участком понимается отрезок трубопровода от точки присоединения одного прибора, стояка или разветвления до точки присоединения другого прибора, стояка или разветвления. В пределах расчетного участка расход теплоносителя, его температура и диаметр трубопровода остаются неизменными.

Стояки и расчетные участки нумеруют (в тупиковых схемах дальнему стояку присваивается №1, предпоследнему №2 и т.д.). Проставляют тепловую нагрузку каждого отопительного прибора. Тепловая нагрузка приборов и открыто проложенных труб принимается равной теплопотерям помещения, в котором они установлены. Если в каком-либо помещении (например, в коридоре) не устанавливается отопительный прибор, то приборы смежных помещений должны компенсировать и эти теплопотери.

Определяют тепловые нагрузки стояков и каждого участка подающей и

обратной магистралей путем суммирования нагрузок соответствующих расчетных участков. Указывают длину и тепловую нагрузку около каждого порядкового номера расчетного участка. Правильность распределения нагрузок подтверждается совпадением по величине тепловых нагрузок головных магистралей у распределительного и сборного коллекторов и общей тепловой мощности системы отопления, полученной в результате последовательного суммирования тепловых нагрузок ее расчетных участков с расчетной величиной теплопотерь проектируемого здания.

В заключение уточняют все ли конструктивные элементы (запорно-регулирующая арматура, изгибы, фасонные части труб и др.), гидравлические характеристики которых будут учитываться в качестве местных сопротивлений, условно нанесены на схему трубопроводов.

Аксонметрическая схема системы отопления (или аксонметрические схемы магистралей и стояков) с условным обозначением арматуры, указанием длин расчетных участков и тепловых нагрузок и параметры теплоносителя являются исходными данными для гидравлического расчета.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Под расчетным циркуляционным давлением ΔP_p , Па, понимается располагаемое давление, которое в расчетных условиях может быть израсходовано на преодоление гидравлических сопротивлений движению воды в трубопроводах системы отопления. Для систем водяного отопления ΔP_p определяют по формуле [2, п. 10.7; 4, § 7.5]

$$\Delta P_p = \Delta P_n + B \cdot (\Delta P_{e.np} + \Delta P_{e.tr}), \quad (4.1)$$

где ΔP_n – циркуляционное давление насоса (элеватора), Па;

$\Delta P_{e.np}$, $\Delta P_{e.tr}$ – естественное циркуляционное давление, возникающее в расчетном кольце вследствие охлаждения воды в отопительных приборах и трубопроводах соответственно, Па;

B – коэффициент, учитывающий величину естественного циркуляционного давления в расчетных условиях.

Для вертикальных однетрубных насосных систем и для любого вида систем с естественной циркуляцией $B = 1$. Для двухтрубных и горизонтальных однетрубных насосных систем $B = 0,4$ [4, с. 319].

Величина насосного циркуляционного давления ΔP_n определяется гидравлическим сопротивлением движению воды (потерей давления) в системе ΔP_c [2, с. 89÷90].

1) При независимом присоединении системы отопления к наружным теплопроводам (с применением теплообменника) ΔP_n находится на основании гидравлического расчета системы при предельно допустимой

скорости движения воды в трубах [2, табл. 10.5] с учетом потерь давления в теплообменнике.

2) Для зависимой схемы системы отопления без смешения, а также со смесительным насосом на переключке ΔP_n принимают не более разности давлений в наружных теплопроводах в точке ввода в здание ΔP_s .

3) Для зависимой схемы системы отопления с применением водоструйного элеватора ΔP_n принимается, исходя из ΔP_s и коэффициента смешения элеватора u , по [2, рис. 10.19; 3, с. 191÷192; 6, п. 3.30; 7, рис.3.7].

Коэффициент смешения u вычисляют по формуле

$$u = \frac{(t_{ex} - t_{вых})}{(t_{вых} - t_o^\phi)}, \quad (4.2)$$

где $t_{ex}, t_{вых}$ – температура воды на входе в элеватор и на выходе из элеватора соответственно, °С;

t_o^ϕ – фактическая температура воды в обратной магистрали системы отопления, °С.

При отсутствии предвключенной до элеватора тепловой нагрузки $t_{ex}=t_1$;

$$t_{ex} = t_r + 3,6 \cdot \frac{\Delta Q_{nod}}{c \cdot G_c}. \quad (4.3)$$

При наличии предвключенной до элеватора тепловой нагрузки (например, для отопления лестничной клетки) Q_{nped} , Вт

$$t_{ex} = t_1 - 3,6 \cdot \frac{Q_{nped}}{c \cdot G_{cem}}; \quad (4.4)$$

$$t_{вых} = t_r + 3,6 \cdot \frac{(\Delta Q_{nod} + Q_{nped})}{c \cdot G_c}, \quad (4.5)$$

где t_1, t_r – расчетная температура сетевой воды и горячей воды в подающей магистрали системы отопления соответственно, °С;

G_{cem}, G_c – расчетный расход сетевой воды и воды в системе отопления, соответственно, кг/ч;

c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

$$G_{cem} = 3,6 \cdot \frac{Q_{зд} + \Delta Q_{nod} + \Delta Q_{обр} + \Delta Q_{np}}{c \cdot (t_1 - t_o^\phi)}; \quad (4.6)$$

$$G_c = 3,6 \cdot \frac{Q_{зд} - Q_{nped}}{c \cdot (t_r - t_o)}, \quad (4.7)$$

где t_o – расчетная температура охлажденной воды в обратной магистрали системы отопления, °С;

$Q_{зд}$ – расчетные потери тепла зданием, Вт.

~~Здесь ΔQ_{np} , ΔQ_{nod} , $\Delta Q_{обр}$ – бесполезные потери тепла от размещения~~

Здесь ΔQ_{np} , ΔQ_{nod} , $\Delta Q_{обр}$ – бесполезные потери тепла от размещения отопительных приборов у наружных ограждений, в подающей и обратной магистрали системы отопления соответственно, Вт.

Принимают [7]:

а) для жилых зданий $\Delta Q_{nod} \approx 0,033 \cdot Q_{зд}$, $\Delta Q_{обр} \approx 0,017 \cdot Q_{зд}$, $\Delta Q_{np} \approx 0,05 \cdot Q_{зд}$;

б) для общественных зданий $\Delta Q_{nod} \approx 0,067 \cdot Q_{зд}$, $\Delta Q_{обр} \approx 0,033 \cdot Q_{зд}$, $\Delta Q_{np} \approx 0,05 \cdot Q_{зд}$;

$$t_o^\phi = t_o - 3,6 \cdot \frac{(\Delta Q_{обр} + Q_{np})}{c \cdot G_c}. \quad (4.8)$$

Насосное циркуляционное давление $\Delta P_n = \Delta P_{эл}$, передаваемое элеватором в систему отопления, можно рассчитать по формуле [4, с. 247]

$$\Delta P_{эл} = \frac{0,75(\Delta P_g - \Delta P_{отв})}{(1 + 2u + 0,21u^2)}, \quad (4.9)$$

где $\Delta P_{отв}$ – потери давления в ответвлении от точки присоединения к наружным теплопроводам до элеватора

Данные для определения $\Delta P_n = \Delta P_{эл}$ при $\Delta P_g = 150$ кПа представлены в [2, табл. 10.6].

На практике для определения ΔP_n , Па, часто используют соотношение [4, с. 236]

$$\Delta P_n = 100 \cdot \sum l_i, \quad (4.10)$$

где $\sum l_i$ – сумма длин последовательно соединенных участков основного циркуляционного кольца, м.

Давление насоса, рассчитанное по выражению (4.10), обуславливает сравнительно низкую скорость движения воды в трубах и может быть оправдано только для систем отопления с водоструйными элеваторами, работающими при высоком значении коэффициента смещения.

Естественное циркуляционное давление рассчитывают по формулам, приведенным в [2, п. 10.7; 6, §§ 7.3, 7.4].

5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Существует несколько методов гидравлического расчета трубопроводов систем отопления. Наиболее распространенными (при ручном счете) являются: 1) по удельной потере давления на трение; 2) по характеристикам сопротивлений.

При расчете первым методом считают, что перепады температуры теплоносителя во всех стояках и ветвях одинаковы и равны расчетному перепаду в системе $\Delta t_c = t_r - t_o$. При расчете вторым методом допускается отклонение перепадов температуры воды в стояках и ветвях не более $\pm 15\%$ от Δt_c .

Гидравлический расчет (любым методом) начинают с основного циркуляционного кольца, которым является наиболее длинная и нагруженная (с наибольшей тепловой нагрузкой) ветвь системы. В вертикальных тупиковых системах основное циркуляционное кольцо назначают через наиболее удаленный, но достаточно нагруженный стояк (в двухтрубных системах с КРД через нижний, а с КРП через верхний отопительный прибор). При попутном движении воды в магистралях вертикальной системы основное кольцо назначают через один из средних наиболее нагруженных стояков. Основное циркуляционное кольцо в горизонтальной однетрубной системе принимают через ветвь на верхнем этаже.

Гидравлическому расчету предшествует подготовка к нему схемы системы отопления (см. п. 3.3 настоящих МУ). Исходные данные для проектирования не зависят от того, каким методом ведется расчет. В процессе расчета (как и при определении потерь тепла) пользуются специальными таблицами [2, 4, 7], см. также приложение 3 настоящих МУ.

5.1. Гидравлический расчет трубопроводов методом удельной потери давления на трение

1) Выбирают основное циркуляционное кольцо и определяют его длину $\sum l_i$. Здесь l_i – длина i -го расчетного участка, м; $i=1, 2, \dots, N$; N – количество участков в основном циркуляционном кольце.

2) Вычисляют среднюю удельную потерю давления на трение R_{cp} , Па/м

$$R_{cp} = \frac{\beta \cdot \Delta P_p}{\sum l_i}, \quad (5.1)$$

где β – коэффициент, учитывающий потери давления на трение [2, табл. 46.21];

ΔP_p – расчетное циркуляционное давление, Па, (см. раздел 4 настоящих МУ).

3) Подсчитывают расход воды на каждом (i -м) участке основного циркуляционного кольца G_i , кг/ч

$$G_i = 3,6 \cdot \frac{Q_i}{(c \cdot (t_r - t_o))}, \quad (5.2)$$

где Q_i – тепловая нагрузка i -го участка, Вт.

Для однетрубных систем с замыкающими участками расход воды через

замыкающий участок G_{zy} , кг/ч, подсчитывают по формуле

$$G_{zy} = (1 - \alpha) \cdot G_{cm}, \quad (5.3)$$

где α – коэффициент затекания воды в отопительный прибор [2, табл.9.3];

G_{cm} – расход воды в стояке, кг/ч.

$$G_{cm} = 3,6 \cdot \frac{Q_{cm}}{(c \cdot (t_r - t_o))}, \quad (5.4)$$

где Q_{cm} – тепловая нагрузка стояка, Вт.

4) По известным расходам G_i , ориентируясь на R_{cp} , по [2, прил. II, табл. II.1, II.2; 3, табл. III.60] подбирают диаметры труб расчетных участков, определяют действительные значения удельных потерь давления на трение R_{gi} , Па/м, и скорости воды v_i , м/с. При этом v_i не должны превышать предельных значений [2, табл. 10.5; 6, п. 3.27].

5) Определяют для всех расчетных участков потери давления на трение ΔP_{mpi} , Па, и в местных сопротивлениях Z_i , Па, соответственно по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{mpi} &= R_{gi} \cdot l_i \\ Z_i &= \sum_{j=1}^m \zeta_{ji} \cdot \frac{\rho \cdot v_i^2}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (5.5)$$

где ζ_{ji} – коэффициент j -го местного сопротивления на рассматриваемом (i -м) участке [2, табл. 10.8, 10.9, II.10÷II.20; 3, с. 218-225];

$j=1, 2, \dots, m$;

m – количество местных сопротивлений на i -м участке;

ρ – плотность воды при $t = (t_r + t_o) / 2$, кг/м³ [2, табл.1.6].

Определение Z_i можно производить по [2, табл. II.3].

6) Вычисляют общие потери давления на каждом расчетном участке

$$(R \cdot l + Z)_i = \Delta P_{mpi} + Z_i. \quad (5.6)$$

7) Определяют фактические потери давления в основном циркуляционном кольце

$$(R \cdot l + Z)_{осн} = \sum_{i=1}^N (R \cdot l + Z)_i. \quad (5.7)$$

8) Полученные фактические потери давления в основном циркуляционном кольце $(R \cdot l + Z)_{осн}$ сравнивают с заданной величиной потерь давления ΔP_p . Если $(R \cdot l + Z)_{осн} > \Delta P_p$ или $(R \cdot l + Z)_{осн} < 0,9 \Delta P_p$, то производят соответствующие изменения параметров участков магистральных трубопроводов и повторяют расчет до выполнения ограничений [6, п. 3.29].

После расчета основного циркуляционного кольца производят расчет еще двух дополнительных циркуляционных колец. При тупиковом движении воды в магистралях дополнительные кольца назначают через средний и ближний (или более нагруженный, находящийся рядом) от распределительного коллектора стояки. При попутном движении воды в магистралях дополнительные кольца назначают через ближний и дальний стояки (или более нагруженные стояки, расположенные рядом с ними), а в горизонтальной однотрубной системе – через ветви на среднем и нижнем этажах.

Гидравлический расчет дополнительного циркуляционного кольца сводится к подбору диаметров на необщих (параллельно соединенных) с основным кольцом участках. При этом потери давления (с учетом естественного циркуляционного давления) на параллельно соединенных участках не должны различаться более чем на $\pm 5 \%$ при попутном и на 15% при тупиковом движении воды в магистралях [6, п. 3.35]. При проектировании однотрубных тупиковых систем потери давления в стояках необходимо принимать не менее 70% общей потери давления в рассчитываемом кольце [6, п. 3.33].

При невозможности увязки потерь давления в циркуляционных кольцах необходимо устанавливать дроссельные шайбы. Диаметр отверстия дроссельной шайбы рассчитывают по формуле

$$d_{ш} = 2 \cdot \sqrt{\frac{G_{см}}{H_{ш}}}, \quad (5.9)$$

где $d_{ш}$ – диаметр отверстия дроссельной шайбы, мм;

$G_{см}$ – расход теплоносителя в стояке, кг/ч;

$H_{ш}$ – требуемая потеря напора в шайбе, мм вод. ст.

Диаметр отверстия шайбы округляют до 0,5 мм в ближайшую сторону. Минимальный диаметр отверстия шайбы принимают 3 мм.

В целях индустриализации рекомендуется принимать стояки постоянного диаметра по высоте здания (15 или 20 мм). Составные стояки (из трубопроводов имеющих не более двух диаметров), а также стояки диаметром 25 мм допускается применять только при невозможности увязки другими способами. Диаметр стояка можно сменить только один раз в месте стыковки приборного узла и междуэтажной ветки. Не нормируются диаметры концевых участков стояков (от точки подсоединения к магистрали до ближайшего приборного узла), а также участков стояков, расположенных в пределах технического подполья.

В однотрубных системах с замыкающими участками дополнительно проверяют числовые значения выбранных по [2, табл. 9.3] коэффициентов затекания воды в отопительные приборы. Проверку производят для двух приборов (резко отличающихся по тепловым нагрузкам или по длине

подводок) одного из рассчитанных стояков. Для этого выполняют гидравлический расчет малого циркуляционного кольца.

Для параллельно соединенных участков малого циркуляционного кольца должно выполняться условие

$$\sum (R \cdot l + Z)_{\text{подв.пр}} \cong (R \cdot l + Z)_{\text{зв}} \pm \Delta P_{\text{е.пр}}, \quad (5.10)$$

где $\sum (R \cdot l + Z)_{\text{подв.пр}}$ – потери давления в подводках и в приборе;

$(R \cdot l + Z)_{\text{зв}}$ – потери давления в замыкающем участке;

$\Delta P_{\text{е.пр}}$ – естественное циркуляционное давление, возникающее в малом контуре вследствие охлаждения воды в отопительном приборе.

Знак плюс соответствует движению воды в стояке сверху вниз, знак минус – снизу вверх.

Условие (5.10) считается выполненным, если расхождение (невязка) не превышает 10%. В противном случае расчет малого циркуляционного кольца повторяют, задавшись новым значением коэффициента затекания α , что одновременно повлечет к изменению расходов воды через замыкающие участки. В этом случае потери давления в замыкающих участках изменятся. Необходимо вновь определить $(R \cdot l + Z)_{\text{осн}}$ и произвести сравнение с ΔP_p . Должно выполняться условие

$$0,9 \Delta P_p \leq (R \cdot l + Z)_{\text{осн}} < \Delta P_p.$$

Диаметры трубопроводов участков, не вошедших в рассчитанные кольца, подбирают ориентировочно (без подробного расчета и составления расчетных таблиц) путем сопоставления их тепловых нагрузок с нагрузками рассчитанных участков. Выбранные диаметры наносят на схему системы отопления.

В заключение, для выявления располагаемых давлений в точках присоединения стояков к магистралям строят график изменения циркуляционного давления в магистральных теплопроводах и стояках системы отопления [2, с. 100÷101; 4, рис. 8.2].

Особенности гидравлического расчета двухтрубных систем отопления методом удельной потери давления на трение подробно изложены в [2, п. 10.9.2; 4, с. 346÷356].

5.2. Гидравлический расчет трубопроводов методом характеристик сопротивлений

При использовании метода характеристик сопротивлений предварительно задаются диаметрами труб на каждом участке, а затем находят действительные расходы воды, потери давления и перепады температур в стояках и ветвях системы отопления. При этом допускается

отклонение перепадов температуры воды в стояках и ветвях от Δt_c максимально на $\pm 15\%$ (но не более 7°C) [6, п. 3.32].

Потери давления Δp_i , Па, на каждом (i -м) участке подсчитывают, используя характеристики сопротивлений участков S_i , Па/(кг/ч)².

$$\Delta p_i = S_i \cdot G_i^2; \quad (5.11)$$

$$S_i = A_i \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l_i + \sum_{j=1}^m \zeta_{ji} \right) = A_i \cdot \zeta_{npi}, \quad (5.12)$$

где A – удельное динамическое давление, Па/(кг/ч)²,

$$A = 8 / (3600^2 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot \rho);$$

λ / d – приведенный коэффициент гидравлического трения, 1/м;

d – внутренний диаметр трубопровода, м; $i = 1, 2, \dots, n$;

n – количество участков в расчетной ветви.

m – количество местных сопротивлений на i -м участке.

Расчет вертикальных однетрубных систем с тупиковым движением воды в магистралях (см. [2, рис. 10.7, 10.21; 4, рис. 8.6, 8.11; 7, рис. 3.11]) производят в следующей последовательности.

1) Выбирают главное циркуляционное кольцо, рассчитывают ΔP_p , Па, и R_{cp} , Па/м, как и в п. 5.1.

2) Определяют для основных типов стояков и каждого участка магистралей удельную характеристику сопротивления $S_{y\partial}$, Па/(м·(кг/ч)²)

$$S_{y\partial} = \frac{R_{cp}}{G_{y\partial}^2}, \quad (5.13)$$

где $G_{y\partial}$ – ориентировочный расход воды на участке, кг/ч, определяется по формуле (5.2) или (5.4).

3) По таблицам [2, табл. 10.7; 7, табл. 3.24], ориентируясь на $S_{y\partial}$, назначают диаметры труб стояков и участков магистралей. Для стояков принимают ближайший меньший, а для магистралей – ближайший больший диаметр труб, проверяя скорость движения воды по [2, табл. 10.5].

Диаметры трубопроводов можно назначать по расходу с учетом допустимой скорости движения теплоносителя [2, табл. 10.7, 10.10; 7, табл. 3.26, 3.27].

4) Определяют характеристику сопротивления первого (последнего по ходу движения горячей воды) стояка S_I , Па/(кг/ч)², по формуле (5.11) или по [2, табл. 10.7, 10.19, 10.20; 7, табл. 3.30÷3.36].

$$S_I = \sum_{k=1}^N S_k, \quad (5.14)$$

где S_k – характеристика сопротивления k -го элемента стояка, $k = 1, 2, \dots, N$;

N – количество элементов, составляющих стояк [2, рис. 10.26; 7, рис. 3,9].

5) Вычисляют расход воды в первом стояке G_{cm1} , кг/ч, задаваясь $\Delta t_{cm1} = \Delta t_c + t^*$.

$$G_{cm1} = 3,6 \cdot \frac{Q_{cm1}}{c \cdot \Delta t_{cm1}}, \quad (5.15)$$

где Q_{cm1} – тепловая нагрузка первого стояка, Вт; t^* принимают равной $4 \div 6$ °С. Для первого и одновременно наиболее нагруженного стояка принимают максимально возможный перепад температуры.

6) Рассчитывают потери давления в первом стояке ΔP_{cm1} , Па, по формуле (5.11) и проверяют выполнение нормативного требования: $\Delta P_{cm} > 0,7 \cdot \Delta P_p$ (для П-образных стояков принимают $\Delta P_{cm} \approx 0,8 \cdot \Delta P_p$).

7) Аналогично назначают диаметры, находят характеристики сопротивлений и рассчитывают потери давления ΔP_{1-2} , $\Delta P_{1'-2'}$ на участках соответственно подающей и обратной магистралей, соединяющих первый и второй (предпоследний) стояки.

8) Вычисляют значение располагаемого напора для второго стояка $\Delta P_{cm2.p}$, Па, с учетом естественного циркуляционного давления ΔP_e . Второй и первый стояки соединены параллельно участками трубопроводов 1-2 и 1'-2' соответственно подающей и обратной магистралей.

$$\Delta P_{cm2.p} = (\Delta P_{cm1} + \Delta P_{1-2} + \Delta P_{1'-2'}) + (\Delta P_{e2} - \Delta P_{e1}) \quad (5.16)$$

Для однотипных стояков допустимо естественное циркуляционное давление ΔP_e не учитывать.

9) Определяют характеристику сопротивления второго стояка S_2 (диаметр этого стояка назначают по его S_{yd} и $G_{cm2.op}$).

10) Зная S_2 и принимая располагаемое давление $\Delta P_{cm2.p}$ за расчетные потери давления, определяют расход воды по второму стояку

$$G_{cm2} = \sqrt{\frac{\Delta P_{cm2.p}}{S_2}}. \quad (5.17)$$

11) Вычисляют расчетный перепад температуры воды во втором стояке Δt_{cm2} , °С, соответствующий расходу G_{cm2}

$$\Delta t_{cm2} = 3,6 \cdot \frac{Q_{cm2}}{c \cdot G_{cm2}}. \quad (5.18)$$

12) Проверяют соответствие расчетного перепада температуры воды во втором стояке допустимому

$$0,85 \Delta t_c \leq \Delta t_{cm2} \leq 1,15 \Delta t_c. \quad (5.19)$$

Если условие (5.19) не выполняется, то изменяют диаметры отдельных

элементов стояка (концевых участков, узлов междуэтажных вставок) и расчет S_2 , G_{cm2} и Δt_{cm2} повторяют до выполнения неравенства (5.19).

13) Рассчитывают следующие участки магистралей (2-3 и 2'-3'), определяют располагаемое давление для третьего стояка и т.д.

В итоге находят общие потери давления ΔP_I , Па, и суммарный расход воды G_I , кг/ч, например, в первой ветви. Если система отопления одноветвевая (состоит из одной части), то ΔP_I и G_I сопоставляют с ΔP_p и G_c и в случае выполнения нормативных требований гидравлический расчет заканчивают. Если же система состоит, например, из двух частей, то расчет можно продолжать следующим образом.

Полученную величину ΔP_I принимают исходной для определения расхода воды во второй части системы $G_{II} = \sqrt{\frac{\Delta P_I}{S_{II}}}$. Здесь S_{II} – характеристика сопротивления второй части системы отопления.

14) Находят общий расход воды в системе $G_c^* = G_I + G_{II}$ и вычисляют потери давления на подающей и обратной головных магистралях $\Delta P_r = S_r \cdot (G_c^*)^2$, а также общие потери давления в системе

$$\Delta P_c^* = \Delta P_I + \Delta P_r. \quad (5.20)$$

15) Сопоставляют полученные величины ΔP_c^* и G_c^* с исходными данными (ΔP_p и G_c). Если выполняется условие $0,9 \cdot \Delta P_p \leq \Delta P_c^* < \Delta P_p$, то распределяют расходы воды между стояками второй части системы отопления в соответствии с коэффициентами затекания воды в стояки α_{cm} . Например,

$$\alpha_{cm1} = \frac{1}{(1 + \sqrt{S_1/S_2})}. \quad (5.21)$$

Если же не выполняется нормативное требование, то либо изменяют диаметры головных участков магистралей с пересчетом ΔP_r , либо уточняют общий расход и температуру обратной воды в системе отопления

$$G_p = G_c^* \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c^*}}; \quad (5.22)$$

$$t_o = t_r - 3,6 \cdot \frac{Q_c}{c \cdot G_p}. \quad (5.23)$$

При изменении общего расхода воды в системе уточняют расходы во всех участках и стояках умножением на поправочный коэффициент

$$K_G = \frac{G_p}{G_c^*}. \quad (5.24)$$

Вычислив действительные расходы воды в стояках $G_{ст.д}$, определяют действительные перепады температуры воды в стояках $\Delta t_{ст.д}$. Значения $G_{ст.д}$ и $\Delta t_{ст.д}$ являются исходными данными для расчета отопительных приборов.

Расход теплоносителя в подъемных ветвях стояков с замыкающими участками для восстановления циркуляции после отключения и последующего включения отопительных приборов, присоединенных к этим ветвям, должен быть не менее минимального $G_{мин}$, кг/ч. Значение $G_{мин}$ является функцией параметров теплоносителя и отопительных приборов и определяется согласно [2, табл. 10.10; 7, табл. 3.27].

6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Площадь нагревательной (теплоотдающей) поверхности определяется тепловой нагрузкой, а также в зависимости от вида отопительного прибора, его расположения в помещении и схемы присоединения к трубопроводам. В рядовых помещениях число отопительных приборов можно устанавливать по числу оконных проемов.

6.1. Расчет поверхности нагрева отопительного прибора

Расчет поверхности нагрева отопительного прибора производят следующим образом [2, пп. 9.3, 9.5; 4, § 4.7]

1) Рассчитывают теплоотдачу открыто проложенных в помещении труб $Q_{тр}$, Вт

$$Q_{тр} = q_v \cdot l_v + q_h \cdot l_h, \quad (6.1)$$

где q_v , q_h – теплоотдача 1 м соответственно вертикально и горизонтально проложенных в помещении труб, Вт/м [2, табл. II.22];

l_v , l_h – длина соответственно вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения, м.

2) Определяют теплопередачу отопительного прибора $Q_{пр}$, Вт, в рассматриваемое помещение

$$Q_{пр} = Q_n - 0,9Q_{тр}, \quad (6.2)$$

где Q_n – потери тепла помещением, Вт (см. п. 2 настоящих МУ).

3) Рассчитывают среднюю температуру $t_{ср}$, °С, теплоносителя (воды) в отопительном приборе:

а) для однотрубных систем отопления

$$t_{cp} = t_r - \sum \Delta t_M - \left(\sum Q_{np} + \frac{0,5Q_{np}^*}{\alpha} \right) \cdot \frac{\beta_1 \cdot \beta_2}{c_p \cdot G_{cm}}; \quad (6.3)$$

б) для двухтрубных систем отопления

$$t_{cp} = 0,5 \cdot [t_r - (\sum \Delta t_M + \sum \Delta t_{n.cm}) + t_o], \quad (6.4)$$

где t_r , t_o – расчетная температура горячей и обратной воды в системе отопления, °С;

$\sum \Delta t_M$ – суммарное понижение температуры воды на участках подающей магистрали от начала системы отопления до расчетного стояка, °С [2, с. 45];

$\sum Q_n$ – суммарная тепловая нагрузка приборов стояка, расположенных до рассчитываемого отопительного прибора, Вт;

Q_{np}^* – тепловая нагрузка расчетного отопительного прибора, Вт;

α – коэффициент затекания воды в отопительный прибор [2, табл. 9,3];

β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь (сверх расчетной) приборов, принятых к установке [2, табл. 9.4; 4, с. 157];

β_2 – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери вследствие размещения отопительных приборов у наружных ограждений [2, табл. 9.5; 4, с. 157];

C – удельная массовая теплоемкость теплоносителя (воды), Дж/(кг·К);

G_{cm} – расход теплоносителя в стояке (ветви), кг/ч;

$\sum \Delta t_{n.cm}$ – суммарное понижение температуры теплоносителя на участках подающего стояка от магистрали до рассматриваемого отопительного прибора, °С.

4) Определяют средний температурный напор Δt_{cp} , °С

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_a, \quad (6.5)$$

где t_a – температура воздуха в помещении, °С.

5) Рассчитывают номинальную плотность теплового потока отопительного прибора

$$q_{ном} = \frac{Q_{ном}}{A}, \quad (6.6)$$

где $Q_{н.у}$ – номинальный тепловой поток отопительного прибора, Вт;

A – площадь нагревательной поверхности элемента (секции) отопительного прибора, м².

6) Рассчитывают поверхностную плотность теплового потока отопительного прибора q_{np} , Вт/м²

$$q_{np} = q_{ном} \cdot \left(\frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{np}}{360} \right)^p \cdot b \cdot \psi \cdot c_1, \quad (6.7)$$

где G_{np} – расход теплоносителя в отопительном приборе, кг/ч;

$q_{ном}$ – номинальная плотность теплового потока отопительного прибора, Вт/м²;

b – коэффициент учета атмосферного давления в данной местности [2, табл. 9.1];

ψ – коэффициент учета направления движения теплоносителя в отопительном приборе «снизу – вверх» [2, табл. 9.11];

n, p, c_1 – поправочные коэффициенты (показатели) [2, табл. 9.2].

7) Определяют расчетную площадь нагревательной поверхности отопительного прибора F_p , м²

$$F_p = \frac{Q_{np}}{q_{np}}. \quad (6.8)$$

6.2. Определение числа секций (элементов) отопительного прибора

1. Число секций N , шт., чугунных радиаторов определяют по формуле

$$N = \frac{F_p \cdot \beta_4}{A \cdot \beta_3}, \quad (6.9)$$

где β_3 – поправочный коэффициент, учитывающей число секций в одном радиаторе [2, с. 47; 4, с. 161];

β_4 – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки радиатора [2, табл. 9.12; 4, с. 161].

При выборе целого числа секций радиатора допускается уменьшение теплового потока Q_{np} не более чем на 5 % (но не более чем на 60 Вт) (понижение t_e на 1 °С в гражданских и на 2 °С – в производственных зданиях). К установке в основном принимают ближайшее большее число секций.

2. Число стальных панельных радиаторов типа РСВ и РСГ площадью f_1 , м², размещаемых открыто, равно

$$N = \frac{F_p}{f_1}. \quad (6.10)$$

3. Размер конвекторов с кожухом площадью f_1 , м², также определяется длиной выпускаемых приборов

$$N = \frac{F_{np}}{f_1}. \quad (6.11)$$

4. Число элементов конвекторов без кожуха или ребристых труб по вертикали и в ряду по горизонтали определяют по формуле

$$N = \frac{F_p}{n \cdot f_1}, \quad (6.12)$$

где n – число ярусов или рядов элементов, составляющих прибор.

Предполагаемое число ярусов и рядов элементов, а также схему соединения их между собой следует заранее учитывать при определении F_p .

5. Длина греющей трубы l , м, в ярусе или в ряду гладкотрубного прибора составит

$$l = \frac{F_p \cdot \beta_4}{n \cdot f_1}, \quad (6.13)$$

где f_1 – площадь 1 м открытой горизонтальной трубы принятого диаметра, $\text{м}^2/\text{м}$.

7. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ И АВТОМАТИКИ УЗЛА ВВОДА

Для присоединения потребителей к наружным тепловым сетям устраивают тепловые пункты. Принципиальные схемы местных тепловых пунктов, рекомендации по устройству тепловых пунктов и по выбору схем присоединения систем отопления к наружным тепловым сетям (с элеватором, смесительным насосом, без подмешивания или через подогреватель) изложены в [2, п. 10.1; 4, § 6.3; 10, глава 23].

Основным оборудованием местных тепловых вводов (пунктов) являются элеваторы, подогреватели, грязевики, расширительные баки, насосы, водомеры (тепломеры).

Расчет водоструйного элеватора сводится к определению диаметров его горловины и сопла [4, § 6.5]

$$d_r = 1,55 \cdot \frac{G_c^{0,25}}{\Delta P_n^{0,25}}, \quad (7.1)$$

где d_r – диаметр горловины, см;

G_c – расход воды в системе отопления, т/ч (рассчитывается по формуле (4.7));

ΔP_n – насосное циркуляционное давление, кПа (см. раздел 4 настоящих МУ).

По d_r подбирают стандартный элеватор [3, табл. VI.12; 10, табл. 24.4].

Диаметр сопла d_c для подобранного элеватора можно рассчитать по приближенной зависимости [4, с. 247]

$$d_c = \frac{d_r}{1 + u}, \quad (7.2)$$

где u – коэффициент смешения элеватора, определяется по формуле (4.2).

Разность давлений в наружных теплопроводах в точке ввода в здание

$\Delta P_{\text{в}}$, кПа, обеспечивающую нормальную работу элеватора, определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{в}} = 6,28 \cdot \frac{G_{\text{сет}}}{d_c^4}, \quad (7.3)$$

где $G_{\text{сет}}$ – расход сетевой воды, т/ч (рассчитывается по формуле (4.6));
 d_c – диаметр сопла, см.

Размеры грязевиков и воздухоотборников устанавливают по диаметрам подводящих трубопроводов так, чтобы скорость движения воды в них не превышала 0,05÷0,1 м/с [2, с. 86; 3, с. 172; 4, с. 204]. При этом диаметр проточного воздухоотборника должен не менее чем в два раза превышать диаметр магистрали.

Расчет полезного объема открытого расширительного бака выполняют согласно [2, п. 10.6.8; 3, с. 169; 4, § 6.6].

Запорно-регулирующая арматура подбирается в зависимости от вида и параметров теплоносителя по [2, прил. V÷IX; 11, глава 4], а циркуляционные насосы – по [2, прил. XIII; 3, табл. V.14 – V.18].

Рекомендации, необходимые для принятия принципиальных решений по оснащению узла ввода контрольно-измерительными приборами (манометрами, термометрами, расходомерами, тепломерами) и средствами автоматизации (регуляторами расхода, температуры и давления), приведены в [2, п. 10.1; 4, § 6.3]. Технические характеристики контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, а также основные положения по их монтажу подробно изложены в [9].

8. СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Расчетно-пояснительная записка выполняется чернилами от руки аккуратным подчеркивом или распечатывается на принтере ПЭВМ (размер шрифта-14, шрифт Times New Roman) на стандартном листе писчей бумаги и представляется на подпись руководителю проекта в сброшюрованном виде.

В начале записки помещается задание на проектирование и содержание, а в конце заключение, библиографический список и приложения (если они имеются). На титульном листе (обложке) указывается названия учебного заведения, кафедры, темы проекта, фамилия и.о. студента и руководителя месяц и год выполнения проекта.

Заглавия разделов выделяются шрифтом или подчеркиванием и нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки, поясняющие расчеты, и таблицы выполняются непосредственно в тексте записки или на отдельных листах сразу после первой ссылки на них. Они нумеруются в пределах раздела арабскими цифрами. Рисунки сопровождаются подрисовочной надписью в одну строку

с его номером, а таблицы – нумерационным заголовком, который располагается с правой стороны листа над таблицей.

Ссылки на использованные литературные источники обозначаются в тексте порядковым числом, заключенным в прямые скобки. Список литературных источников (библиография) помещается на отдельном листе и должен соответствовать требованиям ГОСТ 7.1 – 84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

Формулы должны записываться в СИ и нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами в круглых скобках. Ссылки на формулы в тексте нужно давать в круглых скобках.

Чертежи выполняются карандашом четко и аккуратно, с соблюдением всех правил и условностей строительного черчения и в соответствии с требованиями ЕСКД и ГОСТ 21.602 – 79 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи».

В текстовых указаниях к листу записываются данные по тепловой изоляции, особые требования к монтажу, испытаниям и окраске трубопроводов, отопительных приборов и оборудования системы отопления. Надписи на листах выполняются чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304 – 81.

При выполнении чертежей теплового пункта (план и разрез) можно использовать типовые рабочие чертежи серии ТС-05-15, вып.2; ТС-05-15, вып.6; 903-04-13.

На схеме системы показывают уклоны труб (стрелками), номера стояков (в кружках), приспособления для спуска воды и удаления воздуха из стояков, ветвей и частей системы. Над каждым отопительным прибором указывают его тепловую мощность (нагрузку), внутри каждого прямоугольника, условно изображающего прибор, приводят данные, характеризующие отопительный прибор (число секций, марку, длину и т.п.).

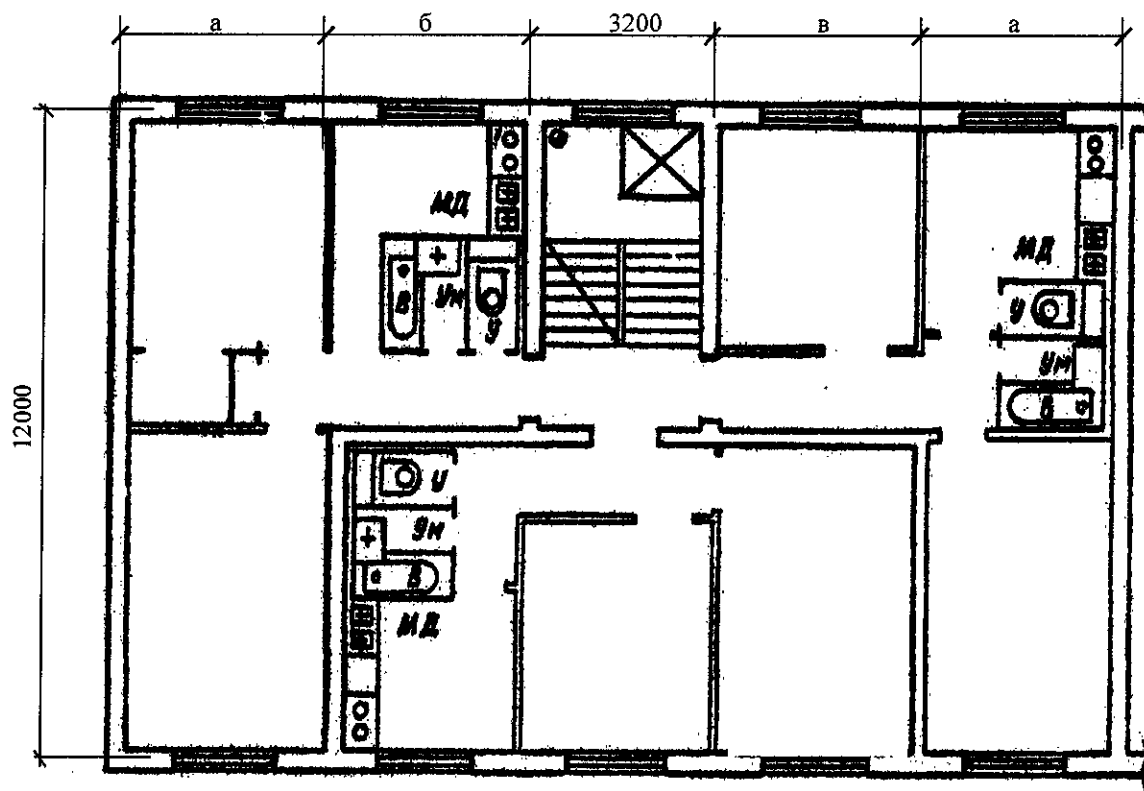
Над расчетными участками труб наносят в виде дроби тепловую нагрузку и диаметр (для труб по ГОСТ 3262-75 - условный, например, 40 мм; для труб по ГОСТ 10704-76 - наружный диаметр и толщину стенки, например, 46x3.5 мм), а рядом номер участка (в кружке). Над нерасчетными участками магистралей указывают тепловую нагрузку и ориентировочный (по аналогии с рассчитанными участками) диаметр трубы; под номером каждого стояка – его тепловую нагрузку.

Если все (или в основном все) стояки и подводки к приборам приняты одного диаметра, то об этом делают примечание к схеме. В примечании также указывают тип приборов и регулирующих кранов, способ удаления воздуха из системы, величину уклона труб, необходимость наложения тепловой изоляции на трубы, наличие подпольных каналов и другие дополнительные сведения о системе отопления.

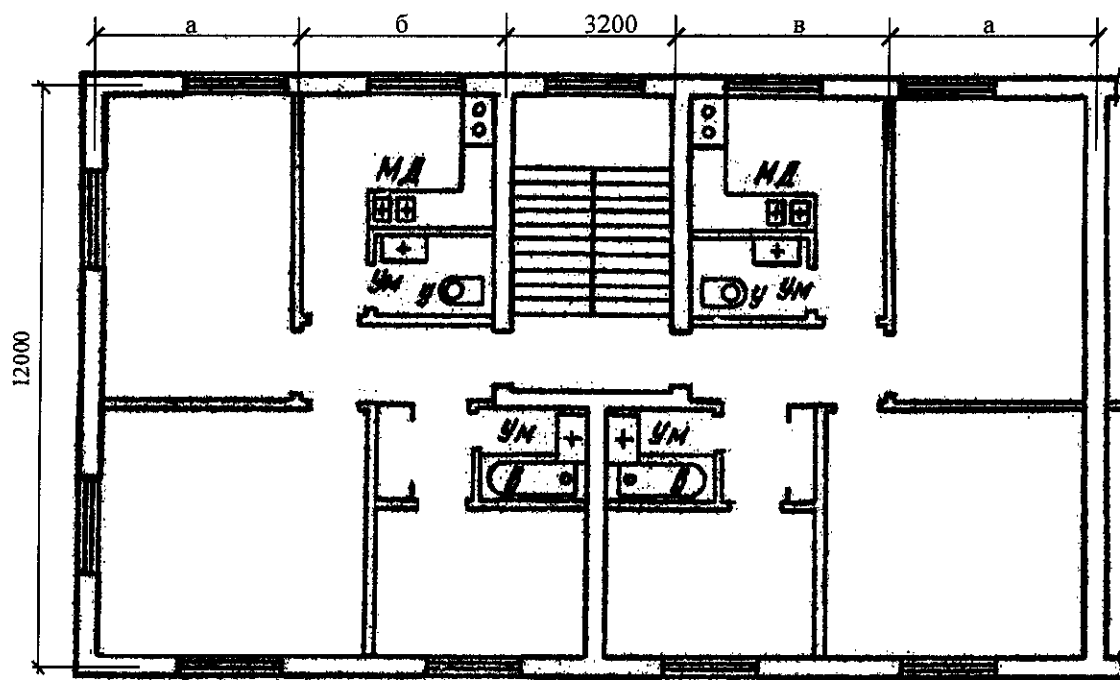
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

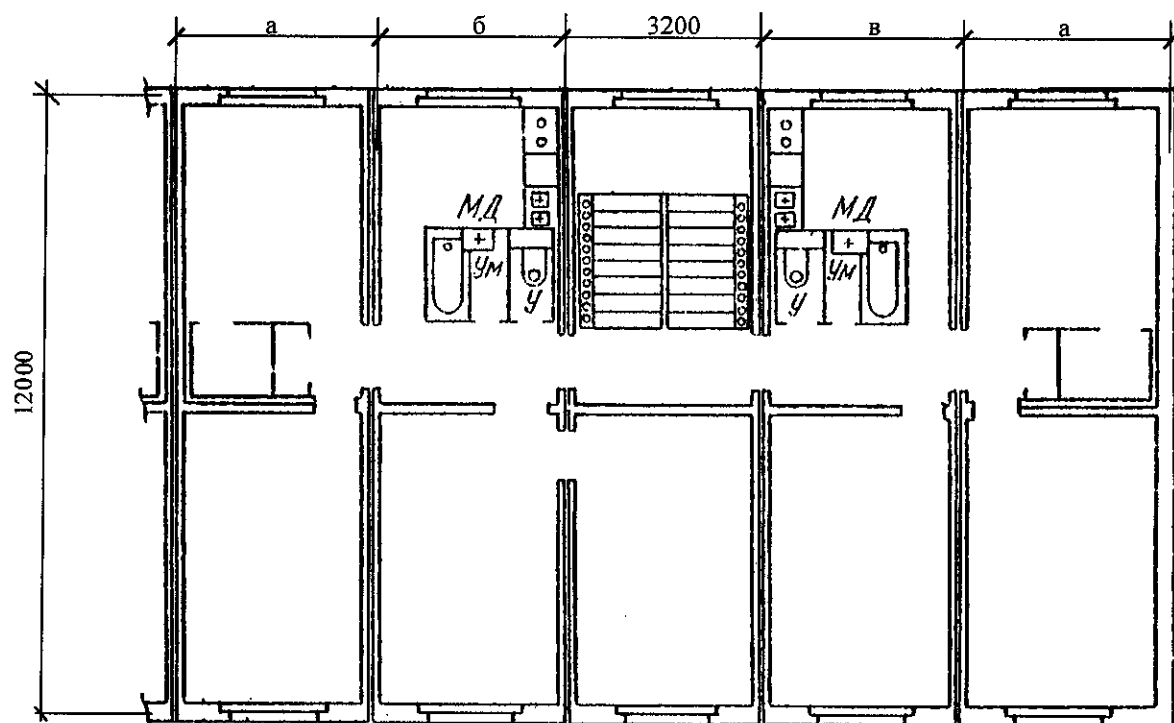
Планы типовых этажей



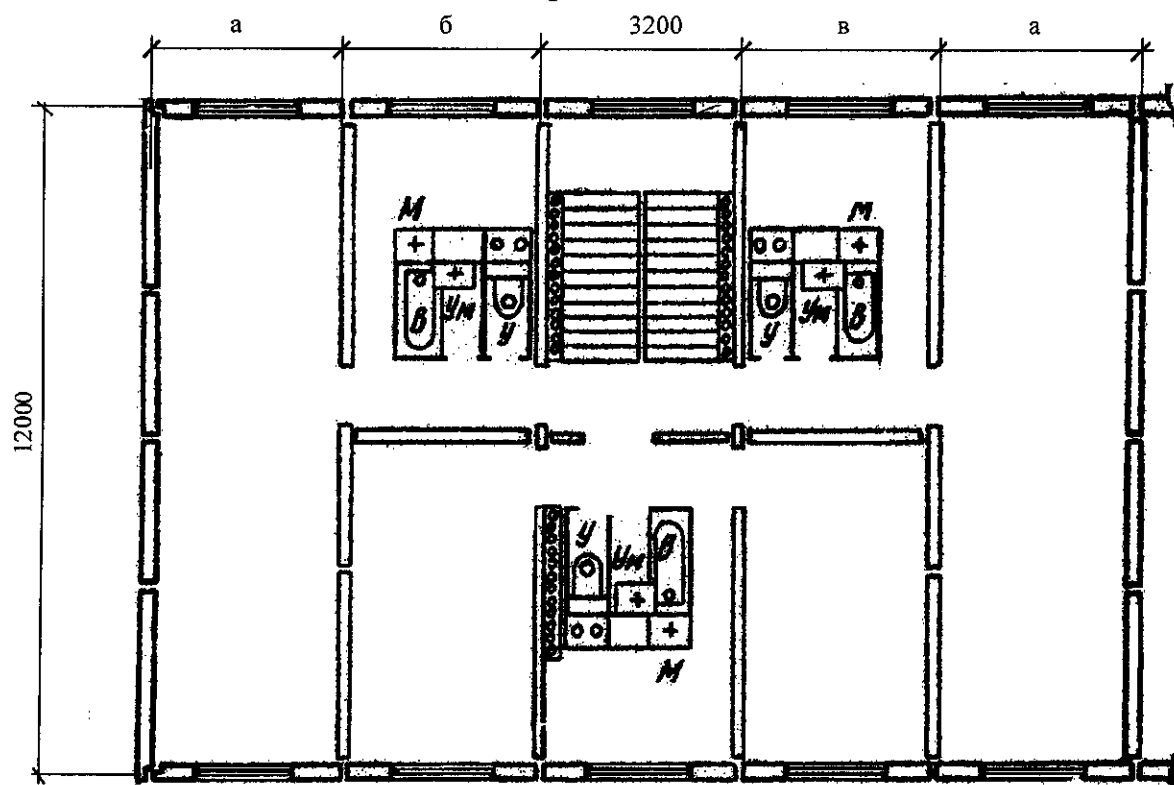
Вариант 1



Вариант 2

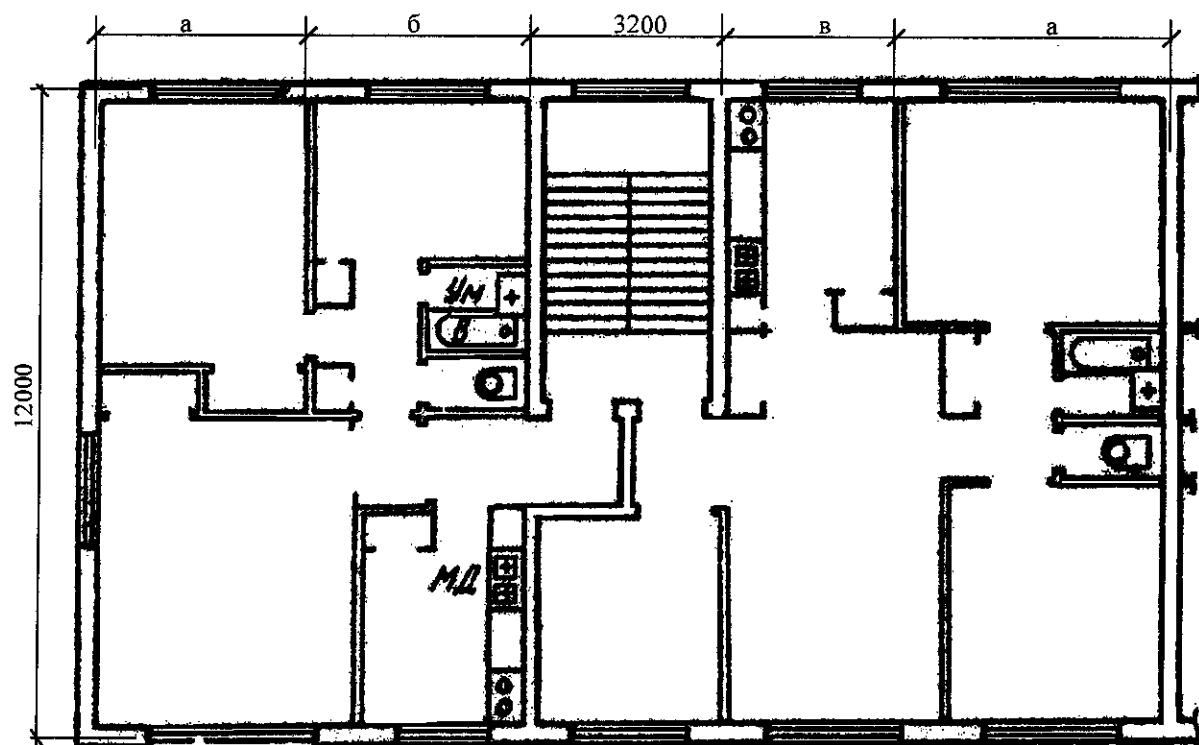


Вариант 3

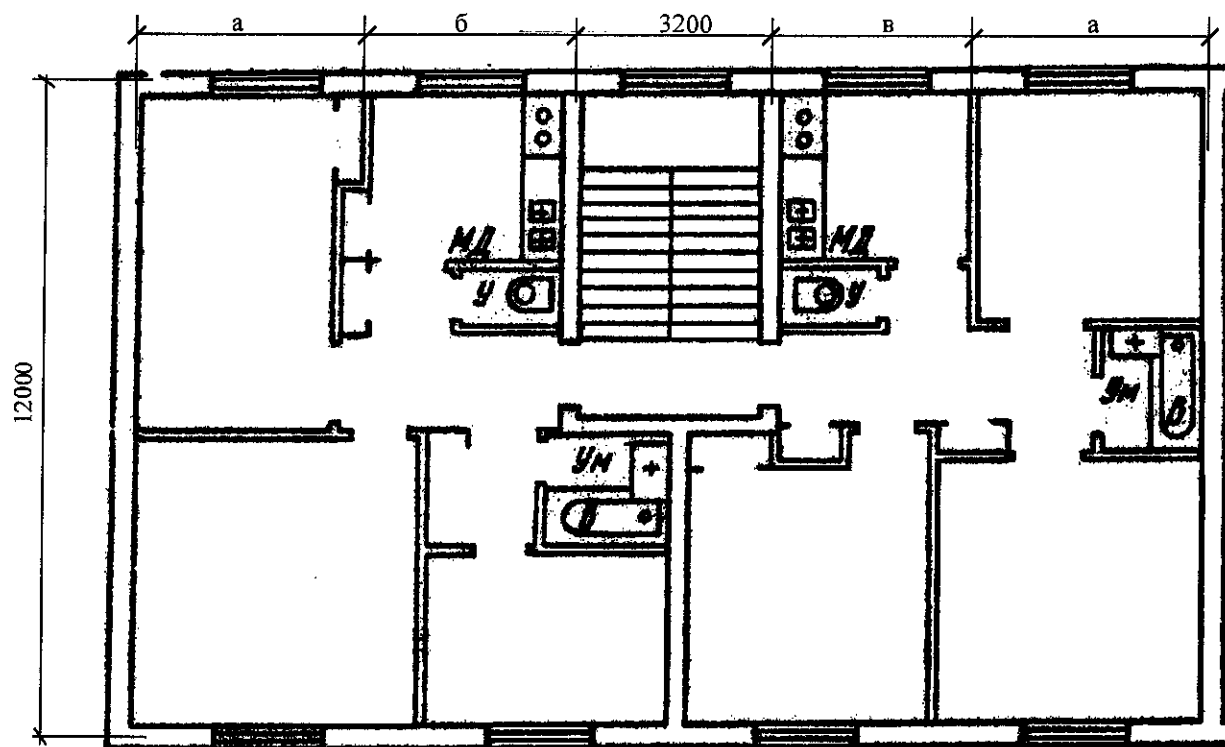


Вариант 4

Продолжение приложения 1



Вариант 5



Вариант 6

Варианты строительных размеров					
№ варианта	Строительные размеры по плану			Высота этажа в чистоте $h_{эт}, м$	Высота устья вентиляционной шахты над перекрытием чердака $h_{ш}, м$
	а	б	в		
1	4,5	3,4	3,0	,5	2,5
2	4,3	3,2	2,9	2,6	3,0
3	4,1	3,0	2,8	2,7	2,6
4	3,9	2,8	2,7	2,8	3,1
5	3,7	3,5	2,6	2,9	2,7
6	3,5	3,3	2,5	3,0	3,2
7	4,6	3,1	3,0	2,5	2,3
8	4,4	3,4	2,9	2,6	3,3
9	4,2	3,2	2,8	2,7	2,9
10	4,0	3,0	2,7	2,8	3,4
11	3,8	2,8	2,6	2,9	3,0
12	3,6	3,5	2,5	3,0	3,5
13	4,5	3,3	3,0	2,5	2,5
14	4,3	3,1	2,9	2,6	3,0
15	4,1	3,4	2,8	2,7	2,6
16	3,9	3,2	2,7	2,8	3,1
17	3,7	3,0	2,6	2,9	2,7
18	3,5	3,5	2,5	3,0	3,2
19	4,6	3,0	3,0	2,5	2,8
20	4,4	3,2	2,9	2,6	3,1

Приложение 2

Значения коэффициента K^* , учитывающего повышение динамического давления ветра по высоте

Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
	10	20	40	60	100	200	300 и более
А	1,0	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1
Б	0,65	0,9	1,2	1,45	1,8	2,45	3,1

Примечание: к типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ); к типу Б относятся города с окраинами, лесные массивы и тому подобные местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

Приложение 3

Таблица ПЗ.1

Результаты расчета теплопотерь и тепловыделений

Номер помещения	Наименование помещения и его температура t_e , °C	Характеристика ограждения					Расчетная разность температур $(t_e - t_n)n$, °C	Основные теплопотери Q_o , Вт	Добавочные теплопотери, β		Коэффициент $(1+\beta)$	Расход тепла на инфильтрацию, Q_e , Вт	Бытовые тепловыделения $Q_{быт}$, Вт	Полные теплопотери $Q_{пл}$, Вт
		Наименование	Ориентация	Размеры $a \cdot b$, м	Площадь F , м ²	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² ·°C)			На ориентацию по сторонам горизонта	Прочие				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица ПЗ.2

Результаты гидравлического расчета трубопроводов методом удельной потери давления на трение

№ участка	Тепловая нагрузка Q , Вт	Расход воды G , кг/ч	Длина участка l , м	Диаметр d , мм	Скорость воды v , м/с	Удельная потеря давления на трение R , Па/м	Потеря давления на трение $R \cdot l$, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Потеря давления в местных сопротивлениях Z , Па	Общая потеря давления на участке $R \cdot l + Z$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица ПЗ.3

Результаты гидравлического расчета системы отопления методом характеристик сопротивлений

№ участка	Тепловая нагрузка Q , Вт	Длина l_c , м	Диаметр d , мм	Приведенный коэффициент трения на 1 м λd , 1/м	Коэффициент сопротивления трения участка $l \cdot \lambda d$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Приведенный коэффициент сопротивления $\xi_{пр}$	Удельное динамическое давление $A \cdot 10^4$, Па/(кг/ч) ²	Характеристика сопротивления $S \cdot 10^4$, Па/(кг/ч) ²	Расход воды G , кг/ч	Перепад температур Δt , °C	Потеря давления Δp , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНиП II-3-79***. Строительная теплотехника / Минстрой России. М.: ГП ЦПП, 1996. 29 с.
2. **Справочник проектировщика: внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление** / Под. ред. И.Г. Старовойтова и Ю. И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 343 с.
3. **Справочник по теплоснабжению и вентиляции: Кн. 1** / Р.В. Щекин, С.М. Кореневский, Г.Е. Бем и др. 4-е изд., перераб. и доп. Киев: Будівельник, 1976. 280 с.
4. **Богословский В.Н., Сканава А.Н.** Отопление: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.
5. **СНиП 2.01.01 – 82.** Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 136 с.
6. **СНиП 2.04.05-91.** Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1988. 64 с.
7. **Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование. Справочник** / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин и др. Киев: Будівельник, 1983. 273 с.
8. **Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций зданий: Методические указания к курсовой работе по строительной теплофизике и дипломному проектированию** / Сост. А.А. Кудинов. Ульяновск: УлГТУ, 2000. 31 с.
9. **Приборы и средства автоматизации систем теплоснабжения зданий: Справочное пособие** / В.П. Витальев, В.С. Фаликов. М.: Стройиздат, 1978. 174 с.
10. **Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию** / И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.
11. **Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика** / Под ред. И.Г. Старовойтова. Ч.1. Отопление, водопровод, канализация. М.: Стройиздат, 1976. 429 с.

Учебное издание

ОТОПЛЕНИЕ ГРАЖДАНСКОГО ЗДАНИЯ

Методические указания к курсовому и дипломному проектированию

Составитель КУДИНОВ Анатолий Александрович

Корректор Ю. Кретьова

Подписано в печать 22.12.00. Формат 60х84/16. Бумага писчая. Печать трафаретная.

Усл. п. л. 2,79. Уч.- изд. л. 2,50.

Тираж 150 экз. Заказ 1228

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, Северный венец, 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный венец, 32.