

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»**

А. Б. Невзорова

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ
(отопление, вентиляция и теплогазоснабжение)**

Учебное пособие

Гомель 2009

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

А.Б. Невзорова

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ
(отопление и вентиляция)

Учебное пособие

*Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов специальностей
«Промышленное и гражданское строительство»,
«Управление и экспертиза недвижимостью»
и «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования*

Гомель 2009

УДК 697.1/.8(075.8)
ББК 38.762.1
Н40

Рецензенты: кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция» Белорусского национального технического университета, канд. техн. наук, профессор В.М. Копко;
заведующий кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и теплоснабжение» учреждения образования «Брестский государственный технический университет» канд. техн. наук, доцент Б.Н. Житенев

Невзорова, А. Б.

Н40 Инженерные сети и оборудование (отопление, вентиляция и теплогазоснабжение): учеб. пособие / А.Б. Невзорова; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 245 с.
ISBN 978-985-468-596-0

Рассмотрены теоретические вопросы обеспечения теплового режима зданий, теплотехнического расчета ограждающих конструкций, проектирования систем отопления и вентиляции зданий с учетом энергосберегающих технологий, обзор систем кондиционирования воздуха, приведены сведения по тепло- и газоснабжению зданий, монтажа и эксплуатации соответствующего оборудования и систем.

Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Управление и экспертиза недвижимостью» и 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Будет полезно студентам других специальностей и заинтересованным читателям в этой области.

УДК 697.1/.8(075.8)
ББК 38.762.1

ISBN 978-985-468-596-0

© Невзорова А.Б., 2009
© Оформление. УО "БелГУТ", 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1 Основы теории теплообмена и теплопередачи	7
1.1 Основные движущие силы процессов переноса теплоты.....	7
1.2 Защитные свойства наружных ограждений.....	12
1.3 Передача теплоты через ограждающие конструкции.....	12
1.4 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.....	15
1.5 Влияние воздухопроницания и влажности материалов на теплопередачу через ограждение.....	22
1.6 Теплоустойчивость ограждений.....	26
2 Тепловой режим отапливаемого здания	28
2.1 Формирование микроклимата и условия комфортности для человека в помещении.....	28
2.2 Характеристики наружного климата холодного периода года.....	32
3 Тепловая мощность системы отопления	35
3.1 Тепловой баланс помещения.....	35
3.2 Определение площади ограждений.....	37
3.3 Потери теплоты через ограждающие конструкции помещений.....	38
3.4 Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.....	40
3.5 Удельная тепловая характеристика здания.....	41
4 Характеристика систем отопления	43
4.1 Общие сведения об отоплении.....	43
4.2 Классификация систем отопления.....	44
4.3 Характеристика систем отопления.....	47
5 Отопительные приборы	49
5.1 Требования, предъявляемые к отопительным приборам. Классификация и описание.....	49 58
5.2 Выбор и размещение отопительных приборов.....	61
5.3 Способы подключения и основные приборные узлы.....	65
5.4 Расчет поверхности нагрева отопительных приборов.....	70
5.5 Регулирование теплопередачи отопительных приборов.....	73
6 Системы водяного отопления	73
6.1 Теплопроводы системы отопления: размещение и прокладка в здании...	78
6.2 Размещение запорно-регулирующей арматуры.....	80
6.3 Расширительный бак в системе отопления.....	82
6.4 Удаление воздуха из системы отопления.....	84
6.5 Материал теплопроводов.....	88
6.6 Классификация и основные схемы систем водяного отопления.....	98
6.7 Циркуляционное давление в системах водяного отопления.....	102

6.8	Гидравлический расчет системы водяного отопления.....	103
6.9	Основные положения гидравлического расчета.....	111
7	Система парового отопления.....	111
7.1	Процесс парообразования.....	114
7.2	Достоинства и недостатки теплоносителя пара.....	115
7.3	Классификация и схемы парового отопления.....	
8	Воздушное отопление.....	118
8.1	Достоинства и недостатки воздушного отопления.....	118
8.2	Основные схемы и отопительные агрегаты систем воздушного отопления.....	119
8.3	Основы расчета воздушного отопления.....	126
9	Панельно-лучистое отопление.....	127
9.1	Достоинства и недостатки панельно-лучистого отопления.....	127
9.2	Теплопередача и конструкции отопительных панелей.....	128
10	Местное отопление.....	134
10.1	Печное отопление.....	134
10.2	Газовое отопление.....	142
10.3	Инфракрасные излучатели.....	144
10.4	Электрическое отопление.....	146
11	Вентиляция воздуха.....	149
11.1	Назначение вентиляции и классификация вентиляционных систем (общеобменная, местная, аварийная, противопожарная)....	149 151
11.2	Свойства атмосферного воздуха.....	154
11.3	Исходные данные для расчета вентиляции.....	155
11.4	Определение и организация воздухообмена в помещении.....	158
11.5	Особенности систем вентиляции зданий.....	158
11.5.1	Естественная вентиляция в жилых зданиях.....	160
11.5.2	Механическая вентиляция.....	164
11.5.3	Аэрация промышленных зданий.....	166
11.6	Воздушно-тепловые завесы.....	169
11.7	Вентиляционные каналы.....	171
11.8	Аэродинамический расчет воздухопроводов.....	175
11.9	Подбор оборудования для систем вентиляции.....	180
12	Кондиционирование воздуха.....	180
12.1	Классификация систем кондиционирования.....	187
12.2	Устройство кондиционера.....	191
12.3	Подбор кондиционеров.....	192
13	Теплоснабжение.....	192
13.1	Общие сведения о видах топлива и его свойствах.....	195
13.2	Производство тепловой энергии.....	197
13.3	Устройство и подвод тепловых сетей.....	

13.4	Строительные работы, выполняемые при прокладке тепловых сетей.....	202
13.5	Присоединение потребителей к тепловым сетям.....	203
13.6	Схемы присоединения систем водяного отопления к сетям централизованного теплоснабжения.....	204
13.7	Тепловой пункт системы водяного отопления.....	211
13.8	Регулирование тепла в системе отопления.....	214
13.9	Теплоснабжение строительных площадок.....	216
13.10	Нетрадиционные способы теплоснабжения жилых зданий.....	218
14	Газоснабжение	218
14.1	Свойства газа. Устройство и подвод газовых сетей.....	222
14.2	Прокладка внутридомовых газопроводов.....	223
14.3	Бытовое и промышленное газовое оборудование.....	229
15	Порядок выполнения курсовой работы	231
	Список литературы	235
	Приложение А Контрольные вопросы.....	236
	Приложение Б Расчетная температура воздуха и кратность воздухообмена в помещениях жилых зданий (по СНБ 3.02.04-03).....	237
	Приложение В Нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых зданий (по СНБ 4.02.01-03).....	238
	Приложение Г Данные для гидравлического расчета трубопроводов систем водяного отопления.....	241
	Приложение Д <i>J-d</i> диаграмма влажного воздуха.....	242
	Приложение Е Номограмма для определения потерь давления на трение в круглых воздуховодах естественной вентиляции.....	243
	Приложение Ж Схема теплонасосной установки.....	

ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития строительного производства в настоящее время определяется в числе других условий наличием высококвалифицированных специалистов-профессионалов. Цель данного пособия – дать основы по теоретической и практической подготовке инженеров-строителей по методам проектирования инженерных сетей для создания и поддержания в помещениях гражданских и промышленных зданий заданных климатических условий, определенных назначением помещений, правилами расчета и подбора отопительных приборов, теплопроводов, а также по знанию и соблюдению современных строительных норм и технических кодексов установившейся практики Беларуси в области теплотехники, отопления и вентиляции.

Важность теплотехнической подготовки инженера-строителя определяется тем, что инженерные сети систем жизнеобеспечения (например, отопление, вентиляция и др.) являются составными технологическими элементами современных зданий и на них приходится значительная часть капитальных вложений, энергетических затрат и эксплуатационных расходов.

В пособии отражены современные тенденции проектирования таких систем с учетом энергосберегающих технологий. Особое значение уделяется вопросам по экономии топливно-энергетических ресурсов при оснащении инженерно-технических систем счетчиками и приборами контроля. В последней главе приведен порядок выполнения курсовой работы на тему «Отопление и вентиляция жилого здания». В приложении А даны контрольные вопросы для самопроверки.

Пособие написано в соответствии с требованиями общеобразовательных стандартов Республики Беларусь ОСРБ для студентов дневного и безотрывной формы обучения, обучающихся по специальностям: 1-70 02 01-2007 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02-2007 «Экспертиза и управление

недвижимостью», 1-70 03 04-2007 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Теплотехника – это область науки и техники, занимающаяся вопросами получения, преобразования, передачи и использования теплоты и связанных с этим аппаратов и устройств. Различают два вида использования теплоты – энергетическое и теплотехническое.

Энергетическое использование теплоты основывается на процессах, преобразующих теплоту в механическую работу. Эти процессы изучаются технической термодинамикой. Энергетические устройства, в которых осуществляется преобразование теплоты в работу, называют тепловыми двигателями.

Теплотехническое использование теплоты основывается на реализации теплоты для целенаправленного изменения физико-химических свойств при осуществлении различных технологических процессов. К устройствам, в которых непосредственный подвод теплоты используется для технологических целей, относятся отопительные приборы, калориферы и др.

Наука, изучающая закономерности теплообмена между телами, называется теорией теплопередачи. Техническая термодинамика и теория теплопередачи составляют теоретическую часть теплотехнической науки.

Для того чтобы перейти непосредственно к изучению вопросов по системам отопления, необходимо рассмотреть основные понятия и исходные положения теплопередачи.

1.1 Основные и движущие силы процессов переноса теплоты

Теплообмен – самопроизвольный необратимый перенос теплоты (точнее, энергии в форме теплоты) между телами или участками внутри тела с различной температурой. В соответствии со *вторым*

началом термодинамики теплота переносится в направлении меньшего значения температуры. В общем случае перенос теплоты может вызываться также неоднородностью полей иных физических величин, например градиентом концентраций (так называемый диффузионный термоэффект).

Теплообмен существен во многих процессах нагревания, охлаждения, конденсации, кипения, выпаривания, кристаллизации, плавления и оказывает значительное влияние на массообменные (абсорбция, дистилляция, ректификация, сушка и др.) и химические процессы.

Движущиеся среды, участвующие в теплообмене и интенсифицирующие его, называются **теплоносителями** (обычно капельные *жидкости, газы и пары*, реже – сыпучие материалы).

Известны **два основных способа проведения тепловых процессов**: путем *теплоотдачи и теплопередачей*.

Теплоотдача – теплообмен между поверхностью раздела фаз (чаще твердой поверхностью) и теплоносителем.

Теплопередача – теплообмен между двумя теплоносителями или иными средами через разделяющую их твердую стенку либо межфазную поверхность.

Различают **три разных механизма распространения теплоты**: *теплопроводность, конвективный и лучистый перенос*.

Теплопроводность – процесс переноса теплоты, осуществляемый микрочастицами тела (молекулами, атомами, электронами), имеющими различную энергию и обменивающимися ею при своем движении и взаимодействии. Теплопередача происходит внутри самого тела или вещества, которое проводит теплоту, либо при непосредственном соприкосновении каких-либо двух тел или веществ и обусловлена различием температур отдельных частей тела.

Конвекция – это перенос теплоты движущейся массой жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью. Это процесс называют конвективным теплообменом.

Тепловое излучение – перенос теплоты от одних тел к другим электромагнитными волнами. В этом процессе внутренняя энергия тела превращается в энергию электромагнитного поля, поглощаемую другим телом и выделяемую в виде теплоты.

В реальных условиях передача теплоты происходит тремя способами одновременно.

Параметры среды в помещении отличаются от параметров внешней среды, что ведет к возникновению потоков тепловой энергии и веществ через ограждающие конструкции. Санитарно-гигиенические параметры среды в помещении должны поддерживаться на заданном уровне. Эту функцию выполняют системы отопления и вентиляции. Так как температура воздуха внутри помещения $t_{в}$ больше температуры наружной среды $t_{н}$, то тепловые потоки q (через стены и окна, через перекрытия и пол, за счет вентиляции) направлены в сторону уменьшения температуры. В то же время градиент температур $\text{grad } t$ направлен в сторону повышения температуры.

Совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого тела в данный момент времени называют *температурным полем*. Если температура любой точки тела неизменна во времени, поле называют стационарным.

Геометрическое место точек с одинаковой температурой представляет собой изотермическую поверхность F .

Количество теплоты (Дж), проходящее через изотермическую поверхность F в единицу времени τ (1 с), называют *тепловым потоком* Q (Вт).

Тепловой поток, проходящий через единицу площади (1 м^2), называют **плотностью теплового потока** ($\text{Вт}/\text{м}^2$) q или **удельным тепловым потоком**.

Закон Фурье – основной закон теплопроводности. Чем резче изменяется температура в теле, т.е. чем больше градиент температуры, тем больше тепловая нагрузка переносится теплопроводностью,

$$q = - \lambda \text{ grad } t. \quad (1)$$

Здесь знак минус показывает, что векторы q и $\text{grad } t$ направлены по одной прямой в противоположные стороны.

λ ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) – коэффициент теплопроводности материалов – это количество теплоты, переносимой через 1 м^2 изотермической поверхности в единицу времени при градиенте температуры, равном единице. Например, если теплопроводность стали $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$,

это означает, что при изменении температуры на расстоянии 1 м на 1 °С через 1 м² изотермической поверхности внутри стали проводится тепловая мощность 50 Вт.

Для расчетов значения λ принимают по справочным таблицам.

Для газов и паров $\lambda = 0,005 \dots 0,5$ Вт/(м·°С). Воздух при $t = 0$ °С имеет $\lambda = 0,02$ Вт/(м·°С). Для жидкостей $\lambda = 0,08 \dots 0,7$ Вт/(м·°С). С повышением температуры (за исключением воды и глицерина) величина λ уменьшается. Для воды $\lambda = 0,06$ Вт/(м·°С). Для теплоизоляционных и строительных материалов $\lambda = 0,02 \dots 3,0$ Вт/(м·°С). Величина λ зависит от температуры, плотности, структуры, пористости и влажности. Так, для сухого кирпича $\lambda = 0,3$, для влажного $\lambda = 0,9$. Если $\lambda < 0,2$ Вт/(м·К), то эти материалы относят к теплоизоляционным. Для металлов и сплавов λ изменяется от 8 (висмут) до 410 (серебро); для меди $\lambda = 395$, для алюминия – 210.

Закон Ньютона определяет закономерность конвективного теплообмена. Процесс переноса теплоты конвекцией связан с переносом массы подвижной среды. Движение в жидкостях и газах возникает либо за счет разности плотностей холодных и нагретых масс среды (свободная, *естественная конвекция*), либо при помощи посторонних побудителей движения, например вентиляторов, насосов, аэрации (*вынужденная, искусственная конвекция*).

При движении среды у поверхности твердого тела за счет разности температур возникает *конвективный теплообмен*. Количество теплоты в этом случае определяется *законом Ньютона*:

$$Q = \alpha (t^{ст} - t^ж) F \tau, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи;

$t^{ст}$ и $t^ж$ – соответственно температуры стенки и жидкости (или газа).

Физический смысл α – количество тепла, которым обмениваются среда и 1 м² поверхности твердого тела при разности температур между ними в один градус за единицу времени Вт/(м²·°С).

Теплоотдача конвекцией зависит от большого числа различных факторов:

- характера конвекции (естественная или вынужденная);
- режима течения жидкости (ламинарное, вихревое, турбулентное);

- скорости движения теплоносителей;
- направления теплового потока (нагревание или охлаждение);
- физических свойств теплоносителей (λ , c , ρ , Δt , μ);
- площади поверхности стенки F , омываемой теплоносителем;
- формы стенки, ее размеров и других факторов.

Носителем *лучистой энергии* являются электромагнитные колебания. Излучение свойственно всем телам. Наряду с потоком лучистой энергии от более нагретых тел к менее нагретым всегда происходит и обратный поток – от менее нагретых к более нагретым телам.

Конечный результат такого обмена и представляет собой количество теплоты, переданной посредством излучения Q , которое называют эффективным излучением.

Количество излучаемой энергии единицей поверхности тела за единицу времени называют *поверхностной плотностью излучения* и обозначают E , Вт/м². При площади поверхности излучаемого тела A общее количество теплоты, излучаемой телом в единицу времени, $Q = EA$.

Согласно **закону Стефана-Больцмана** полное количество энергии, излучаемой единицей поверхности абсолютно черного тела в единицу времени,

$$E_0 = C_0 (T/100)^4, \quad (3)$$

где C_0 – коэффициент абсолютно черного тела, равный 5,67 Вт/(м²·К⁴).

Из этого уравнения следует, что *энергия излучения пропорциональна абсолютной температуре в четвертой степени*.

Поток лучистой энергии, падающий на какое-либо тело, частично поглощается им, частично проходит сквозь тело, а частично отражается. Законы, определяющие распространение, преломление и отражение видимого света, справедливы и для *невидимых тепловых лучей*.

Если отраженную часть лучистого потока тела обозначить Q_0 , поглощаемую часть $Q_{\text{п}}$ и проходящую часть сквозь тело $Q_{\text{с}}$, то очевидно, что общее количество лучистой энергии, получаемой телом,

$$Q_0 + Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} = Q. \quad (4)$$

Если тело отражает всю полученную лучистую энергию, его называют *абсолютно белым*. Если тело поглощает всю лучистую энергию, его называют *абсолютно черным*. Тело, пропускающее всю лучистую энергию – *абсолютно прозрачное*.

Все реальные тела поглощают и отражают лучистую энергию при любых температурах и их принято называть *серыми телами*.

С теплообменом связаны многие явления, наблюдаемые в природе и технике. Ряд важных вопросов проектирования и строительства зданий и сооружений решается на основе теории теплообмена или некоторых ее положений. Знание закона теплообмена позволяет инженеру-строителю увязать толщину и материал ограждающих конструкций с отопительными приборами, разработать новые энергосберегающие строительные материалы и конструкции, эффективно защищающие человека от холода и решить другие вопросы, которые возникают в процессе развития строительной техники.

1.2 Защитные свойства наружных ограждений

Ограждения зданий должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми.

Теплозащитные свойства наружных ограждений определяют двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче R_0 и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине тепловой инерции ограждения D .

Величина R_0 определяют сопротивление ограждения передаче теплоты в стационарных условиях, а теплоустойчивость D характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий.

Процессы передачи теплоты, фильтрации воздуха и переноса влаги взаимосвязаны и одно явление оказывает влияние на другое, поэтому определение сопротивлений тепло-, воздухо- и влагонепроницаемости должно проводиться как общий расчет защитных свойств наружных ограждений здания.

1.3 Передача теплоты через ограждающие конструкции

К ограждающим конструкциям относятся наружные стены, полы по грунту, покрытия, перекрытия над верхними этажами, подвалами, техническими подпольями, проездами, заполнения проемов (окна, витражи, витрины, двери, ворота), внутренние конструкции между помещениями с ТКП 1-2.04-43-2006.

Важной составляющей, формирующей тепловой режим помещения, является конвективный теплообмен на нагретой внутренней α_v и охлажденной наружной α_n поверхностях ограждения.

Теплопотери через ограждения помещений, возникающие под воздействием низкой наружной температуры воздуха и ветра, являются сложным физическим процессом *теплопередачи* с участием конвекции, излучения и теплопроводности (рисунок 1).

Количество теплоты, которое воспринимает или отдает внутренняя поверхность в результате сложного лучисто-конвективного теплообмена в помещении, равно количеству теплоты, которое передается к поверхности или отводится от нее теплопроводностью.

Теплообмен на наружной поверхности ограждений в основном определяется направлением и скоростью ветра.

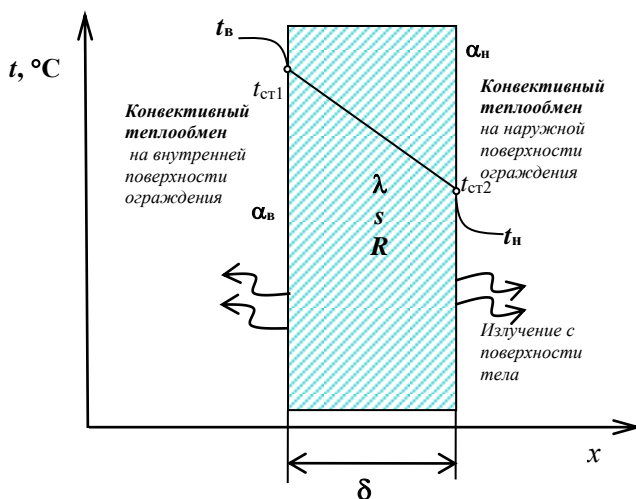


Рисунок 1 – Модель процесса теплопередачи через однослойную ограждающую конструкцию

Переход теплоты из помещения к наружной среде через ограждение толщиной δ является сложным процессом теплопередачи. При этом необходимо различать:

– коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²·°С), – величина, которая показывает сколько тепла (Вт или Дж/с) теряется через ограждение площадью 1 м² при разнице температур между наружным и внутренним воздухом в 1 градус;

– *сопротивление* теплопередаче R_o – величина, обратная коэффициенту теплопередачи;

– *поверхностное термическое сопротивление* $R_b = 1/\alpha_b$, $R_n = 1/\alpha_n$, – величина, обратная коэффициенту теплоотдачи (по внутренней или по наружной поверхности);

– *термическое сопротивление слоя* $R = \delta/\lambda$, равное отношению толщины слоя к его коэффициенту теплопроводности.

Удельный тепловой поток q , Вт/м², проходящий через 1 м² поверхности ограждения в единицу времени, зависит от температурного перепада

$$q = \frac{1}{R_o} (t_b - t_n) = k (t_b - t_n), \quad (5)$$

где t_b и t_n – температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно;

$$R_o = R_b + R_T + R_n, \quad (6)$$

где R_T – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции.

На рисунке 2 представлены схемы процессов теплопередачи через однослойную и многослойную конструкции.

а)

б)

в)

t_b

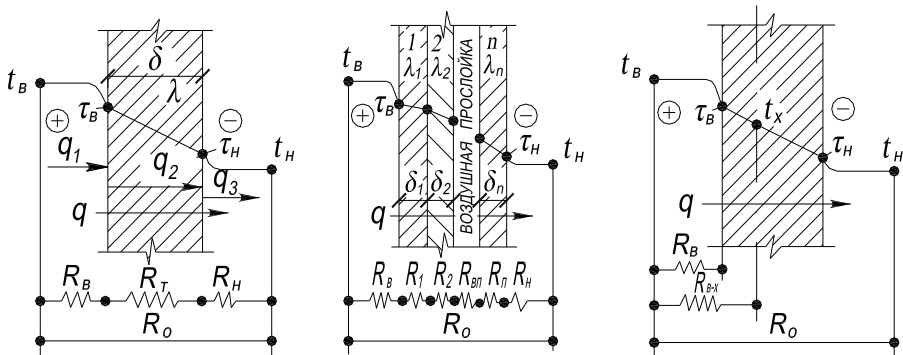


Рисунок 2 – Стационарная теплопередача через однослойное ограждение (а), многослойное с воздушной прослойкой (б) и определение температуры в произвольном сечении ограждения (в)

В условиях стационарной передачи теплоты, т. е. когда температура и другие параметры процесса остаются неизменными во времени, тепловой поток q из помещений последовательно преодолевает *сопротивления теплообмену* на внутренней поверхности, *термического* материала толщи ограждения и *теплообмена* на наружной поверхности, поэтому сопротивление теплопередаче однослойного ограждения равно сумме этих сопротивлений (см. рисунок 2, а):

$$R_o = R_B + R_T + R_H = 1/\alpha_B + \delta/\lambda + 1/\alpha_H. \quad (7)$$

Если многослойное ограждение состоит из нескольких слоев материала, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока (см. рисунок 2, б), то термическое сопротивление равно сумме R отдельных слоев ограждения:

$$R_T = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (8)$$

Таким образом, общее сопротивление теплопередаче сложной многослойной конструкции

$$R_o = R_B + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_H. \quad (9)$$

Коэффициент теплопередачи ограждения k находится по формуле

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1/\alpha_B + \sum (\delta_i/\lambda_i) + 1/\alpha_H}. \quad (10)$$

Из рассмотрения уравнений теплопередачи, а также в связи с электротепловой аналогией следует, что падение температуры на каждом термическом сопротивлении, если оно расположено в ряду последовательно соединенных сопротивлений, составляющих общее термическое сопротивление ограждения, пропорционально его величине. Поэтому температуру в любом произвольно принятом сечении x (см. рисунок 2, в) можно определить из формулы

$$t_x = t_H - (t_B - t_H) \frac{R_{B-x}}{R_0}, \quad (11)$$

где R_{B-x} – сопротивление теплопередаче от внутреннего воздуха до сечения x .

1.4 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции совместно с системами инженерного оборудования (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха) должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при оптимальном энергопотреблении.

Для теплотехнического расчета ограждающих конструкций необходимо использовать Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования», который устанавливает обязательные показатели сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, теплоустойчивости помещений, теплоусвоения поверхности полов, сопротивления воздухопроницанию и паропроницанию ограждающих конструкций и порядок их назначения при теплотехнических расчетах.

При проектировании, реконструкции и ремонте зданий и сооружений различного назначения требуется провести теплотехнический расчет ограждающих конструкций для климатических условий заданного района Беларуси [2].

Наружные ограждающие конструкции с целью повышения их теплозащитных качеств следует конструировать, как правило, много-

слойными, учитывая прочностные и теплофизические функции каждого слоя. При этом отдельные слои могут частично совмещать указанные функции.

При расположении слоев в многослойной наружной ограждающей конструкции следует выполнять следующие требования:

– материалы с *более высокими* коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более низким коэффициентом паропроницаемости целесообразно располагать в конструкции *со стороны помещения*;

– материалы с *более низкими* коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более высоким коэффициентом паропроницаемости – *с наружной стороны*, что обеспечивает более высокую температуру внутренней поверхности, повышает теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений при колебаниях температуры наружного воздуха и теплоотдачи отопительных приборов в системах отопления периодического действия, а также улучшает влажностный режим материалов в конструкции.

При конструировании ограждающих конструкций необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению увлажнения материалов в конструкции от воздействия атмосферной и грунтовой влаги, влаги производственных и хозяйственно-бытовых процессов.

Ограждающие конструкции зданий с нормируемыми температурой или температурой и относительной влажностью воздуха должны иметь определенное значение сопротивления теплопередаче, от которого зависят санитарно-гигиенические условия помещений и затраты на эксплуатацию зданий.

Согласно ТКП 45-2.04-43-2006 наружные ограждающие конструкции должны иметь сопротивление теплопередаче R_t , равное экономически целесообразному $R_{тэк}$, определенному исходя из условия обеспечения наименьших приведенных затрат, но не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{тп}$ по санитарно-гигиеническим условиям и не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{т.норм}$ [1].

Мероприятия по энергосбережению в области сохранения тепла при отоплении зданий касаются увеличения при строительстве термического сопротивления ограждающих конструкций. Согласно [1, таблица 5.1]

нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, составляет:

- 2,0 – для наружных стен из штучных материалов (кирпича);
- 2,2 – наружные стены монолитных зданий;
- 2,5 – для наружных стен из крупнопанельных зданий;
- 3,0 – для перекрытий чердачных и подвальных;
- 0,6 – заполнение световых проемов.

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче следует определять на основе выбора толщины теплоизоляционного слоя по формуле

$$R = 0,5R_{т.тр} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_{тз} Z_{от} (t_{в} - t_{нот})}{C \lambda R_{т.тр}} \lambda, \quad (12)$$

где $R_{т.тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$,

$$R_{т.тр} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \Delta t_{в}}, \quad (13)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (таблица 1) [1, таблица 5.3];

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °C [1, таблица 4.1];

$t_{н}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °C , принимаемая с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D ;

$\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

$\Delta t_{в}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции (таблица 2) [1, таблица 5.5];

$C_{тз}$ – стоимость тепловой энергии, руб./ГДж, принимаемая по действующим ценам;

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут, принимаемая по таблице 4.4 [1];

$t_{нот}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха;

$C_{м}$ – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, руб./ м^3 ,

принимаемая по действующим ценам;

λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, принимаемый по приложению А ТКП 45-25.04-43-2006.

Таблица 1 – Значения коэффициента n [2]

Ограждающие конструкции	n
1 Наружные стены и покрытия, перекрытия чердачные с кровлей из штучных материалов и перекрытия над подъездами	1
2 Перекрытия над холодными подвалами, сообщающиеся с наружным воздухом; перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов	0,9
3 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
5 Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями	0,4

Таблица 2 – Нормативный температурный перепад Δt_b

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности Δt_b , °C		
	Наружные стены	Покрытия и чердачные перекрытия	Перекрытия над подвалами
Жилые и гражданские здания	6	4	2

Тепловую инерцию ограждающей конструкции D следует определять по формуле

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n, \quad (14)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, (м²·°C)/Вт;

S_1, S_2, \dots, S_n – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемые по таблице

А.1 [1].

Расчетную зимнюю температуру наружного воздуха t_n в зависимости от тепловой инерции D ограждающей конструкции принимают согласно следующим указаниям (таблица 3).

Таблица 3 – Выбор наружной температуры воздуха в зависимости от степени инерционности стены

Степень инерционности стены	D	t_n	
Безынерционная	$\leq 1,5$	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98	$t_{n1}^{0,98}$
Малая	$1,5 < D \leq 4,0$	То же, обеспеченностью 0,92	$t_{n1}^{0,92}$
Средняя	$4,0 < D \leq 7,0$	Средняя температура наиболее холодных трех суток; $t_{n3}^{0,92} = (t_{n1}^{0,92} + t_{n5}^{0,92})/2$	$t_{n3}^{0,92}$
Большая	$> 7,0$	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92	$t_{n5}^{0,92}$

Для чердачных и подвальных перекрытий расчетная зимняя температура наружного воздуха принимается равной *средней температуре холодной пятидневки* t_{n5} с обеспеченностью 0,92 независимо от массивности перекрытия. Климатические характеристики отопительного периода для областей Беларуси приведены в таблице 5.

Обеспеченность условий показывает в долях единицы или процентах число случаев, когда недопустимо отклонение от расчетных условий. Зная коэффициент обеспеченности, можно сказать, в скольких случаях возможно отклонение от расчетных условий. Например, если $k_{об.л} = 0,92$, это означает, что только в четырех зимах из 50 (или в 8 из 100) в периоды наибольших зимних похолоданий могут быть отклонения условий в помещении от расчетных [22].

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции определяют по формуле

$$R = \delta / \lambda, \quad (15)$$

где δ – толщина однослойной однородной конструкции или слоя многослойной конструкции;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м²·°С), принимаемый по приложению А [1].

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_T , (м²·°С)/Вт, следует определять по формуле

$$R_T = 1/\alpha_{в} + R_k + 1/\alpha_{н}, \quad (16)$$

где R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции,

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (17)$$

Коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

В теплотехническом отношении полы подразделяются на утепленные и неутепленные на грунте и лагах. При строительстве жилых и общественных зданий применяются только утепленные полы. Известно, что температурное поле грунта под полом различно: чем ближе к наружной стенке, тем температура грунта ниже. Принято такие полы разграничивать на четыре зоны шириной 2 м, начиная от наружной поверхности стены во внутрь здания с условно постоянной температурой в каждой зон. Термическое сопротивление теплопередаче полов, соприкасающихся не с воздухом, а с грунтом, определяется приближенно.

В практике строительства жилых и общественных зданий применяется: одинарное, двойное и тройное остекление в деревянных, пластмассовых или металлических переплетах, спаренное или раздельное. Теплотехнический расчет балконных дверей и заполнения световых проемов, а также выбор их конструкций осуществляется в зависимости от района строительства и назначения помещений. Однако требуемое сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов $R_{т.тр}$ (окон,

балконных дверей и фонарей) следует принимать по [1, таблица 5.6].

Подробный расчет более сложных ограждающих конструкций приведен в Пособии к строительным нормам Республики Беларусь П1-04 к СНБ 2.04.01-97.

При проектировании или теплореновации зданий в зависимости от его назначения выбирается соответствующий теплоизоляционный материал для ограждающих конструкций и производится расчет его толщины [5]. Утепляющими слоями считаются слои из материалов, имеющих коэффициент теплопроводности $\lambda < 0,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ (таблица 4) [1, приложение А].

Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя

$$R_x = R_{\text{норм}} - (R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}). \quad (18)$$

Предварительную толщину слоя утеплителя находят по формуле

$$\delta_x = [R_{\text{норм}} - (1/\alpha_v + R_k + 1/\alpha_n)]\lambda_x. \quad (19)$$

Вычисленное значение δ_x должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкций ограждений. Толщина наружных стен из кирпичной кладки может приниматься 0,38; 0,51; 0,64; 0,77 м, а наружных стеновых панелей – 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

После выбора общей толщины конструкции δ_o , м, и толщины утеплителя δ_x , м, уточняем фактическое общее сопротивление теплопередаче $R_{o,\text{факт}}$, $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$. Эффективность системы утепления достигается при условии $R_{\text{расч}\ddot{e}\text{тное}}$, большее или равное $R_{\text{норм}}$.

Таблица 4 – Теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий и сооружений [1]

Материал; плотность ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)	S , Вт/(м ² ·°C)
Маты минераловатные прошивные; 100	0,048	0,57
Плиты минераловатные на синтетическом связующем; 125	0,054	0,67
Плиты пеностирольные; 50	0,052	0,55
Пенополиуретан; 80	0,05	0,70
Плиты полистиролбетонные ; 260	0,085	1,26

Пеностекло и газостекло; 200	0,086	1,034
------------------------------	-------	-------

1.5 Влияние воздухопроницаемости и влажности материалов на теплопередачу через ограждение

Строительные материалы являются капиллярно-пористыми коллоидными телами, т. е. обладают определенной проницаемостью. Поэтому через ограждения происходят фильтрация воздуха, передача влаги. Процессы массообмена влияют на теплопередачу. Помещения в здании не должны быть полностью герметизированы. Ограждения должны быть в меру воздухопроницаемыми и обладать сорбирующими свойствами. Через ограждения обычно происходит небольшая передача воздуха, влаги, но это не должно приводить к переохлаждению или переувлажнению конструкций помещения.

Влияние фильтрации воздуха на теплопередачу. В холодный период года наружный воздух поступает в обогреваемые помещения, расположенные в нижней части, внутренний нагретый воздух выходит наружу в верхней части зданий. Холодный воздух поступает в помещения не только через открываемые проемы входов и въездов, но и через щели в притворах окон, дверей, фонарей и ворот, щели в стыках и поры конструктивных элементов и другие отверстия.

Поступление наружного воздуха в помещение называют *инфильтрацией*, фильтрацию внутреннего воздуха наружу – *эксфильтрацией*.

Причинами фильтрации воздуха через ограждения являются тепловое (гравитационное) и ветровое давления. Тепловое давление вызывается различием плотности холодного наружного и теплого внутреннего воздуха по высоте зданий. Ветровое давление возникает вследствие обдувания зданий ветром: положительное на их наветренной стороне и отрицательное (разрежение) – на заветренной.

Процесс обмена внутреннего воздуха с наружной средой и соседними помещениями называется *воздушным режимом здания*.

В помещениях здания постоянно происходит воздухообмен через отверстия в наружных и внутренних ограждениях и через вентиляционные каналы. Воздушный режим здания отражается на его тепловом режиме. Требуется дополнительно нагревать помещения вследствие инфильтрации наружного воздуха или снижения

теплозащитных свойств ограждений при эксфильтрации через них влажного воздуха.

Инфильтрация воздуха в холодный период года через наружные ограждения снижает температуру на внутренней поверхности конструкции. Снижение температуры на внутренней поверхности ограждения можно компенсировать или за счет увеличения толщины конструкции или путем повышения температуры воздуха. Количество воздуха, проникающего в здание, тем больше, чем хуже герметичность притворов и больше скорость ветра. Так, при скорости ветра 8 м/с количество инфильтрующего воздуха равно 8 м³/ч через 1 м притвора окна. Такое количество воздуха вызовет потерю тепловой энергии в количестве 100 Вт.

Эксфильтрация воздуха через конструкцию может быть причиной повышенной конденсации водяных паров в ее толще. При эксфильтрации количество водяных паров, проникающих в конструкцию, будет больше, чем при обычной диффузии пара.

Инфильтрация и эксфильтрация воздуха через строительные конструкции, швы и стыки нежелательны с теплотехнической точки зрения. Однако с гигиенической точки зрения определенный обмен воздуха в зданиях необходим. Если он не обеспечивается иным способом, чем инфильтрация, то обмен воздуха в зданиях через притворы окон и дверей допускается, но он не должен превышать нормируемые значения.

При проектировании отопления расчет воздушного режима упрощают и сводят к вычислению количества инфильтрующегося воздуха. Это количество воздуха зависит от температуры наружного и внутреннего воздуха, направления и скорости ветра, планировки и высоты здания. При расчетах принято исходить из воздухопроницаемости ограждений, условно отнесенной к единице их площади (площади окон, дверей, ворот, фонарей, стен и т. д.).

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха $Q_{и}$, Вт, определяется при расчетной температуре наружного холодного периода года:

$$Q_{и} = 0,28L_{п}\rho c(t_{в} - t_{н})f, \quad (20)$$

где $L_{п}$ – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч;

ρ – плотность воздуха в помещении, кг/м³;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);
 f – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройным переплетом, 0,8 – для окон и балконных дверей с раздельными переплетами, 1,0 – для одинарных окон.

В ТКП 45-2.04-43-2006 сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_v должно быть не менее требуемого $R_{v,тр}$, м²·ч·Па/кг, которое должна обеспечить нормативную воздухопроницаемость воздуха $G_{норм}$ [для стен – 0,5–1,0; для входных дверей в квартиры – 1,5, для окон – 8–30 кг/(м³·ч)] при расчетном перепаде давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях наружного ограждения:

$$R_{v,тр} = \Delta p / G_{норм}, \quad (21)$$

где Δp – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, [2].

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, при расчете теплопередачи не учитываются.

Нормативное сопротивление воздухопроницаемости заполнений световых проемов зданий и сооружений R_v , (м²ч Па)/кг, принимаем конструктивно по приложению Д [1].

Воздухопроницаемость стыков между панелями наружных стен жилых зданий $G_{норм}$ должна быть не более 0,5 кг/(м ч).

Сопротивление воздухопроницаемости многослойной ограждающей конструкции R_v , (м²ч Па)/кг,

$$R_v^{TP} = \sum R_{vi}, \quad (22)$$

где R_{vi} – сопротивление воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции.

Для стены по принятому значению R_{τ} делается проверка на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности.

Конденсация влаги из внутреннего воздуха на внутренней поверхности наружного ограждения, особенно при понижении температуры, является основной причиной увлажнения наружных

ограждений.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции, если не допускается выпадения конденсата, должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха. Относительную влажность внутреннего воздуха для определения точки росы для жилых зданий следует принимать 55 %.

Температуру внутренней поверхности $\tau_{в}, ^\circ\text{C}$, ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$\tau_{в} = t_{в} - (t_{в} - t_{в}') / (R_{0} \alpha_{в}). \quad (23)$$

Полученное значение $\tau_{в}$ должно быть больше температуры точки росы $\tau_{р}$, которая определяется по формуле

$$\tau_{р} = 20,1 - (5,75 - 0,002e_{в})^2, \quad (24)$$

где $e_{в}$ – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па, [1],

$$e_{в} = (\varphi / 100)[477 + 133,3(1 + 0,14t_{в})^2], \quad (25)$$

где φ – относительная влажность воздуха в помещении, %.

Учет влажности материалов при расчете теплопередачи. Особенности строения строительных материалов определяют большую изменчивость теплофизических характеристик в конструкциях ограждений в зависимости от их влажностного режима. Влажность материалов в ограждении зависит от его конструкции, внешних и внутренних условий, времени года.

Влажностное состояние ограждений условно может быть разделено на *эксплуатационное*, соответствующее основному периоду продолжительной и регулярной эксплуатации, и *начальное*, соответствующее первым годам эксплуатации здания. *Начальное* состояние связано с внесением в конструкцию «строительной влаги», *эксплуатационное* наступает после того, как влагосодержание материалов приблизится к некоторому стабильному состоянию, равновесному относительно воздействующих на ограждение внутренней и наружной сред.

Влагосодержание материалов периодически изменяется в течение года, возрастая в апреле–мае и уменьшаясь к концу лета. Зимой (в декабре–январе) влагосодержание близко к среднему значению за год.

Эксплуатационное влажностное состояние материалов в

ограждении по ТКП определяется **категориями А и Б**, для которых приведены значения теплофизических характеристик. Категория **А** относится к сухому режиму эксплуатации помещений здания с влажностью от 40 до 50 %. Категория **Б** – к нормальному режиму эксплуатации помещений здания с влажностью от 50 до 60 % [1].

Зная влажностную зону района строительства и влажностный режим помещения (таблица 4.2 [1]), находят категорию эксплуатационной влажности и, пользуясь ею, по таблице норм (таблица А1 [1]) устанавливают расчетные значения теплофизических характеристик материалов в ограждении.

1.6 Теплоустойчивость ограждений

Теплоустойчивость наружных ограждений не должна допускать больших изменений температуры на внутренней поверхности: зимой – при разовых понижениях температуры, летом — при суточных колебаниях температуры и интенсивности солнечной радиации.

Как известно, температура наружного воздуха, скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации, а также температура воздуха и теплоступления в помещении изменяются, поэтому в наружных ограждениях происходят процессы нестационарной теплопередачи, которые применительно к задаче теплового режима помещений можно разделить на две основные группы [28, 29]:

– *переходные тепловые процессы*. При изменении подачи теплоты в помещение, вызывающем процесс одностороннего нагрева или охлаждения, необходимо определить допустимое изменение во времени температуры поверхности (во избежание перегрева, образования конденсата и т.д.) и в любом сечении x ;

– *периодические тепловые процессы*. При периодически изменяющихся внешних и внутренних тепловых воздействиях в ограждениях помещения происходят тепловые процессы, определяемые их теплоустойчивостью. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, претерпевая сезонные, суточные и более короткие по продолжительности колебания. Теплоотдача от отопительных приборов СО также постоянно изменяется, в связи с

чем изменяются температуры поверхностей и толщи ограждений, т.е. имеет место нестационарный тепловой режим. Одни ограждения быстро изменяют температуру в своей толще вслед за изменениями температуры наружного или внутреннего воздуха, другие медленно. Поэтому, например, понижение температуры наружного воздуха через одни ограждения быстрее передается к их внутренней поверхности и к воздуху помещения, вызывая его охлаждение, чем через другие.

Теплоустойчивость выражает свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при колебаниях внешних тепловых воздействий и обеспечивать комфортные условия в помещении, проявляется относительно колебаний внутренних тепловых воздействий и изменений наружной температуры.

Теплоустойчивость ограждения относительно колебаний внутренних тепловых воздействий характеризуется коэффициентом теплоусвоения его внутренней поверхности γ_0 , Вт/(м² °С),

$$\gamma_0 = A_q / A_\tau, \quad (26)$$

где A_q – амплитуда колебания теплового потока, проходящего через поверхность ограждения, Вт/м²;

A_τ – амплитуда колебаний температуры в толще ограждения, °С.

При расчете γ_0 возможны пять характерных случаев в зависимости от типа ограждения и с ними можно ознакомиться в “Справочнике проектировщика” [25].

Теплоустойчивость ограждения относительно изменений наружной температуры характеризуется двумя показателями:

а) показателем затухания v температурных колебаний при сквозном проникании через ограждение, показывающим во сколько раз амплитуда изменения температуры на внутренней поверхности ограждения A_{τ_n} меньше амплитуды колебаний температуры наружного воздуха A_{τ_n} :

$$v = A_{\tau_n} / A_{\tau_n}; \quad (27)$$

б) показателем запаздывания температурных колебаний ϵ , равным отставанию во времени колебаний температуры от колебаний

температуры при проникании через ограждение температурной волны, зависит в основном только от D :

$$\varepsilon = (0,113 D - 0,017)T. \quad (28)$$

Теплоустойчивость помещения – это его свойство поддерживать относительное постоянство температуры при периодически изменяющемся тепlopоступлении. Амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток A_v не должна превышать ± 3 °C от расчетного значения. Она зависит от свойств и площади поверхностей, обращенных в помещение ограждений и др. [4].

Теплоустойчивость пола при контактном теплообмене можно характеризовать показателем теплоусвоения поверхности пола, который должен быть не более нормативной величины $Y_{\text{вп}}^{\text{н}} = 12 \dots 14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$.

Наиболее рационально первый внутренний слой конструкции пола должен иметь минимальное значение теплоусвоения S и максимальное значение термического сопротивления R [1].

2 ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОТАПЛИВАЕМОГО ЗДАНИЯ

2.1 Формирование микроклимата и условия комфортности для человека в помещении

В каждом обогреваемом здании необходимо создавать и поддерживать тепловой режим в зависимости от его назначения и предъявляемых санитарно-гигиенических требований. *Тепловым режимом* здания называют его общее тепловое состояние в течение отопительного сезона, рассматриваемое как совокупность тепловых условий в помещениях. Тепловой режим может быть равномерным в зданиях с постоянным пребыванием людей, иметь суточные, недельные и другие циклы изменения, связанные с периодической деятельностью людей и использованием зданий.

Как известно, в организме человека непрерывно вырабатывается и передается окружающей среде теплота, причем организм стремится сохранять постоянную температуру (36,6 °С). Количество вырабатываемой им теплоты различно и зависит от возраста, индивидуальных особенностей, состояния и интенсивности работы, а также теплозащитных свойств одежды. В спокойном состоянии организм взрослого человека отдает в окружающую среду около 120 Дж/с (100 ккал/ч), при тяжелой работе теплопродукция человека возрастает.

Тепловой баланс организма человека складывается из тепла, вырабатываемого организмом и воспринимаемого им из внешней среды, и из расхода тепла, отдаваемого им во внешнюю среду. Процесс теплообмена тела человека с окружающей средой происходит конвекцией, излучением и при испарении влаги (пота). При температуре помещения 20 °С доля теплоотдачи конвекцией составляет приблизительно 30 %, излучением – 50 %, при испарении влаги – 20 %. При более высокой температуре воздуха значительно возрастает теплоотдача испарением влаги.

Интенсивность теплоотдачи с поверхности тела человека зависит от *температуры воздуха*, влияющей на конвективный теплообмен, и от *температуры*, размеров и расположения охлажденных (ограждения, материалы) и нагретых (оборудование, материалы, отопительные приборы) *поверхностей*, определяющих радиационный теплообмен. Оказывают влияние также *скорость движения* и *относительная влажность воздуха* в помещении.

Величина теплообразования в организме изменяется в зависимости от возраста, работы мышц и ряда других факторов. Второй элемент теплового баланса – теплопотери – находится в прямой связи с микроклиматическими условиями помещения. Так, если воздух помещения имеет низкую температуру, теплопотеря организмом увеличивается и, наоборот, с повышением температуры воздуха уменьшается.

Большое значение имеет температура поверхностей ограждающих конструкций, поскольку от этой температуры зависит теплопотеря организмом человека путем излучения. Этот вид теплопотери снижается при температуре поверхностей выше температуры воздуха.

Нарушение теплового баланса человека ухудшает его самочувствие и трудоспособность. Тепловыделение человека зависит от его возраста, веса, деятельности. В спокойном состоянии взрослый человек отдает окружающей среде ~120 Вт, при легкой работе – до ~250, при тяжелой – до ~500 Вт. Большая доля тепла передается лучеиспусканием (~55 %), меньшая – конвекцией (14–30 %) и испарением.

С гигиенической точки зрения наиболее благоприятный уровень температуры, поддерживаемой в жилом помещении, составляет 22 °С, а допустимые колебания от 21 до 23 °С и подвижность воздуха в пределах от 0,1 до 0,3 м/с. Более низкая температура воздуха, например

18 °С, рекомендуемая в нормативных материалах при проектировании отопительных систем, оценивается как "прохладно" и "холодно". А подвижность воздуха более 0,3 м/с приводит к ощущению сквозняка.

Итак, **микроклимат помещения** характеризуется совокупностью *температуры воздуха и поверхностей, обращенных в помещение, влажностью и скоростью движения воздуха.*

Значения параметров микроклимата следует принимать в зависимости от назначения помещения, категории работ и периода года, исходя из требований комфорта для находящихся в помещении людей и (или) нормального протекания технологического процесса [4].

Гигиенические исследования микроклимата помещений и того, как влияют изменения его отдельных компонентов на организм человека, позволили выработать определенные требования к системам отопления (СО):

– любая СО должна возмещать потери тепла помещением через все его теплоограждающие конструкции;

– СО должна независимо от колебаний наружной температуры воздуха поддерживать внутри помещений в зависимости от их назначения установленную гигиеническими нормами температуру;

– температура внутреннего воздуха должна быть возможно равномерной как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении;

– колебание температуры воздуха в течение суток не должно быть больше 3 °С при печном отоплении и 1,5 °С при центральном;

– внутренние поверхности ограждений (стены, потолок, пол) должны нагреваться настолько, чтобы температура их приближалась к температуре воздуха помещения;

– средняя температура поверхности нагревательных приборов в жилых помещениях не должна превышать 85 °С. Она регламентирована и для приборов, установленных в помещениях другого назначения;

– в жилых и общественных зданиях СО вместе с системой вентиляции должна обеспечивать поддержание относительной влажности (40–60 %) и скорости движения воздуха (0,15–0,25 м/с) в пределах гигиенических норм;

– в производственных помещениях СО вместе с системой вентиляции должна обеспечивать нормальные условия работы и температурно-влажностный режим, задаваемый технологическим процессом производства;

– СО должна быть индустриальной в изготовлении и монтаже, экономичной в эксплуатации и безопасной в пожарном отношении.

Понятие о тепловом комфорте в помещении. Два условия комфортности.

Еще в 1884 г. И. Д. Флавицкий указывал, что лишь требуемое совокупное воздействие внутренней температуры $t_{в}$, влажности $\phi_{в}$, скорости v воздуха и температур внутренних поверхностей $t_{в.п.}$ (ограждений, мебели и т. д.) обеспечивает комфортность среды. Опытами установлено, что для приблизительного соблюдения условий температурного комфорта понижению температуры воздуха должно соответствовать определенное повышение температуры поверхностей.

Комфортными (*оптимальными*) считаются такие сочетания (зона комфорта) этих показателей, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции [22, 42].

Допустимыми являются такие метеорологические условия, при которых возникает некоторая напряженность процесса терморегуляции и имеет небольшая (допустимая) дискомфортность для человека тепловой обстановки в помещении. При этом состояние здоровья человека не нарушается, но возможно ухудшение самочувствия и понижение работоспособности.

Организм имеет систему терморегуляции, позволяющую человеку приспосабливаться к изменению тепловых условий. Однако эта способность организма ограничена небольшим интервалом температуры. При низкой или высокой температуре окружающей среды нормальное тепловое состояние человека нарушается – организм переохлаждается или перегревается. Тепловые условия, в которых при этом находится человек, называют *дискомфортными*.

От величины $t_{в.п}$ зависит теплоотдача тела лучеиспусканием. Значения $t_{в.п}$ для различных ограждений неодинаковы. Поэтому вводится понятие средняя температура этих поверхностей $f_{в.п}$, или «радиационная температура» t_R :

$$t_R = \Sigma (t_{в.п} f_{в.п}) / \Sigma f_{в.п}. \quad (29)$$

Интенсивность лучисто-конвективного теплообмена характеризуется результирующей температурой помещения

$$t_{п} = (t_{в} + t_R) / 2. \quad (30)$$

Температурную обстановку в помещении определяют **двумя условиями комфортности**.

Первое условие соответствует режиму, когда человек, находящийся в центре обслуживаемой зоны, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения.

Температура помещения соответствует комфортным условиям при разной интенсивности выполняемой физической работы.

Обычно для спокойного состояния человека температура $t_{п}$ должна быть 21–23 °С, при легкой работе – 19–20 °С, при тяжелой – 14–16 °С. Для холодного периода года первое условие характеризуется формулой

$$t_R = 1,57 t_{п} - 0,57 t_{в} \pm 1,5. \quad (31)$$

Заметная разница между t_R и t_B возникает при панельном (лучистом) или воздушном (конвективном) отоплении, а также при сильно развитых холодных поверхностях наружных ограждений в помещении (две и более наружных стены).

Кроме общего теплового баланса на тепловое самочувствие человека в значительной степени влияют условия, в которых находятся отдельные части тела. Существенно сказываются на ощущении комфортности обстановки тепловые условия, в которых находятся голова и ноги человека. Голова человека чувствительнее к радиационному перегреву и переохлаждению, а для ног важны температура поверхности пола, с которой они непосредственно соприкасаются, и наличие холодных токов воздуха вдоль пола.

Поэтому *второе условие комфортности* определяет допустимые температуры нагретых или охлажденных поверхностей, обращенных в помещение.

Например, температура поверхности потолка и стен (выше 1 м от пола) во избежание недопустимого радиационного воздействия на голову человека может допускаться следующая:

$$t_{\text{нагр}} = 19,2 + (8,7/\varphi) \text{ и } t_{\text{охл.}} = 23 - 5/\varphi, \quad (32)$$

где φ – коэффициент облученности – безразмерная величина, зависящая от расположения и размеров поверхностей (доля лучистого потока, падающего на поверхность от всей лучистой эмиссии поверхности). Если в помещении одна такая поверхность, то $\varphi = 1$, в остальных случаях $\varphi < 1$.

Температура поверхности холодного пола может быть ниже температуры воздуха помещения не более чем на 2–2,5 °С, поскольку с ней соприкасается стопа человека, особенно реагирующая на холод.

Расчетная t_B определяется назначением помещения и должна обеспечивать хорошее самочувствие человека, учитывая его деятельность, величины влаго- и тепловыделений, облучение от внутренних поверхностей, опасность конденсации на них влаги и т.д.

Температура помещений, где недопустимо промерзание, в нерабочее время должна быть не менее 5 °С.

За расчетную t_B принимают температуру воздуха на высоте 1,5 м от пола и не ближе 1 м от наружной стены.

Средние отклонения температур от $t_{в}$ должны находиться в пределах по горизонтали обычно 1–1,5 °С (вблизи наружных стен – до 4–5 °С). Падение температуры вблизи окон до 6–8 °С.

2.2 Характеристика наружного климата холодного периода года

Строгий закон вычисления наружной температуры воздуха t_n неизвестен. При медленном изменении t_n распределение температур в ограждении будет близко к стационарному режиму, при быстром снижении до $t_{н,мин}$ температурное поле нестационарно.

Приводимые ТКП 45-2.04-43-2006 и СНБ 2.04.02-2000, а также в таблице 5 расчетные параметры температур наружного воздуха базируются на статистических наблюдениях, проводимых по всем областям Республики Беларусь в течение последних 100 лет.

Ориентироваться на абсолютный минимум наружной температуры, наблюдаемый лишь в течение нескольких часов, нецелесообразно, поскольку наружные массивные ограждения обладают тепловой инерцией и кратковременное понижение наружной температуры не вызывает заметного падения внутренних температур.

Расчетную зимнюю *температуру наружного* воздуха принимают в зависимости от тепловой инерции D наружной стены (см. таблицу 3).

Климатические характеристики отопительного периода для областей Беларуси приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные климатические характеристики отопительного периода [2]

Область	Температура наружного воздуха t_n , °С			Продолжительность отопительного периода Z , сут	Средняя температура а отопительного периода t_n , °С	Средняя скорость ветра в зимний период времени v , м/с
	наиболее холодных суток $t_{н1}^{0,98}$	наиболее холодных суток $t_{н1}^{0,92}$	наиболее холодной пятидневки $t_{н5}^{0,92}$			
Минская	–33	–28	–24	$\frac{202}{220}$	$\frac{-1,6}{-0,9}$	4,05
Гомельская	–32	–28	–24	$\frac{194}{212}$	$\frac{-1,6}{-0,8}$	4,3
Гродненская	–31	–26	–22	$\frac{194}{213}$	$\frac{-0,5}{-0,4}$	5,3

Витебская	-37	-31	-25	$\frac{207}{222}$	$\frac{-2,0}{-1,4}$	5,3
Брестская	-31	-25	-21	$\frac{187}{205}$	$\frac{0,2}{0,8}$	3,6
Могилевская	-34	-29	-25	$\frac{204}{221}$	$\frac{-1,9}{-1,1}$	5,0
<p><i>Примечание</i> – Над чертой отопительный период начинается при температуре наружного воздуха 8 °С, под чертой – при 10 °С;</p>						

Продолжительность отопительного сезона зависит от географического местоположения здания. Начало и окончание работы отопления должно отвечать тепловому режиму помещения. Для жилых и общественных зданий отопительный сезон исчисляется при $t_n < +8$ °С.

Годовые затраты теплоты на отопление зависят от продолжительности отопительного сезона и средней наружной температуры воздуха. Довольно устойчивыми являются t_n около 0 °С; дней с низкой температурой сравнительно мало.

Минимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизирована за счет выбора формы здания (для зданий прямоугольной формы принимаются в расчет такие параметры, как его размеры и ориентация), расположения и площадей заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков. Например, хороший выбор ориентации и размеров здания прямоугольной формы дает принципиальную возможность в теплый период года уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение, а в холодный период – увеличить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и уменьшить затраты на отопление. Аналогичные результаты будут получены при удачном выборе ориентации и размеров здания по отношению к воздействию ветра на его тепловой баланс.

Методология проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Например, для Беларуси этими периодами года являются: наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, период охлаждения, расчетный год. В этом случае оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет выбора

его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки – снижение установочной мощности системы отопления;
- отопительного периода – снижение затрат теплоты на отопление;
- самого жаркого месяца – снижение установочной мощности системы кондиционирования воздуха;
- периода охлаждения – снижение затрат энергии на охлаждение здания;
- расчетного года – снижение затрат энергии на отопление и охлаждение здания в годовом цикле.

Таким образом, оптимальный учет теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание позволяет снизить удельный расход энергии на отопление.

3 ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

3.1 Тепловой баланс помещения

Системы отопления служат для компенсации теплопотерь через наружные ограждения и предназначены для создания в помещениях зданий температурной комфортной обстановки для человека или отвечающей требованиям технологического процесса.

Температурная обстановка в помещении зависит от тепловой мощности системы отопления, а также от расположения обогревающих устройств, теплозащитных свойств наружных ограждений, интенсивности источников поступления и потерь теплоты. В холодное время года помещение теряет теплоту через наружные ограждения, кроме того, теплота расходуется на нагрев воздуха, который проникает в помещение через неплотности ограждений (инфильтрация), а также на нагрев материалов, транспортных средств, изделий и др., которые холодными попадают с улицы в помещение. В установившемся режиме потери равны теплопоступлениям (рисунок 3).

Поступление тепла (+Q):

- от системы отопления;
- от работающих электроприборов;
- в процессе приготовления пищи;
- за счёт солнечной радиации.

Потери тепла (–Q):

- за счёт воздухообмена, включая инфильтрацию;
- через ограждающие конструкции: наружные стены, оконные проёмы, крышу, пол.

Отопление следует проектировать для обеспечения в помещениях расчетной температуры воздуха, учитывая:

- **тепловой поток**, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников; при этом тепловой поток, поступающий в комнаты и кухни жилых домов, следует принимать не менее чем 10 Вт на 1 м² пола;

- **потери теплоты** через внутренние ограждающие конструкции помещений, если разность температур воздуха этих помещений

более 5 °С. При меньшей разности температур теплообмен незначителен и не учитывается.

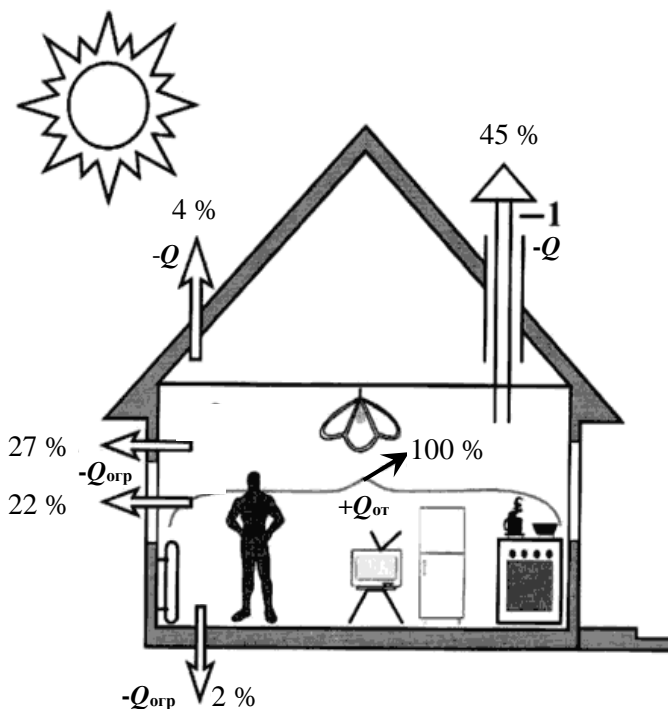


Рисунок 3 – Примерная схема теплопоступлений и теплопотерь в жилом помещении

Учет всех источников поступления и потерь теплоты необходим при сведении тепловых балансов помещений здания. В гражданских зданиях теплота поступает в основном от системы отопления, а определяющей статьёй расхода теплоты являются теплопотери через наружные ограждения. Потребность в отоплении появляется в момент времени, когда тепловой баланс помещения становится отрицательным: $\Delta Q_{\text{п}} \leq 0$.

Дефицит теплоты $\Delta Q_{\text{п}}$ указывает на необходимость устройств в помещении отопления, избыток теплоты обычно ассимилируется вентиляцией. Для определения *тепловой мощности системы*

отопления составляют баланс часовых расходов теплоты для расчетного зимнего периода:

$$Q_{от} = \Delta Q = Q_{огр} + Q_{вент} \pm Q_{т-б}, \quad (33)$$

где $Q_{огр}$ – потери теплоты через наружные ограждения;

$Q_{вент}$ – расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего в помещение;

$Q_{т-б}$ – технологические и бытовые выделения или расходы теплоты.

Баланс составляется для стационарных условий, когда возникает наибольший дефицит тепла при заданном коэффициенте обеспеченности.

3.2 *Определение площади ограждений*

Как при ручном, так и при компьютерном расчете теплотерь при заполнении исходных данных в таблицу важно правильно определить площади ограждений. Расчетная площадь ограждающих конструкций F определяется по правилам обмера (рисунок 4). При этом необходимо предварительно вычертить планы и разрез здания в масштабе 1:100. Толщина наружных ограждений должна быть вычерчена в масштабе в соответствии с теплотехническим расчетом.

Принимают следующие **линейные размеры ограждений**:

- площадь световых проемов и дверей – по заданию;
 - площадь потолков и полов – по размерам между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружных стен (L_3, L_4);
 - высоту стен первого этажа по размеру от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа (h_1);
 - высоту стен промежуточного этажа – по размеру между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей (h_2);
 - высоту стен верхнего этажа – от уровня пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия (h_3);
 - длину наружных стен: *угловых помещений* – по внешнему периметру от линии пересечения наружных стен до осей внутренних стен (L и L_1); *неугловых помещений* – между осями внутренних стен (L_2);
- длину внутренних стен – между осями. Для лестничных клеток теплотери вычисляются по всей высоте без деления на этажи.

Линейные размеры ограждающих конструкций следует определять с точностью до 0,01 м, а площадь – с точностью до 0,1 м².

После конструирования ограждений при условии $R_o \geq R_{тр}$ производят расчет теплопотерь всех помещений здания.

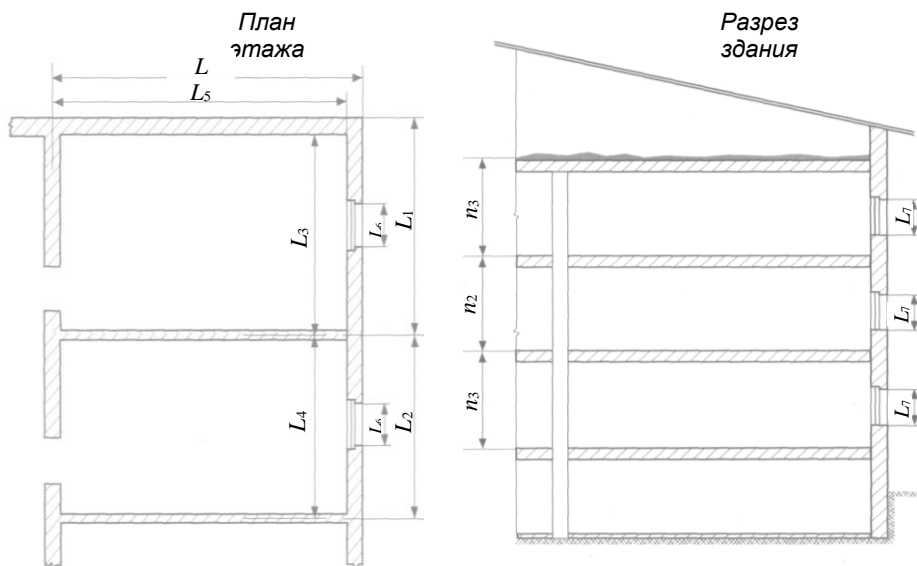


Рисунок 4 – Обмер поверхностей ограждений

3.3 Потери теплоты через ограждающие конструкции помещений

Потери тепла через ограждающие конструкции в зимний период года рассчитывают в предположении стационарного режима, так как зимой значительных колебаний температуры наружного воздуха и особенно колебаний температуры на наружной стороне ограждений не наблюдается.

Трансмиссионные потери тепла Q , Вт, помещениями через стены, полы, потолки, окна, двери учитываются при проектировании систем отопления и состоят из *основных* Q_F и *добавочных* Q_B (они рассчитываются от основных) и определяются по формулам:

$$Q = Q_F + Q_B, \quad (34)$$

$$\text{или } Q = \frac{F(t_{\text{в}} - t_{\text{в}})n}{R_0}(1 + \Sigma\beta), \quad (35)$$

где F – поверхность ограждения, м²;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры соответственно внутреннего (таблица б) и наружного воздуха (см. таблицу 5), °С, [1];

n – коэффициент учета положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху. Значение коэффициента принимается по таблице 1;

R_0 – общее сопротивление теплопередачи конструкции ограждения;

β – добавочные теплопотери.

Значения расчетных *внутренних температур* $t_{\text{в}}$ для отдельных помещений жилых, общественных и производственных зданий приведены в [1, таблица 4.1].

Таблица б – Расчетная температура внутреннего воздуха (приложение В)

Помещение	$t_{\text{в}}$, °С
Жилая комната	18
Угловая комната	20
Совмещенный санузел	25
Кухня	18
Лестничная клетка, коридор	16

Добавочные теплопотери β через ограждающие конструкции следует принимать в долях от основных потерь согласно [1, приложение Ж]:

β_1 – *ориентацию наружных ограждений по сторонам света*: на север, восток, северо-восток, северо-запад – 0,1; на запад и юго-восток – 0,05; на юг и юго-запад – 0;

β_2 – *в угловых помещениях* дополнительно по 0,05 на каждую стену и окно;

β_3 – *проникание в помещение холодного воздуха при открывании наружных дверей при высоте здания h* . Для учета затраты теплоты на его нагревание вводят надбавки к теплопотерям наружных дверей: при одинарных дверях – 0,22 h , при двойных дверях без тамбура – 0,34 h ; при двойных дверях с тамбуром между ними – 0,27 h .

Добавочные потери теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха $Q_{\text{и}}$ учитываются добавками к основным потерям или определяются специальным расчетом [3, приложение К].

Для систематизации расчеты теплотерь ведут на бланке (таблица 7). Наименования помещений и ограждений сокращают: кухня – К; жилая комната – ЖК; лестничная клетка – ЛК и т. д.; наружная стена – НС, пол – Пл, потолок – Пт, окно – О; наружная дверь – ДН и т. д.

Теплопотери лестничной клетки определяют как одного помещения по всей ее высоте.

Для упрощения вычислений удобнее из площади стен площадь окон и дверей не вычитать, но коэффициенты теплопередачи k_o и k_d принимать уменьшенными на величину $k_{н.с}$ для стен.

В сводной таблице 7 приводятся суммарные теплопотери ограждениями по помещениям и общие теплопотери по всему зданию.

Таблица 7 – Ведомость расчета теплотерь помещений здания

Номер помещения и назначение	Наименование ограждения	Размеры	Площадь, м ²	Ориентация ограждения	Сопrotивление теплопередаче R, (м ² ·С/Вт)	Внутренняя температура t _в , °С	Разность температур (t _в – t _н), °С	Коэффициент n	Основные теплопотери Q, Вт	Добавочные теплопотери в долях β			Расчетные теплопотери ограждений, Вт	Расчетные теплопотери помещения, Вт
										β ₁	β _n	Σβ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

В результате получают потери тепла по каждому помещению, суммирование которых дает общие потери Q всего здания, которые и определяют тепловую мощность системы отопления.

3.4 Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий

Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий q_A , Вт·ч/(м²·°С·сут), и q_V , Вт·ч/(м³·°С·сут), следует определять по формулам:

$$q_A = \frac{Q_s}{A_{bu}D} \cdot 10^3; \quad (36)$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{bu}D} \cdot 10^3, \quad (37)$$

где Q_s – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, кВт·ч;

A_{bu} – отапливаемая площадь здания, м², определяется по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций;

D – количество градусо-суток отопительного периода, °С·сут, определяемое как $D = (t_{п} - t_{н.от.п})Z_{от}$;

$t_{п}$ – средневзвешенная по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях, °С;

$t_{н.от.п}$ – средняя температура наружного воздуха (см. таблицу 5);

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут, (см. таблицу 5);

V_{bu} – отапливаемый объем здания, м³.

Для сравнения с полученными результатами в приложении В приведены нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий.

3.5 Удельная тепловая характеристика здания

Удельной тепловой характеристикой q удобно пользоваться для теплотехнической оценки здания [4].

По укрупненным показателям можно определить теплопотери для здания в целом, а также ориентировочную мощность котельной или центрального теплового пункта (ЦТП) на группу зданий, что удобно на ранних стадиях проектирования, например, при получении технических условий. Для выполнения рабочих чертежей отопления зданий пользоваться укрупненными показателя недопустимо.

Величина удельной тепловой характеристики является эксплуатационным показателем проектируемого здания – чем она

выше, тем больше затраты на отопление. Поэтому, исходя из экономически целесообразного уровня теплозащиты зданий, следует не допускать увеличения удельных тепловых характеристик, а ориентироваться на существующие нормы.

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на поверхность здания может оказывать положительное или отрицательное влияние на его тепловой баланс. Поэтому значение удельной тепловой характеристики зависит в основном от отношения площади наружных ограждений к объему здания и теплозащиты ограждений. Кроме того, ее величина при прочих равных условиях, зависит от назначения, этажности, формы здания, от степени остекления здания и района постройки.

Согласно приложению В [4] удельную тепловую характеристику здания $q_{зд}$, Вт/(м²·°C), определяют по формуле

$$q = \frac{1}{F_{от}} \left(\frac{F_{ст}}{R_{ст}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + n_1 \frac{F_{пок}}{R_{пок}} + n_2 \frac{F_{1пол}}{R_{1пол}} + \frac{F_{2пол}}{R_{2пол}} \right), \quad (38)$$

где $F_{от}$ – отапливаемая площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания), м²;

$F_{ст}$, $F_{ок}$, $F_{пок}$, $F_{1пол}$, $F_{2пол}$ – площади наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа, пола над проездами, м²;

$R_{ст}$, $R_{ок}$ **Ошибка! Ошибка связи.**, $R_{пок}$, $R_{1пол}$, $R_{2пол}$ – сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа, пола над проездами, м²·°C/Вт;

n_1 , n_2 – коэффициенты, учитывающие положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху соответственно покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа.

Рекомендуемые значения удельной тепловой характеристики для жилых зданий приведены в приложении В, например, для здания

средней этажности (3–5 этажей) с наружными стенами из мелкоштучных материалов $q_{зд} = 0,57 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [1].

Если фактическое значение $q_{зд}$ отличается от нормативной не более чем на 10–15 %, то здание отвечает теплотехническим требованиям. В случае большего превышения сравниваемых значений необходимо объяснить возможную причину и наметить меры повышения тепловой характеристики здания.

4 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

4.1 Общие сведения об отоплении

В помещениях с длительным пребыванием человека, в том числе производственных, где по условиям технологии требуется поддержание температур в холодное время года, необходимо устройство отопительных систем [22, 23, 26, 27].

Система отопления – это совокупность технических элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи во все обогреваемые помещения количества теплоты, необходимого для поддержания температуры на заданном уровне.

СО должны отвечать **основным общим требованиям**:

– *санитарно-гигиеническим* – обеспечить без ухудшения воздушной среды необходимые внутренние температуры, отвечающие строительным нормам СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4];

– *экономическим* – обуславливать при устройстве наименьшие затраты труда и денежных средств при малом расходе металла;

– *строительным* – предусматривать размещение отопительных элементов в увязке с планировочным и конструктивным решениями здания;

– *монтажными* – обеспечить монтаж промышленными методами с максимальным использованием унифицированных узлов заводского изготовления при минимальном количестве типоразмеров;

– *эксплуатационным* – характеризоваться простотой и удобством управления и ремонта, бесшумностью и безопасностью действия;

– *эстетическим* – хорошо сочетаться с внутренней архитектурной отделкой помещения.

Отопительная установка должна отдавать помещениям столько теплоты, сколько нужно для компенсации теплопотерь, обладая при этом необходимой теплоустойчивостью в соответствии с изменяющимися внешними и внутренними факторами.

Системы отопления состоят из **трех основных элементов** (рисунок 5):

I – *генератора* 1 (теплообменника) для получения теплоты;

II – *теплопроводов* или каналов для транспорта теплоносителя от места выработки к отапливаемому помещению 2 и обратно к теплогенератору 3;

III – *отопительных приборов* 4 (элементов для передачи теплоты в помещения).

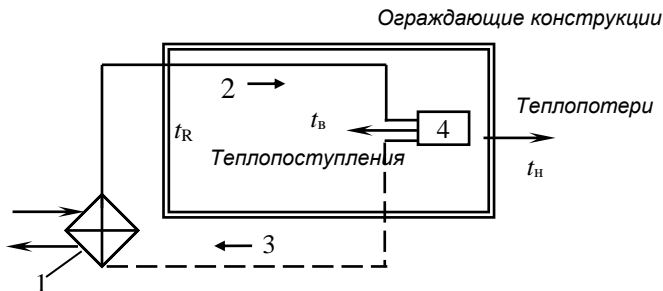


Рисунок 5 – Принципиальная схема системы отопления

4.2 Классификация систем отопления

В зависимости от источника теплоснабжения системы отопления подразделяются на *местные и центральные*.

К местным системам отопления относят электрическое, газовое (при горении газа непосредственно в отопительных установках) и печное отопление. Радиус действия местных систем отопления ограничен одним-двумя помещениями. К местным относятся и поквартирные системы (теплогенератор установлен на одну квартиру).

Центральными называют системы, предназначенные для отопления многих помещений из одного теплового центра. Тепловой центр может обслуживать одно обогреваемое сооружение или группу сооружений (в этом случае систему отопления именуют районной).

В зависимости от вида первичного теплоносителя системы бывают *водо-водяные, водовоздушные, пароводяные, паровоздушные, газовоздушные* и другие. В этом случае первичный высокотемпературный теплоноситель перемещается от ТЭЦ или станции по городским распределительным теплопроводам к ЦТП (центральный тепловой пункт) и обратно. Вторичный теплоноситель после нагревания в теплообменниках (или смешения с первичным) поступает по наружным (внутриквартальным) и внутренним теплопроводам к отопительным приборам в каждом обогреваемом помещении.

К *комбинированным системам* относят водовоздушные, паровоздушные, электровоздушные, водо-водяные и газовоздушные, т.е. такие, в которых основной теплоноситель (горячая вода или воздух) получается с помощью другого теплоносителя (пара, перегретой воды, электроэнергии, газа).

В пароводяных и водо-водяных системах основной теплоноситель подготавливается в водонагревателе – бойлере (или пластинчатом теплообменнике) [31]. Нагретая вода поступает по теплопроводу в отопительные приборы системы отопления здания. Из приборов охлажденная вода возвращается для нагрева обратно в бойлер.

Во всех комбинированных системах воздушного отопления воздух нагревается в калориферах [42].

Теплоперенос в системах отопления осуществляется **теплоносителем** – *жидкой* (вода, антифриз) или *газообразной* (пар, воздух, газ) средой.

В последнее время в качестве теплоносителя в автономных системах отопления и кондиционирования, с целью исключения "размораживания" теплосистем, разрыва труб и радиаторов при низких температурах используют **антифриз** – водный раствор этиленгликоля и других гликолей, а также растворы некоторых неорганических солей. Любой антифриз является токсичным веществом, требующим особого обращения. Его использование в системах отопления может привести к негативным последствиям (подмес теплоносителя из контура отопления в контур водоснабжения, снижение теплообмена, коррозия и др.). В связи с этим применение антифриза в каждом конкретном случае должно быть обосновано.

Топочные высокотемпературные *газы* применяются только при возможности ограничения температуры на поверхностях нагревателей [45].

Теплоносители отопительных систем должны: обладать большой способностью аккумулировать теплоту, при которой расход энергии на перемещение теплоносителя по трубам был бы незначительным; не ухудшать санитарных и экологических условий отапливаемых помещений (выделять вредные газы, загрязнять воздух помещения); быть достаточно дешевыми. В настоящее время этим требованиям больше удовлетворяют *вода, пар и воздух* (таблица 8).

Из числа теплоносителей **вода** имеет большие значения теплоемкости, плотности и вязкости, она несжимаема, расширяется при нагревании с уменьшением плотности, выделяет абсорбированные газы при изменении температуры и давления.

Пар – легкоподвижная среда, обладает малой плотностью, температура и плотность его зависят от давления. Отличается большим теплосодержанием за счет тепла испарения. Это тепло передается через стенки отопительных приборов в помещения. Пар значительно изменяет свой объем и энтальпию при фазовом превращении.

Воздух также легкоподвижная среда с малыми значениями теплоемкости и плотности. Так же, как и вода, расширяется при нагревании с уменьшением плотности.

Таблица 8 – Сравнительные показатели основных теплоносителей для отопления

Параметры	Теплоноситель		
	вода	пар	воздух
Температура, °С	150–70	130	60–40
Плотность, кг/м ³	950	1,5	1,0
Массовая теплоемкость, кДж/(кг К)	4,31	2175	1
Скорость движения, м/с	0,3–2	30–80	5–15
Соотношение сечения труб	1	~ 2	~ 650
Количество теплоты для отопления в объеме 1 м ³ теплоносителя, кДж	316370	3263	46,4

Видно, что площади поперечных сечений водоводов и паропроводов относительно близки; сечение воздухопроводов в сотни раз больше. Это объясняется, с одной стороны, значительной теплоаккумуляционной способностью воды и свойствами пара выделять большое количество теплоты при конденсации, с другой стороны – малыми плотностью и теплоемкостью воздуха.

В зависимости от вида основного (вторичного) теплоносителя системы отопления подразделяются на *водяные, паровые, воздушные и газовые*.

Водяные системы гигиеничнее паровых (меньшая и достаточно постоянная температура на поверхности нагревательных приборов), поэтому они и получили наибольшее распространение в помещениях с длительным пребыванием людей (жилые, больничные, общественные здания). *Паровые и воздушные* системы в основном применяются в промышленных сооружениях. *Воздушное* отопление устраивают в помещениях значительного объема, в том числе в зданиях общественного назначения.

По способу перемещения теплоносителя системы центрального отопления подразделяются:

- на системы с *естественным побуждением*, действующие за счет разности давлений столбов охладившейся и горячей воды или охладившегося и нагретого воздуха;
- системы с *механическим побуждением*, в которых движение воды достигается с помощью насоса или водоструйного элеватора, а движение воздуха в системах воздушного отопления – с помощью вентилятора.

По способу передачи тепла системы отопления классифицируют на три группы: *конвекционные, лучистые и конвекционно-лучистые*.

Примером *конвекционной* системы может служить система отопления с конвекторами или ребристыми трубами.

К *лучистым* системам отопления относят системы, при работе которых средневзвешенная температура поверхностей ограждающих конструкций выше температуры воздуха помещения. Такие условия достигаются развитой, умеренно нагретой поверхностью (потолка, стены, пола) и подвесными нагретыми панелями.

Печное отопление и системы с радиаторами относят к *конвекционно-лучистой* группе.

4.3 Характеристика систем отопления

В настоящее время в Республике Беларусь и других странах СНГ системы водяного отопления нашли наиболее широкое применение в гражданских и промышленных предприятиях.

Систему отопления здания для экономии тепловой энергии разделяют на **две части** [26, 42]:

– *главную*, обслуживающую основные помещения с производственными теплопоступлениями в рабочее время;

– *второстепенную* для вспомогательных помещений (санузлы, коридоры, лестничные клетки, склады и т.д.) без теплопоступлений.

Главная часть системы отопления может быть выбрана водяной (как и второстепенная) или комбинированной – водовоздушной.

На главную часть системы отопления возлагается задача путем прерывистой теплоподачи в течение суток обеспечивать нормальную температуру основных рабочих помещений в рабочее время, осуществлять “натоп” этих помещений перед началом работы и поддерживать минимально допустимую температуру в нерабочее время.

Понижение температуры в нерабочее время допустимо до 5 °С в производственных помещениях и до 10 °С (при 40%-ной относительной влажности воздуха, имеющего температуру 20 °С к концу рабочего времени) в помещениях общественных зданий.

В настоящее время в Республике Беларусь применяют главным образом центральные системы водяного отопления, паровые – при наличии промышленного отбора пара, местные и центральные системы воздушного отопления, а также печное отопление.

В таблице 9 приведены сравнительные характеристики систем отопления.

Таблица 9 – Характеристики отопительных систем

Отопление	Преимущество	Недостатки
<i>Водяное</i>	Поддерживает умеренную температуру на поверхностях нагревательных приборов. Характеризуется простотой центрального регулирования теплоотдачи приборов путем изменения температуры воды в зависимости от внешнего климата. Работает бесшумно	Большое гидростатическое давление в системе, обусловленное ее высотой и высокой массовой плотностью воды. Опасность замораживания воды с разрушением отопительного оборудования, проложенного в охлаждающихся местах

<i>Паровое</i>	Обычно высокая теплоотдача нагревательных приборов. Меньшая опасность замораживания. Небольшое гидростатическое давление	Высокая температура на поверхности труб и нагревательных приборов. Более сложная эксплуатация. Повышенная коррозия труб
<i>Воздушное</i>	Возможность совмещения с системой вентиляции и центрального качественного регулирования. Отсутствие в помещении нагревательных приборов. Отсутствие тепловой инерции (немедленный тепловой эффект при включении системы)	Большие сечения каналов (воздухопроводов). Большие бесполезные теплотери при прокладке магистральных воздухопроводов в протапливаемых местах

5 ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

5.1 Требования, предъявляемые к отопительным приборам. Классификация и описание

Отопительные приборы (ОП) (в некоторых источниках их называют нагревательными приборами) являются основным элементом системы отопления и предназначены для передачи тепла помещению от теплоносителя. К ним предъявляются определенные требования [22]:

– *теплотехнические* – коэффициент теплопередачи ОП должен быть не менее 9–16 Вт/(м²·К). Величина коэффициента зависит от ряда факторов: разности средней температуры теплоносителя и температуры воздуха помещения, размеров и формы поверхности нагрева, способа подачи и отвода воды из прибора, количества секций в приборе и места его установки, количества воды, проходящей через прибор, и др.. К отопительным приборам предъявляется также важное для них **теплотехническое требование**: обеспечение наибольшего теплового потока от теплоносителя в помещения через единицу площади прибора;

– *санитарно-гигиенические* – ограничивается температура поверхности приборов. В помещениях с длительным пребыванием человека она не должна быть выше 85–95 °С, так как при более высокой температуре может происходить сухая возгонка оседающей на приборе органической пыли, сопровождающаяся выделением вредных веществ, в частности окиси углерода;

– *техничко-экономические* – минимальная металлоемкость и стоимость ОП, пригодность для массового производства, изменение величины поверхности нагрева, т. е. секционность;

– *архитектурно-строительные* – соответствие внешнего вида отопительных приборов интерьеру помещений, сокращение площади помещений, занимаемой приборами. Приборы должны быть достаточно компактными, т. е. их строительные глубина (толщина) и длина, приходящиеся на единицу теплового потока, должны быть наименьшими;

– *эксплуатационные* – ОП должны обладать температурной устойчивостью и водонепроницаемостью стенок при предельно допустимом в рабочих условиях (рабочем) гидростатическом давлении внутри приборов. При эксплуатации должна быть

управляемость теплоотдачей приборов, зависящей от их тепловой инерции.

Все отопительные приборы **по преобладающему способу теплоотдачи** делятся на **три группы**.

Радиационные приборы, передающие излучением не менее 50 % общего теплового потока. К первой группе относятся потолочные отопительные панели и излучатели.

Конвективно-радиационные приборы, передающие конвекцией от 50 до 75 % общего теплового потока. Вторая группа включает радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы, напольные отопительные панели.

Конвективные приборы, передающие конвекцией не менее 75 % общего теплового потока. К третьей группе принадлежат конвекторы и ребристые трубы.

В эти три группы входят отопительные приборы **пяти основных видов**: радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы (эти три вида приборов имеют гладкую внешнюю поверхность), конвекторы, ребристые трубы (имеют ребристую поверхность). К приборам с ребристой внешней поверхностью относятся также калориферы, применяемые для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

ОП, применяемые в системах центрального отопления, подразделяются:

– **по материалу** – на приборы *металлические* (чугунные, стальные, алюминиевые, биметаллические), *малометаллические* (комбинированные) и *неметаллические* (керамические, бетонные и др.). В *комбинированных* приборах используют теплопроводный материал (бетон, керамику), в который заделывают стальные или чугунные греющие элементы (панельные радиаторы). Оребрѐнные металлические трубы помещают в неметаллический кожух (конвекторы).

К *неметаллическим* приборам относят бетонные панельные радиаторы, потолочные и напольные панели с заделанными металлическими или пластмассовыми греющими трубами или с пустотами без труб, а также керамические, пластмассовые и тому подобные радиаторы;

– **внешней поверхности** – на *гладкие* (радиаторы и панели), *ребристые* (конвекторы, ребристые трубы);

- **высоте** – на *высокие* (высотой более 650 мм), *средние* (400–650 мм), *низкие* (200–400 мм) и *плинтусные* (до 200 мм вкл.);
- **глубине** (толщине) – *малой* (до 120 мм вкл.), *средней* (более 120 до 200 мм) и *большой* глубины (более 200 мм);
- **величине тепловой инерции** – можно выделить приборы *малой и большой инерции*.

К приборам *малой тепловой инерции* относят приборы, имеющие небольшую массу материала и вмещаемой воды. Такие приборы с греющими трубами малого диаметра (например, конвекторы) быстро изменяют теплоотдачу при регулировании количества подаваемого теплоносителя. Приборами, обладающими *большой тепловой инерцией*, считают массивные приборы, вмещающие значительное количество воды (например, чугунные радиаторы). Такие приборы изменяют теплоотдачу сравнительно медленно.

Независимо от типа ОП при его выборе необходимо обращать внимание на два параметра: *тепловая мощность ОП* и *давление в системе отопления*, которое он может выдержать.

Для предварительной оценки тепловой мощности ОП можно принять, что для обогрева 10 м² площади хорошо утепленного помещения при высоте потолков до 3 м достаточно 1 кВт [49]. Это без учета остекления, толщины ограждающих конструкций и других факторов. Поэтому для окончательного выбора необходимо провести профессиональные расчеты ОП.

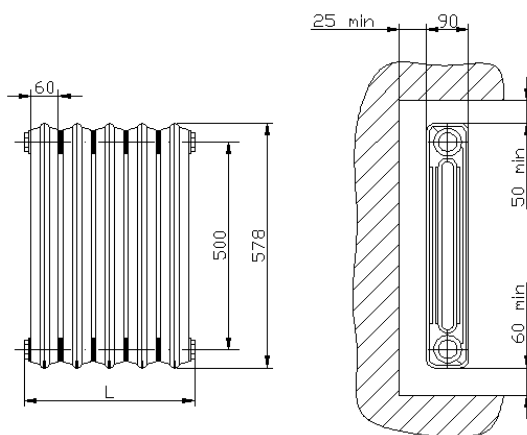
Рабочее давление ОП говорит о том, на какое давление в системе он рассчитан. Этот параметр особенно важен при установке в многоэтажных городских домах, т.к. в этом случае давление в системе отопления значительно выше, чем в домах с индивидуальным отоплением.

Рассмотрим основные виды ОП, широко используемых при строительстве и реконструкции систем отопления в современных жилых, общественных и промышленных зданиях Беларуси, а также их отличительные особенности, достоинства и недостатки [22, 25, 42, 47].

Радиатором принято называть конвективно-радиационный ОП, состоящий либо из отдельных колончатых элементов – секций с каналами круглой или эллипсообразной формы, либо из плоских блоков с каналами колончатой или змеевиковой формы.

Радиаторы по своей конструкции имеют относительно большой объем и постоянно содержат много горячего теплоносителя. За счет этого они отдают тепло преимущественно в виде излучения (каминный эффект), а также конвективным способом (за счет циркуляции нагретого воздуха). Секции радиаторов изготавливаются из серого чугуна, стали или алюминия и могут компоноваться в приборы различной площади путём их соединения на резьбовых ниппелях. Несколько секций в сборе называют **секционным радиатором**.

Чугунные радиаторы (рисунок 6) имеют более чем 100-летнюю историю. Секции радиаторов отливаются из серого чугуна (толщина стенки около 4 мм) и могут компоноваться сантехническими службами в приборы различной площади и любой длины. Кроме того, заводы-изготовители поставляют радиаторы в готовом виде по 8 и 14 секций в приборе. Эксплуатируются при рабочем давлении до 0,2 МПа.



500 – монтажная высота; 578 – полная высота;
60 – длина секции; 90 – строительная глубина

Рисунок 6 – Чугунный нагревательный прибор 2КП-90×500

Эти приборы обладают большим внутренним объемом, значительной тепловой инерцией, стойкостью против коррозии и

долговечностью, компоновочными преимуществами при неплохих теплотехнических показателях и компактностью.

Новый чугунный ОП белорусского производства 2КП-90×500 имеет улучшенный внешний вид. Особенностью радиаторов этого типа является их высокая инерционность, т.е. они долго нагреваются, но и долго остывают.

Стальные панельные радиаторы (рисунок 7) состоят из двух отштампованных листов, образующих горизонтальные коллекторы, соединенные вертикальными колонками (колончатая форма), или горизонтальные параллельно и последовательно соединенные каналы. Змеевик можно выполнить из стальной трубы и приварить к одному профилированному стальному листу; такой прибор называют листотрубным.

Стальные панельные радиаторы отличаются от чугунных секционных меньшей массой и тепловой инерцией. Они имеют повышенный коэффициент теплопередачи, легко очищаются от пыли. Их внешний вид удовлетворяет архитектурно-строительным требованиям, особенно в зданиях из крупных строительных элементов. Конструкция приборов позволяет механизировать их производство с автоматизацией процессов, сократить затраты труда при монтаже.

Для изготовления стальных панельных радиаторов требуется холоднокатаная листовая сталь толщиной 1,2–1,5 мм высокого качества. При использовании обычной листовой стали срок службы радиаторов значительно сокращается из-за интенсивной внутренней коррозии. Область применения стальных панельных радиаторов (кроме листотрубных) ограничена системами водяного отопления с обезвоздушенной («деаэрированной») водой. Их не разрешается применять, если в качестве теплоносителя используют пар и воду с агрессивными компонентами.



Рисунок 7 – Стальной радиатор (с нижней подводкой)

Панельный радиатор имеет относительно небольшую площадь нагревательной поверхности, из-за чего иногда приходится прибегать к установке панельных радиаторов попарно (в два ряда на расстоянии 40 мм или даже в три ряда). При этом снижается теплопередача (примерно на 15 % при двухрядной установке) и затрудняется очистка межпанельного пространства от пыли.

В настоящее время выпускают стальные панельные радиаторы с колончатými (тип РСВ) и с горизонтальными каналами (тип РСГ). Рассчитаны на рабочее давление до 10 атм (0,1 МПа) и температуру до 150 °С. Радиаторы РСГ бывают двухходовыми (по пять горизонтальных каналов в ходу) и четырехходовыми (вход и выход теплоносителя по одному верхнему и нижнему каналам, а между ними два хода из четырех каналов каждый).

Радиаторы типа РСГ-2к имеют встроенный регулирующий кран и отформованный в панели замыкающий участок, представляют собой литое изделие, сваренное из двух штампованных стальных листа (толщина листа 1,4–1,5 мм), образуя приборы малой глубины (18–21 мм) и различной длины. Наружная поверхность такого радиатора имеет определённый профиль для увеличения теплоотдающей поверхности, но может быть и абсолютно гладкой.

Алюминиевые радиаторы (рисунок 8) предназначены для



Рисунок 8 – Алюминиевый радиатор

установки как в закрытых, так и в открытых системах отопления. Отличаются современным дизайном. Эти радиаторы очень чувствительны к качеству теплоносителя, хотя и в меньшей степени, чем стальные радиаторы. Их можно использовать в системах отопления с давлением 0,6–1,6 атм (0,06–0,16 МПа), имеют средние показатели инерционности и

внутреннего объема. В настоящее время поверхности алюминиевых радиаторов обрабатываются циркониевым составом, а также есть анодные алюминиевые радиаторы, максимально защищенные от коррозии и образования водорода.

Алюминиевые радиаторы изготавливаются методом литья под давлением, благодаря чему можно получать радиаторы отопления

разной формы. Для обеспечения свободного передвижения теплоносителя внутри литого алюминиевого радиатора увеличивают диаметр каналов, а для большей прочности – толщину канальных и коллекторных стенок. Помимо чисто технических характеристик, для потребителей немаловажным является возможность снимать или добавлять дополнительные секции к литому алюминиевому радиатору. Алюминиевые радиаторы изготавливаются и по технологии экструдирования: в этом случае отопительный прибор собирается из отдельных деталей, которые соединяются между собой прессованием. Эти радиаторы имеют меньшую общую площадь, к тому же к ним нельзя добавлять дополнительные секции. Срок службы алюминиевых радиаторов составляет 10–15 лет. Стандартные модели радиаторов имеют высоту 350 и 500 мм, однако выпускаются и модели высотой 250 мм, предназначенные для помещений малой площади. Подключение радиаторов может быть боковым, нижним и диагональным: для многосекционных алюминиевых радиаторов рекомендуют диагональную подводку теплоносителя. Для большинства радиаторов характерно закругление верхней части секций и гладкая лицевая поверхность.

Плоские блоки радиаторов делают также из тяжелого бетона (**бетонные отопительные панели**), применяя нагревательные элементы из металлических или пластмассовых труб. Бетонные панели располагают в наружных ограждающих конструкциях помещений (совмещённые панели) или приставляют к ним (приставные панели). Бетонные панели, особенно совмещённого типа, отвечают санитарно-гигиеническим и архитектурно-строительным требованиям. К недостаткам совмещённых панелей относятся: трудность ремонта, большая тепловая инерция, усложняющая регулирование теплоотдачи, увеличение теплопотерь через дополнительно прогреваемые наружные конструкции зданий. Поэтому в настоящее время они применяются ограниченно.

Конвекторы – это прибор конвективного типа, состоящий из двух элементов – ребристого нагревателя и кожуха. Кожух декорирует нагреватель и способствует повышению теплопередачи благодаря увеличению подвижности воздуха у поверхности нагревателя (рисунок 9). Конвектор с кожухом передает в помещение конвекцией до 90–95 % всего теплового потока. Прибор, в котором функции кожуха выполняет оребрение нагревателя, называют конвектором без кожуха.

Нагреватель выполняют из стали, чугуна, алюминия и других металлов, кожух — из листовых материалов (стали, асбестоцемента и др.).

Теплопередача конвекторов может возрасти еще больше при искусственно усиленной конвекции воздуха, если в кожухе установить вентилятор специальной конструкции. Конвекторы — приборы малой тепловой инерции и отдают тепло в основном за счет циркуляции воздуха через них. По трубе конвектора движется теплоноситель, нагревая поверхности «надетой» на него «гармошки». Воздух проходит сквозь конвектор снизу вверх, нагреваясь от многочисленных теплых поверхностей. Поверхность конвекторов покрывается эмалью ПФ-115. Высота конвекторов 280 или 400 мм, глубина — 90 и 150 мм. Предназначены для эксплуатации в системах водяного и парового отопления с температурой теплоносителя. Они достаточно компактны и имеют очень низкую инерционность и малый внутренний объем. В настоящее время в системах отопления используются конвекторы отопительные белорусского производства [7] и стальные типа "Универсал" и "Комфорт" российского производства.

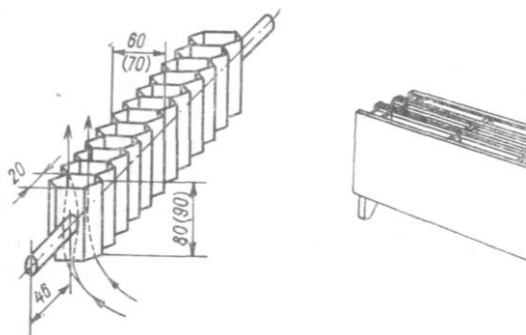


Рисунок 9 – Схема конвектора и его внешний вид

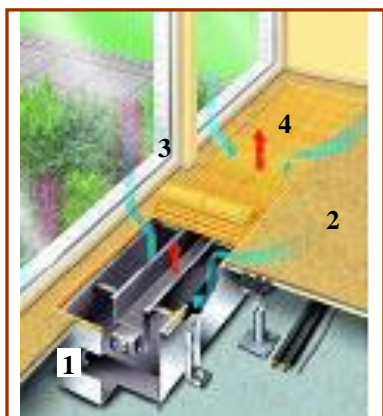


Рисунок 10 – Внутрипольный конвектор

Внутрипольный конвектор 1 (рисунок 10) устанавливается в конструкцию пола 2. Сфера применения этих приборов не ограничивается размещением в

жилых помещениях под окнами 3, которые могут достигать уровня пола. Также они успешно размещаются в холлах и фойе, концертных залах, у витрин магазина, в офисах и т.п., оставаясь невидимыми для находящихся рядом людей. На поверхности пола 2 остается только декоративная защитная решетка 4.

В соответствии с требованиями дизайна и условий эксплуатации для таких конвекторов имеется возможность выбора материала (алюминий, сталь, ценные породы дерева) и цвета декоративной решетки. При необходимости использования внутрипольных конвекторов повышенной мощности изготавливают модели со встроенными аксиальными, радиальными или тангенциальными (диаметральными) вентиляторами. Для регулирования тепловой мощности таких радиаторов возможно применение регуляторов числа оборотов двигателей вентиляторов.

Биметаллические радиаторы (рисунок 11) представляют собой фактически алюминиевый радиатор, в котором все водяные каналы заключены в стальную трубу. Секция радиатора состоит из двух асимметрично расположенных труб из низкоуглеродистой стали (Fe 360) наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 1,25 мм, залитых под давлением высококачественным алюминиевым сплавом. Форма нового радиатора изменена согласно современным требованиям дизайна: конструкторы отказались от полной симметричности прибора, секции стали на 8 мм ниже при той же монтажной высоте, длина увеличилась с 75 до 80 мм, а глубина уменьшилась со 110 до 95 мм в середине секции и до 90 мм у её головок, т. е. секция стала выпуклой. Максимальное рабочее избыточное давление составляет 4 МПа при испытании 100 % радиаторов в сборе. Максимальная температура теплоносителя для радиаторов принимается равной 110 °С.

а)

б)

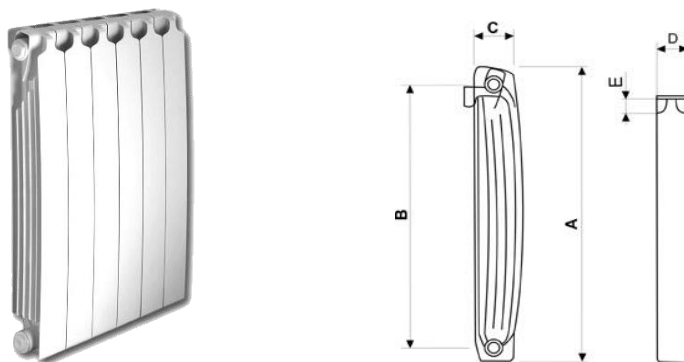


Рисунок 11 – Биметаллический радиатор:
a – общий вид, *б* – основные габаритные размеры секции

Это позволяет сохранить все плюсы алюминиевого радиатора при значительном уменьшении чувствительности к качеству теплоносителя и, как следствие, добиться заметного увеличения срока службы радиаторов.

Ребристые трубы представляют собой фланцевую чугунную трубу, наружная поверхность которой покрыта совместно отлитыми тонкими ребрами длиной 1, 1,5 и 2 м, с поверхностью нагрева 2,3 и 4 м². Их устанавливают горизонтально в несколько ярусов и соединяют по змеевиковой схеме на болтах с помощью «калачей» — фланцевых чугунных двойных отводов и контрфланцев.

Ребристые трубы в помещениях с продолжительным пребыванием людей не устанавливают.

Гладкотрубным называют прибор, состоящий из нескольких соединенных стальных труб большого (32–100 мм) диаметра. Гладкотрубные приборы обладают высокой теплопередающей способностью. Вместе с тем эти толстостенные приборы тяжелы и громоздки, занимают много места. Их применяют в тех случаях, когда не могут быть использованы отопительные приборы других видов (например, для обогрева производственных помещений и гаражей).



Рисунок 12 –
 Полотенцесушитель

Полотенцесушители (рисунок 12) или радиаторы для ванных комнат делятся на водяные, электрические и комбинированные.

Импортные полотенцесушители предназначены только для систем отопления и устанавливать

их в системах горячего водоснабжения не рекомендуется.

Отечественные полотенцесушители изготавливают из стальных бесшовных труб толщиной 2 мм. Полотенцесушители желательно укомплектовать запорной арматурой, термостатом и воздуховыпускным клапаном.

Как правило, в современных системах полотенцесушители подключаются к системе отопления. Правильно рассчитанная тепловая мощность способствует созданию комфортных условий в помещении без его перегрева и увеличения эксплуатационных расходов.

В последнее время промышленность начала выпускать **дизайн-радиаторы**, которые отличаются различной формой в соответствии с требованиями дизайна.

5.2 Выбор и размещение отопительных приборов

При выборе отопительных приборов следует учитывать прежде всего качество теплоносителя, а также состав воздушной среды помещений (стальные приборы без защитного покрытия нельзя применять при наличии в воздухе помещений веществ, агрессивных по отношению к металлу).

Принимают также во внимание назначение и архитектурно-технологическую планировку здания, особенности теплового режима помещений, места и длительность пребывания на них людей.

При повышенных санитарно-гигиенических, а также противопожарных и противовзрывных требованиях выбирают приборы с гладкой поверхностью – радиаторы панельные бетонные или стальные и гладкотрубные приборы (при обосновании).

При длительном пребывании людей в обычных условиях применяют приборы конвективно-радиационного и конвективного вида (не более двух видов приборов для всего здания или сооружения).

В производственных зданиях чаще используют приборы, обеспечивающие повышенную тепловую плотность по длине (радиаторы секционные, несколько ребристых труб друг над другом); в административно-бытовых зданиях – конвекторы без кожуха; в гражданских – радиаторы и конвекторы с кожухом. В помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей,

предпочтение отдается приборам с высокими технико-экономическими показателями.

Отопительные приборы должны обеспечивать равномерное обогревание помещений. Напольные и потолочные отопительные панели нагревают помещения наиболее равномерно.

При монтаже систем отопления в помещениях необходимо соблюдать правильность расположения элементов в пространстве. При проектировании, установке, эксплуатации и обслуживании отопительных приборов следует придерживаться существующих норм и правил (ТКП 45-1.03-85-2007 и ТКП 45-1.04-14-2005) [9, 10].

Расстояние от прибора до стены зависит от его типа и способа установки радиатора, а также от того, является ли прокладка труб открытой или скрытой.

Размещаются ОП, как правило, на стене под окном для создания "тепловой завесы". Длина ОП должна составлять не менее 75 % длины светового проема.

Радиаторы всех типов следует устанавливать на расстоянии не менее 60 мм от пола; 50 мм – от нижней поверхности подоконных досок; 25 мм – от поверхности штукатурки стен.

Нагревательные приборы устанавливают так, чтобы их ребра располагались строго вертикально; в каждом помещении необходимо располагать все нагревательные приборы на одном уровне.

При монтаже следует избегать неправильной установки радиаторов:

- слишком малое расстояние между полом и низом радиатора уменьшает эффективность теплообмена;

- слишком высокая установка с зазором между полом и низом радиатора (большим 150 мм) увеличивает градиент температур воздуха по высоте помещения, особенно в нижней его части;

- слишком малый зазор между верхом радиатора и низом подоконника приводит к уменьшению теплового потока радиатора;

- установка радиатора вплотную к стене или с зазором меньше 25 мм увеличивает теплопотери и ухудшает теплоотдачу прибора;

- установка перед радиатором декоративных экранов также приводит к ухудшению теплоотдачи и искажает работу термостата.

При установке отопительного прибора под окном его край со стороны стояка, как правило, не должен выходить за пределы

оконного проема. При этом совмещение вертикальных осей симметрии отопительных приборов и оконных проемов не обязательно. ОП следует устанавливать на одиночных или двойных (на планке) кронштейнах.

В помещениях высотой более 6 м со световыми проемами наверху часть приборов располагают в верхней зоне.

Особое размещение отопительных приборов требуется в *лестничных клетках* – вертикальных шахтах снизу доверху здания. Естественное движение теплого воздуха в лестничных клетках в зимний период, усиливающееся с увеличением высоты, способствует теплопереносу в верхнюю их часть и вместе с тем вызывает переохлаждение нижней части, прилегающей к открывающимся наружным дверям.

Отопительные приборы лестничных клеток следует присоединять к отдельным стоякам по однотрубной проточной схеме.

В многоэтажных зданиях в настоящее время для отопления лестничных клеток применяют высокие конвекторы и рециркуляционные воздухонагреватели. В малоэтажных зданиях обычно используют приборы, выбранные для отопления основных помещений. Их размещают на первом этаже при входе за тамбуром и, в крайнем случае, переносят часть приборов (до 20 % от их общей площади в двухэтажных, до 30 % – в трехэтажных зданиях) на промежуточную лестничную площадку между первым и вторым этажами.

Установка отопительного прибора во входном тамбуре с наружной дверью нежелательна во избежание замерзания воды в нём или в отводной трубе в том случае, если наружная дверь длительное время остаётся открытой.

Отопительные приборы размещают так, чтобы были обеспечены их осмотр, очистка и ремонт. Если применяется ограждение или декорирование приборов (кроме конвекторов с кожухом по техническим требованиям), то уменьшение номинального теплового потока укрытых приборов допустимо не более чем на 10 %.

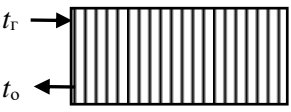
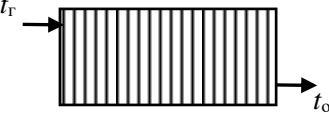
5.3 Способы подключения и основные приборные узлы

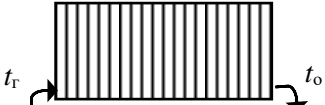
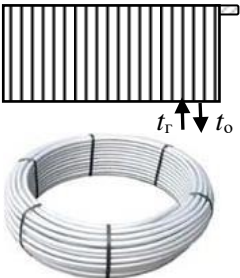
Присоединение труб к отопительным приборам может быть с одной стороны (одностороннее) и с противоположных сторон (разностороннее) (таблица 10). При разностороннем присоединении возрастает теплопередача приборов, однако конструктивно рациональнее делать одностороннее присоединение труб (разносторонне присоединяют радиаторы при числе секций более 20, а также при числе приборов “на сцепке” более одного).

Тепловой поток вертикальных приборов зависит от расположения мест подачи и отвода из них теплоносителя воды. Теплопередача возрастает при подаче теплоносителя воды в верхнюю часть и отводе воды из нижней части прибора (направление движения сверху вниз) и понижается при направлении движения снизу вверх. При установке отопительных приборов в несколько ярусов по высоте (радиаторов, конвекторов, гладких труб или ребристых труб) рекомендуется обеспечивать последовательное движение теплоносителя сверху вниз (из верхнего яруса в нижние).

На рисунке 13 изображены основные приборные узлы трех типов с односторонним присоединением теплопроводов к приборам, применяемые в вертикальных однотрубных системах водяного отопления, и приборный узел, используемый в двухтрубных системах водяного и парового отопления. На рисунке 14 приведены примеры разностороннего присоединения (с противоположных сторон прибора) [22, 42, 47].

Таблица 10 – Способы присоединения отопительных приборов

<p>Боковое одностороннее подключение Питающий теплопровод (с горячим теплоносителем) должен присоединяться к верхнему патрубку радиатора, а обратный (с охлажденным теплоносителем) – к нижнему</p>	
<p>Перекрестное подсоединение Этот вид подсоединения рекомендуется для тех ОП, длина которых превышает 2 м или четырежды превышает их высоту. Такой вид подсоединения обеспечивает равномерное распределение температур по всей длине радиатора. Подсоединение в обратном порядке вызовет падение тепловой мощности ОП</p>	

<p>Седельное подсоединение Чаще всего используется в радиаторах, когда горизонтальная разводка системы отопления находится в полу</p>	
<p>Нижнее подсоединение радиаторов ВК (вентиль компакт) Предназначено для радиаторов типа ВК со встроенным термостатическим клапаном и нижним подключением подающего и обратного теплопроводов с межосевым расстоянием 50 мм. Данный тип подсоединения широко используется при лучевой разводке, одно-, двухтрубной разводках выполненных с применением <i>металлополимерных труб</i></p>	

В приборном узле первого типа отсутствует кран для регулирования теплоносителя, поэтому он называется **проточным**. Следовательно, стояк с таким присоединением нагревательных приборов также будет называться проточным. Проточные приборные узлы характеризуются тем, что расход теплоносителя в каждом приборе стояка равен его расходу в стояке в целом.

В приборах второго типа на подводках со стороны теплоносителя помещаются краны регулирующие проходные КРП. В этом случае на стояке около прибора делают замыкающие участки, располагаемые либо по оси стояка, тогда это узел с **осевым замыкающим участком**. Либо участок смещен по отношению оси стояка и узел называется **со смещенным замыкающим участком**.

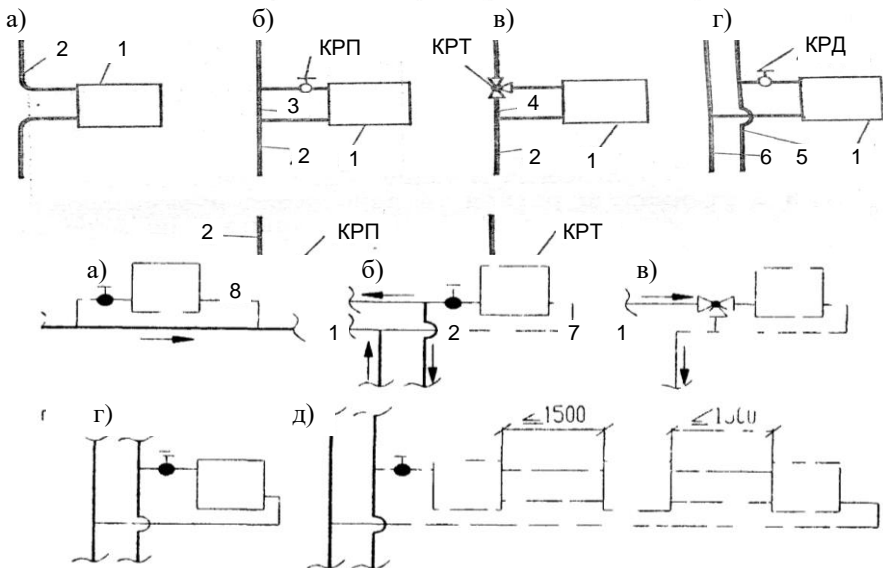


Рисунок 14 – Типы приборных узлов с разносторонним присоединением для систем отопления: *a* – горизонтальной однотрубной; *в* – вертикальной однотрубной; *б, г, д* – двухтрубной

Для приборных узлов с замыкающими участками характерно, что расход теплоносителя в приборах всегда меньше общего расхода теплоносителя в аках, а расход пленное в замы щих участках может асть до ального ере за тия (регулирования) крана КРП.

Приборные узлы третьего типа с трехходовыми регулировочными кранами КРТ и обходными участками (осевыми или смещенными) носят название проточно-регулируемых. Их особенностью является обеспечение полного протекания теплоносителя из стояка в каждый отопительный прибор, как в проточном стояке. Вместе с тем, в процессе эксплуатации можно уменьшить расход теплоносителя в каждом отдельном отопительном приборе, как в узлах с замыкающими участками, перепуская теплоноситель через обходной участок при помощи крана КРТ, или полностью отключить прибор.

В приборных **узлах двухтрубных стояков водяного отопления** каждый отопительный прибор присоединяют отдельно к подающей и обратной трубам. По подающему теплопроводу подводится горячий теплоноситель, по обратному – отводится охлажденный. Для регулировки количества теплоносителя используют краны КРД.

Одностороннее присоединение, чаще используемое на практике, обеспечивает по сравнению с разносторонним меньший расход труб и большие возможности для унификации приборных узлов.

Регулирующую арматуру на подводках к приборам **не устанавливают** в местах, опасных в отношении замерзания воды в трубах и приборах. Ее **не применяют** во вспомогательных и лестничных помещениях заданий, близ ворот и загрузочных проемов, люков и прочих.

Рассмотрим стандартные краны, предназначенные для ручного регулирования теплоотдачи нагревательных приборов в системах водяного отопления зданий при температуре теплоносителя 95 °С и рабочем давлении до 1,0 МПа (10 кгс/см²) (таблица 11) [8].

Таблица 11 – Основные типы регулирующих кранов

Обозначение	Наименование	Рекомендуемая	Назначение
-------------	--------------	---------------	------------

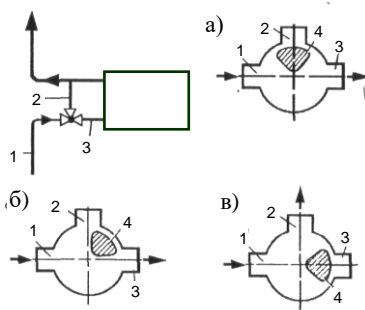
типа		область применения	крана
КРТ	Кран регулирующий трехходовой	Для однетрубных систем отопления	Потребительское регулирование
КРП	Кран регулирующий проходной	То же	То же
КРД	Кран регулирующий двойной регулировки	Для двухтрубных систем отопления	Монтажное и потребительское регулирование

Краны всех типов в зависимости от конструктивного решения регулирующего устройства могут быть шиберными (Ш), вентильными (В), пробковыми (П) и дроссельными (Д).

Краны типов КРП и КРД в зависимости от монтажного положения изготавливаются в универсальном исполнении – пригодными для установки на правой и левой подводках.

Краны типа КРТ могут изготавливаться как в универсальном, так и в одностороннем исполнении – для установки только на правой (п) или только на левой (л) подводке. Регулирование расхода воды в отопительном приборе трехходовым краном рассмотрена на рисунке 15 [22].

Рисунок 15 – Установка трехходового крана на подводке к ОП при однетрубном стояке: *а* – вода из однетрубного стояка полностью протекает в прибор через подводку (заслонка в кране закрывает обходной участок); *б* – вода частично затекает в прибор; *в* – вода обходит прибор (заслонка закрывает подводку), протекает полностью в обходной участок и далее в стояк: 1 – однетрубный стояк; 2 – обходной участок; 3 – подводка; 4 – заслонка



Краны должны изготавливаться в соответствии с техническими требованиями, при этом конструкция регулирующего устройства крана должна обеспечивать плавное изменение теплоотдачи нагревательного прибора; на рукоятках кранов всех типов должны быть нанесены необходимые указатели для потребительского

регулирования; краны должны иметь ограничители крайних положений регулирующего устройства и др.

5.4 Расчет поверхности нагрева отопительных приборов

Определив вид нагревательного прибора, место и вид его установки в помещении, способ присоединения к теплопроводам, производят его теплотехнический расчет. *Задача расчета* заключается в определении площади (размера) внешней нагревательной поверхности прибора, обеспечивающей в расчетных условиях необходимый тепловой поток от теплоносителя в помещение [22, 37, 42, 45, 49].

Нагретая поверхность прибора должна при этом иметь максимальную среднюю температуру воды в приборе, связанную с ее расходом.

По первому варианту рекомендуется такая последовательность выполнения расчетов.

1 Определяется суммарное понижение температуры $\Sigma\Delta t_m$ на участках подающей магистрали от теплового пункта до рассматриваемого стояка, ветви. Ориентировочные значения $\Sigma\Delta t_m$ 1 м изолированной подающей магистрали следующие:

d_y , мм	25–40	50	65–100	125–150
Δt_m , °C/м	0,04	0,03	0,02	0,01

Определяется температура подающей воды на входе в рассматриваемый стояк:

$$t_r = t_{11} - \Delta t_m, \quad (39)$$

где t_{11} – температура теплоносителя, поступающего в систему отопления по магистралям из теплового пункта.

2 Для однетрубного стояка вычисляются расчетные температуры t_x на стояке между узлами отопительных приборов, являющиеся в дальнейшем расчете температурами входа воды в отопительный прибор $t_{вх}$. Вычисления производят по принципу пропорциональности потери температуры на узле отопительного прибора его тепловой нагрузке $Q_{пр}$, рассчитывая «по ходу движения воды» начиная от t_r :

$$t_x = t_{\Gamma} - \frac{(t_{\Gamma} - t_o)(Q_{\text{пр.1}} + Q_{\text{пр.2}} + \dots + Q_{\text{пр.n}})}{\Sigma Q_{\text{ст}}}, \quad (40)$$

где $Q_{\text{пр.1}} + Q_{\text{пр.2}} + \dots + Q_{\text{пр.n}}$ – тепловая нагрузка ОП, расположенных выше точки x , в которой определяется температура воды, Вт;

$\Sigma Q_{\text{ст}}$ – тепловая нагрузка всех ОП, присоединенных к данному стояку, Вт.

По полученным значениям температур определяется плотность воды ρ , кг/м³ (таблица 12).

Следует помнить, что значения тепловой нагрузки отопительного прибора (или сумма тепловых нагрузок отопительных приборов помещения) соответствует расчетной тепловой нагрузке данного помещения $Q_{\text{пом}}$.

Таблица 12– Плотность воды при ее температуре в пределах от 40 до 99 °С

Градусы	40	50	60	70	80	90
0	992,2	988,0	983,2	977,8	971,8	965,3
1	991,8	987,6	982,7	977,2	971,2	964,7
2	991,4	987,1	982,2	976,6	970,5	964,0
3	991,1	986,7	981,6	976,0	969,9	963,3
4	990,6	986,2	981,1	975,5	969,3	962,6
5	990,2	985,7	980,6	974,8	963,6	961,9
6	989,8	985,2	980,0	974,3	968,0	961,2
7	989,4	984,7	979,5	973,7	967,3	960,5
8	988,9	984,2	978,9	973,0	966,7	959,8
9	988,5	983,7	978,4	972,4	966,0	959,0

3 Определяется средняя температура отопительного прибора. При расчете следует учитывать, что в *двухтрубных системах* водяного отопления средняя температура теплоносителя одинаковая во всех нагревательных приборах:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{г}} + t_{\text{о}}). \quad (41)$$

В то же время в *однотрубных системах* водяного отопления средняя температура в нагревательных приборах будет **разной** и определяется расчетным путем:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{вх}} - 0,5\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - 0,43Q_{\text{пр}}/\alpha G_{\text{пр}}, \quad (42)$$

где α – коэффициент затекания воды в отопительный прибор, равный отношению расхода воды в приборе к расходу воды в стояке,
 $\alpha = G_{\text{пр}}/G_{\text{ст}}$;

$G_{\text{пр}}$ – фактический расход воды в приборе, кг/ч,

$$G_{\text{пр}} = \frac{0,86Q_{\text{пр}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{о}}}. \quad (43)$$

4 Для отопительного прибора определяется средняя расчетная разность температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}, \quad (44)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении, °С.

5 Вычисляется тепловой поток $Q_{\text{тр}}$ от трубопроводов, открыто проложенных в рассматриваемом помещении:

$$Q_{\text{тр}} = \Sigma(q_{\text{в}}l_{\text{в}}) + \Sigma(q_{\text{г}}l_{\text{г}}), \quad (45)$$

где $q_{\text{в}}$, $q_{\text{г}}$ – теплоотдача 1 м длины соответственно вертикального и горизонтального неизолированного теплопровода, Вт/м;

$l_{\text{в}}$, $l_{\text{г}}$ – длина соответственно вертикального и горизонтального неизолированного теплопровода, м.

(Количество тепла, выделяемого подводящим трубопроводом длиной 1 м в зависимости от диаметра трубы (d) при расчетной нагрузке отопления, следующее: при $d = 38$ мм – 125 Вт, $d = 32$ мм – 110 Вт, $d = 25$ мм – 88 Вт. Соответственно теплотери отводящих трубопроводов длиной 1 м составляют: при $d = 25$ мм – 80 Вт, $d = 32$ мм – 84 Вт, $d = 38$ мм – 86 Вт.)

6 Расчетный требуемый тепловой поток отопительного прибора

$$Q_{\text{пр.1}} = (Q_{\text{пом}} - 0,9Q_{\text{тр}}). \quad (46)$$

7 Номинальный требуемый тепловой поток, Вт, отопительного прибора

$$Q_{\text{пр.ном}} = Q_{\text{пр.1}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p, \quad (47)$$

где 70 – температурный напор при стандартных условиях;

n , p – экспериментальные показатели, согласно таблице 13.

360 – расход воды в приборе (стандартный), кг/ч.

Таблица 13 – Значения эмпирических показателей

Тип прибора	Схема присоединения прибора	Расход теплоносителя, кг/ч	n	p
Чугунные и алюминиевые радиаторы Стальной панельный радиатор	Сверху-вниз	До 50 Более 50	0,3	0,02 0,00
	Снизу-вниз	До 100 Более 100	0,15	0,08 0,00
	Снизу-вверх	До 60 Более 60	0,25	0,12 0,04
Конвектор настенный с кожухом	Любая	До 90 Более 90	0,3	0,18 0,07
Конвектор	Любая	–	0,2	0,3

настенный без кожуха				
----------------------	--	--	--	--

Окончание таблицы 13

Тип прибора	Схема присоединения прибора	Расход теплоносителя, кг/ч	n	p
Труба отопительная чугунная	–	–	0,25	0,07
Приборы из гладких труб	–	–	0,25	0,00

8 По требуемой величине $Q_{\text{пр.ном}}$ подбирается по каталогам производителей отопительный прибор, номинальный тепловой поток которого $Q_{\text{ном}}$ может быть меньше требуемого не более чем на 5 % или на 60 Вт.

Для секционных отопительных приборов требуется минимальное число секций

$$N = Q_{\text{пр.ном}} / Q_{\text{ном}}, \quad (48)$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальный тепловой поток одной секции радиатора, принимаемый по каталогу производителя, Вт/секц.

По второму варианту подбор отопительных приборов (их число и тип) производят на основе подсчета теплотерь помещений дома в окружающую среду. Поскольку площадь теплоотдающей поверхности зависит от принятого вида прибора, его расположения в помещении и схемы присоединения к трубам (т.е. ряда дополнительных факторов), то определять требуемую площадь следует по формуле

$$F_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{k(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}})} \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4, \quad (49)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – потери тепла помещениями при расчетной максимальной нагрузке, Вт;

k – коэффициент теплопередачи от прибора к окружающему воздуху, Вт/(м²·°С);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно: охлаждение воды в подводящих стояках, способ установки прибора (от 0,9 до 1,3), способ подводки

воды (от 0,5 до 1,8) и число секций в приборе (от 1,035 до 0,96).

После определения расчётной площади нагревательной поверхности прибора проектировщики обычно по каталогу подбирают ближайший торговый его размер (число секций или марка панельного радиатора, длина конвектора, ребристой или гладкой трубы).

Расчетное число секций редко получается целым, поэтому его необходимо округлять в большую сторону до целого. В группировке прибора принимают к установке ближайшее большее число секций. Расчет отопительных приборов сводится в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Наименование помещения	Теплопостери	Средняя температура теплоносителя	Температура помещения	Тип нагревательного прибора	Коэффициент теплопередачи	Поверхность нагрева	Количество секций	Группировка секций в ОП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

С точки зрения потребителя радиатор водяного отопления имеет две важные характеристики – тепловую мощность и рабочее давление. Таким образом, для правильного выбора радиатора следует знать мощность, требуемую для обогрева помещения и давление теплоносителя. Для определения нужной мощности следует умножить площадь помещения (в м²) на 100 Вт. Если окна оборудованы хорошими стеклопакетами, то искомую величину можно взять с коэффициентом 0,8, а если помещение угловое – используют коэффициент 1,4. Рабочее давление в тепловой сети узнают в котельной или у сантехнического персонала, обслуживающего наружные сети.

5.5 Регулирование теплопередачи отопительных приборов

Теплопотребности помещений определяют площадь отопительных приборов, которая является постоянной характеристикой для каждого

установленного прибора. Однако в течение отопительного сезона изменяется температура наружного воздуха, на ограждающие конструкции воздействует ветер и солнечная радиация, тепловыделения в помещениях неравномерны. Поэтому для поддержания теплового режима помещений на заданном уровне необходимо в процессе эксплуатации регулировать теплопередачу отопительных приборов.

Эксплуатационное регулирование теплового потока отопительных приборов может быть *качественным и количественным*.

Качественное регулирование достигается изменением температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления. Такое регулирование по месту осуществления может быть *центральным*, проводимым на тепловой станции, и *местным*, выполняемым в тепловом пункте здания. В жилищном строительстве проводят также *групповое* регулирование в ЦТП.

Количественное регулирование теплопередачи отопительных приборов осуществляется изменением количества теплоносителя, подаваемого в систему или прибор. По месту проведения оно может быть не только *центральным и местным*, но и *индивидуальным*,

т. е. выполняемым у каждого прибора.

Эксплуатационное регулирование теплопередачи приборов может быть автоматизировано. Местное автоматическое регулирование в тепловом пункте здания обычно проводят, ориентируясь на изменение температуры наружного воздуха (этот способ регулирования называют «*по возмущению*»).

Индивидуальное автоматическое регулирование теплопередачи прибора происходит при отклонении температуры воздуха в помещении от заданного уровня (регулирование «*по отклонению*»).

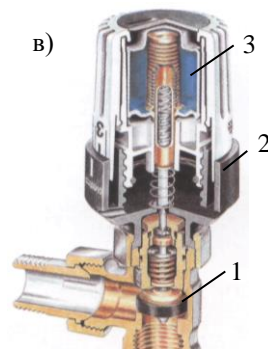
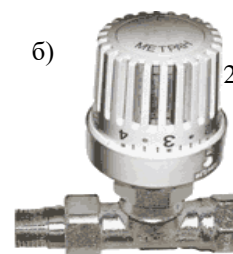
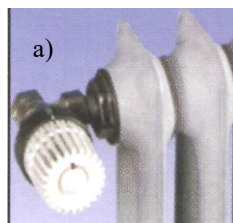


Рисунок 16 –
Установка термостата
на
радиатор (а), общий
вид (б) и конструкция

В последние годы для регулирования расхода горячей воды (теплоносителя), проходящей через прибор отопления применяются индивидуальные **термоклапаны** или **терморегуляторы (термостаты)** – устройства, обеспечивающие автоматическое изменение расхода теплоносителя через прибор [41].

Конструктивно термостат (рисунок 16) состоит из двух частей: клапана терморегулятора 1 и термостатической головки 2. Первоначально (как правило, на подающий трубопровод к прибору) устанавливают клапан терморегулятора. На клапан устанавливается термостатическая головка, в состав которой входит специальный газонаполненный сильфон 3. Газ в сильфоне принимает давление, пропорциональное температуре окружающего воздуха. При повышении температуры воздуха давление газа увеличивается, гофры сильфона разжимаются и способствуют закрытию проходного сечения для прохода горячей воды в корпусе клапана. При снижении температуры воздуха в помещении ниже настроенного значения давление газа в сильфоне снижается, гофры его сжимаются, что ведёт к открытию проходного сечения в клапане. По данным производителей применение терморегуляторов в системах отопления благодаря автоматическому регулированию позволяет сокращать расход тепла до 20 % [34].

Для предотвращения воздействия на работу терморегулятора восходящего от трубопровода тепла, рекомендуется монтировать клапан таким образом, чтобы термостатическая головка находилась в горизонтальной плоскости. Кроме этого можно использовать терморегуляторы с **выносным датчиком температуры** (в случае, если отопительный прибор с терморегулятором расположен в нише, закрыт экраном или шторами).

Термоклапаны выпускаются с пониженным (для однетрубных систем отопления) и повышенным (для двухтрубных систем) гидравлическим сопротивлением.

Для ручного регулирования теплопередачи приборов служат **краны и вентили** [10]. Конструкцию регулирующего крана выбирают в зависимости от вида системы водяного отопления. В двухтрубных системах применяют краны индивидуального регулирования, отвечающие двум требованиям: они имеют повышенное гидравлическое сопротивление и допускают проведение монтажно-наладочного (первичного) и эксплуатационного (вторичного)

количественного регулирования. Эти краны называют кранами "двойной регулировки".

В однетрубных системах используют краны, обладающие незначительным сопротивлением и являются кранами только эксплуатационного (вторичного) регулирования.

Для индивидуального ручного регулирования теплопередачи приборов применяют также воздушные клапаны в кожухе конвекторов. Клапаном регулируется количество воздуха, циркулирующего через нагреватель конвектора. Достоинством этого способа регулирования, так называемого регулирования "по воздуху", является сохранение постоянного расхода теплоносителя в отопительных приборах.

Ручное регулирование эффективно в том случае, когда доля отключаемой нагревательной поверхности составляет не менее 0,5.

6 СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

6.1 Теплопроводы системы отопления: размещение и прокладка в здании

Теплопроводы – это трубы систем водяного отопления, предназначенные для подачи в приборы и отвода из них необходимого количества теплоносителя. Теплопроводы вертикальных систем отопления подразделяют на *магистралы, стояки и подводки*.

Размещение **магистралы** – соединительной трубы между местным тепловым пунктом и стояками – зависит от назначения и ширины здания, вида принятой системы отопления.

В гражданских зданиях шириной до 9 м магистралы можно прокладывать вдоль их продольной оси, что не вызывает перерасхода труб при соединении ее с каждым стояком.

В гражданских зданиях шириной более 9 м рационально использовать две разводящие магистралы – вдоль каждой фасадной стены. При этом сокращается не только протяженность труб, но и становится возможным эксплуатационное регулирование теплоотдачи отдельно для каждой стороны здания – пофасадное регулирование.

При размещении магистралей требуется обеспечивать свободный доступ к ним для осмотра, ремонта и замены в процессе эксплуатации систем отопления, а также компенсации температурных удлинений.

Магистралы систем отопления гражданских зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий размещают, как правило, на чердачных и в технических помещениях [22, 29].

В зависимости от места прокладки магистралей различают системы с верхней разводкой, когда подающая магистраль Т1 расположена выше отопительных приборов; с нижней разводкой, когда подающая Т1 и обратная Т2 магистралы расположены ниже приборов. При водяном отоплении бывают еще системы с "опрокинутой" циркуляцией воды, когда подающая магистраль Т1 находится ниже, а обратная Т2 – выше приборов.

Движение теплоносителя в подающих (разводящих) и обратных (сборных) магистралах может совпадать по направлению или быть встречным. В зависимости от этого системы отопления называются с

тупиковым (встречным) и попутным движением воды в магистралях (рисунок 17).

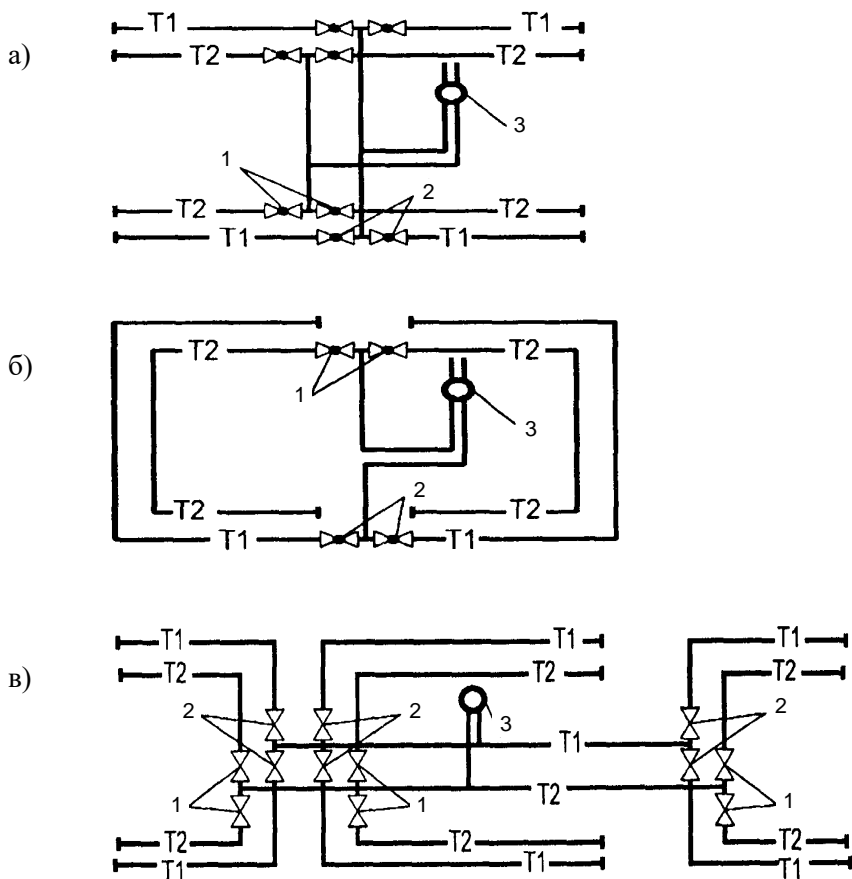


Рисунок 17 – Размещение магистралей при нижней разводке:

а – тупиковой; *б* – с попутным движением теплоносителей;

в – посекционной тупиковой: 1, 2 – задвижка (кран, вентиль) на обратной и подающей магистралях; 3 – тепловой пункт

На чердачных помещениях магистрали прокладывают на расстоянии 1–1,5 м от наружных стен для удобства монтажа и

ремонта, а также для обеспечения при изгибе стояков естественной компенсации их удлинения.

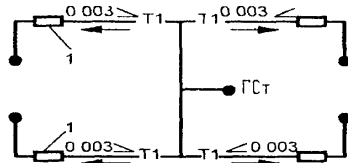
В подвальных помещениях, технических этажах и подпольях, а также в рабочих помещениях для экономии места магистрали укрепляют на стенах или на специальных скобах под потолками.

В системах водяного отопления уклон магистральных теплопроводов необходим для отвода в процессе эксплуатации скоплений воздуха (в верхней части систем), а также для самотечного спуска воды из труб (в нижней их части). Уклоны предусматривают *по ходу движения* теплоносителя при верхней разводке и *против хода* в системах с нижней разводкой магистралей (рисунок 18).

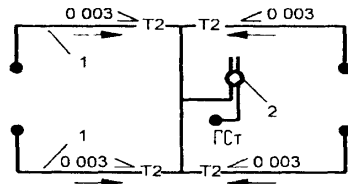
Нижние магистрали всегда прокладывают с уклоном в сторону теплового пункта здания. При этом если магистралей две (подающая и обратная), то рационально для удобства крепления при монтаже придавать им уклон в одном и том же направлении.

Тупиковая схема движения теплоносителей в системе водяного отопления

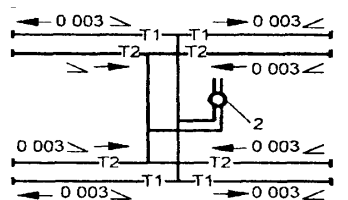
а) подающая магистраль при верхней разводке (на чердаке)



б) обратная магистраль при верхней разводке (в подвале)



в) нижняя разводка с расположением магистралей в подвале



г) нижняя разводка посекционная с расположением магистралей в подвале

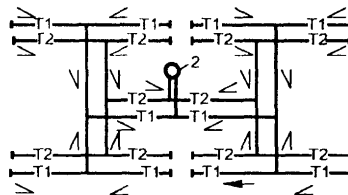


Рисунок 18 – Направление движения теплоносителя и уклон магистралей в системах водяного отопления

Рекомендуемый нормальный уклон водяных магистралей в насосных системах 0,003 (отклонение от горизонтали на 3 мм на 1 м длины труб), хотя в необходимом случае уклон может быть уменьшен до 0,002. В системе водяного отопления с естественной циркуляцией уклон увеличивают до 0,005–0,01.

Размещение **стояков** – соединительных труб между магистралями и подводками – зависит от положения магистралей и размещения подводов к отопительным приборам (рисунок 19). Обязательным является обособление стояков для отопления лестничных клеток, а также расположение стояков в наружных углах помещений.

Конструкция стояков должна способствовать унификации деталей для индустриализации процесса заготовки и уменьшения трудоемкости монтажа системы отопления.

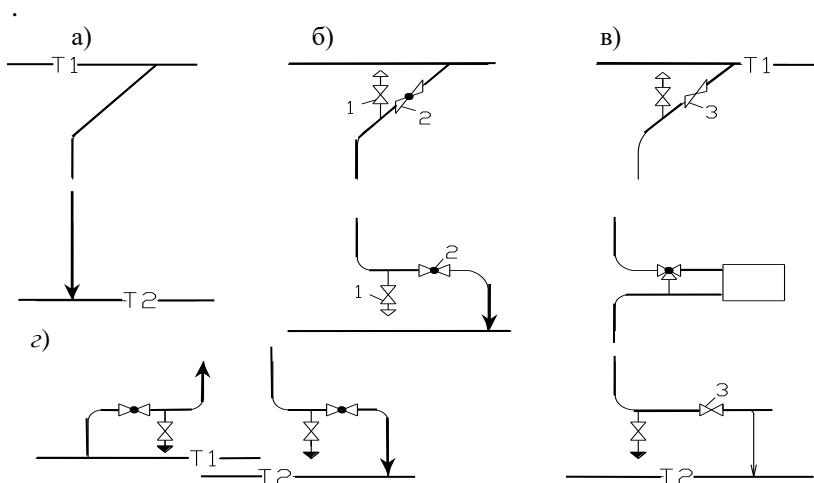


Рисунок 19 – Схемы присоединения стояков к магистралям СВО с верхней разводкой двух-трехэтажных (а), четырех-семиэтажных при верхней разводке (б) и нижней разводке (с), восьмиэтажных и более высоких зданий (д): 1 – спускной кран (внизу со штуцером); 2 – запорный кран; 3 – запорный вентиль

Теплопроводы горизонтальных систем, кроме того, имеют еще и горизонтальные ветви.

Прокладка труб в помещениях может быть *открытой и скрытой*. В основном применяют открытую прокладку как более простую и дешевую. Поверхность труб нагрета и теплоотдачу труб принимают в расчет при определении площади отопительных приборов.

По технологическим, гигиеническим или архитектурно-планировочным требованиям прокладка труб может быть скрытой: магистрали переносят в технические помещения (подвальные, чердачные и др.), стояки и подводки к отопительным приборам размещают в специально предусмотренных шахтах и бороздах (штробах) в строительных конструкциях или встраивают (замоноличивают).

При прокладке теплопроводов учитывают предстоящее изменение длины труб в процессе эксплуатации системы отопления. Эксплуатация проходит при изменяющейся температуре теплоносителя (выше 35 °С) и трубы удлиняются по сравнению с монтажной их длиной в большей или меньшей степени.

Температурное удлинение нагреваемой трубы – приращение ее длины Δl , м, определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha (t_{\text{т}} - t_{\text{н}}) l, \quad (50)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала трубы;

$t_{\text{т}}$ – температура теплопровода, близкая к температуре теплоносителя;

$t_{\text{н}}$ – температура окружающего воздуха в период производства монтажных работ;

l – длина теплопровода.

Таким образом, при размещении теплопроводов, особенно при перемещении по ним высокотемпературного теплоносителя, необходимо предусматривать компенсацию усилий, возникающих при удлинении подводов, стояков и магистралей за счет, например, П-образных компенсаторов, специальных изгибов подводов к приборам.

Размещение **подводки** – соединительной трубы между стояком или горизонтальной ветвью и прибором – зависит от вида отопительного прибора и положения труб в системе отопления.

Для унификации деталей подводов и стояков, как известно, используют односторонние горизонтальные подводки постоянной длины (например, 500 мм) независимо от ширины простенка в здании. При этом стояк однотрубной системы размещают на расстоянии 150 мм

от откоса оконного проема, а не по оси простенка как при двусторонних подводках.

Стояки, как и отопительные приборы, располагают преимущественно у наружных стен – открыто (на расстоянии 35 мм от поверхности стен до оси труб $D_y \leq 32$ мм) либо скрыто в бороздах стен или массиве стен и перегородок.

Двухтрубные стояки размещают на расстоянии 80 мм между осями труб, причем подающие стояки располагают справа (при взгляде из помещения). В местах пересечения стояков и подводок огибающие скобы устраивают на стояках (а не на подводках), причем изгиб обращают в сторону помещения.

Горизонтальные однотрубные ветви – распределительные поэтажные трубы систем водяного отопления, промежуточные между стояками и подводками, – размещают под отопительными приборами у пола на таком же расстоянии от поверхности стен, как и стояки, и без уклона, если обеспечена скорость движения воды в них более 0,25 м/с. Возможна также прокладка горизонтальных поэтажных ветвей под окнами выше отопительных приборов.

При монтаже стояков необходимо соблюдать следующие правила:

- стояки прокладываются строго по отвесу;
- в двухтрубной системе подающий стояк располагают с правой стороны (если смотреть на стену), а обратный – с левой стороны;
- необходимо выдерживать следующие расстояния между осями стояков и стеной: 35 мм при диаметре стояков до 32 мм (1¼ дюйма) включительно и 50 мм при диаметре стояков 40 и 50 (1½ и 2 дюйма), допуск +5 мм;
- расстояние между осями проходящих рядом подающих и обратных стояков должно быть 80 мм при диаметре труб стояков до 1¼ дюйма;
- при больших диаметрах указанное расстояние принимается из условий удобства ведения монтажа;
- стояки прикрепляют к стенам хомутами на высоте 1,5–1,8 м от пола;
- на каждый этаж должна приходиться одна точка крепления.

6.2 Размещение запорно-регулирующей арматуры

Ручную запорно-регулирующую арматуру систем центрального отопления подразделяют на муфтовую (с внутренней резьбой на

концах для соединения с трубами для $d_y \leq 40$) и фланцевую (с фланцами на концах при $d_y \geq 50$).

В качестве запорно-регулирующих устройств при теплоносителе – горячей воде с $t < 100$ °С применяют пробочные, трехходовые и другие краны, дроссель-клапаны, вентили (с прямой и косой осью), а также (при $d_y \geq 50$) задвижки, при перегретой воде и паре – только вентили.

Регулирование расхода теплоносителя через приборы производят обычно по принципу **двойного регулирования**: *пускового* – монтажного (слесарем) и *потребительского* – эксплуатационного (населением).

Арматура на стояках предназначена для полного отключения отдельных стояков, если требуется проводить ремонтные и другие работы во время отопительного сезона. В качестве арматуры используются запорные краны (пробочные или шаровые). При этом следует учитывать, что быстрое закрытие их при больших давлениях и расходах жидкости может вызвать резкое повышение давления в сети – гидравлический удар, приводящий к разрушению трубопроводов, арматуры, приборов и др. Арматуру на стояках малоэтажных зданий (1–3 этажа) устанавливать нецелесообразно. Здесь проще предусмотреть возможность отключения арматурой сравнительно небольшой части системы отопления (например, вдоль одного фасада здания).

На стояках лестничных клеток арматуру применяют независимо от числа этажей. В то же время регулировочные краны не устанавливают у приборов, размещаемых в лестничных клетках и в других местах, где вода может промерзнуть. Не допускается установка запорно-регулирующей арматуры на «цепках» приборов.

В многоэтажных зданиях на стояках систем отопления устанавливают запорные проходные (пробочные) краны и вентили.

При водяном отоплении для спуска воды из одного стояка (ветви) размещают спускные краны (внизу стояков со штуцером для присоединения гибкого шланга) (см. рисунок 19).

Арматура в тепловом пункте здания предназначена для регулирования и отключения отдельных систем отопления, а также отопительного оборудования.

Задвижки размещают на главных подающих и обратных магистралях, до и после (по движению теплоносителя) теплообменников, водоструйных элеваторов, циркуляционных и смесительных насосов и других аппаратов, а также на обводных линиях.

6.3 Расширительный бак в системе отопления

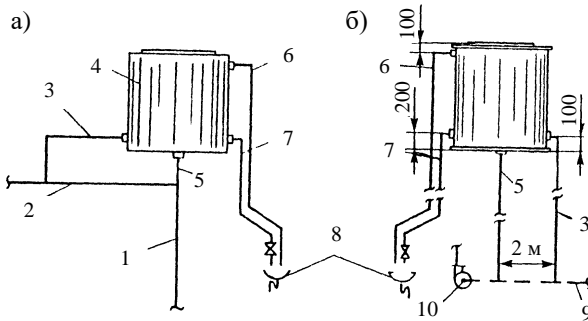
Расширительные баки служат:

– для компенсации температурного увеличения объема воды в системе при ее нагревании, а в насосных системах – и для автоматического включения подпиточного насоса в центральном тепловом пункте;

– удаления из системы в атмосферу воздушных скоплений;

– контроля за уровнем воды в системе (так исключается переполнение системы или, наоборот, незаполненность циркуляционных колец, разрыв в них водяной струи).

Расширительный бак обязателен для каждой местной системы отопления с гравитационной (рисунок 20, а) и насосной циркуляцией (см. рисунок 20, б). Исключение составляют системы, получающие воду непосредственно из наружных тепловых сетей [22].



1 – главный стояк; 2 – верхняя магистраль; 3 – циркуляционная труба; 4 – расширительный бак; 5 – расширительная труба; 6 – переливная труба; 7 – сигнальная труба; 8 – раковина; 9 – обратная магистраль охлажденной воды; 10 – циркуляционный насос

Рисунок 20 – Схема присоединения расширительного бака:

а – для систем с естественной циркуляцией; б – то же насосной циркуляцией

Открытый расширительный бак размещают над верхней точкой системы (на расстоянии не менее 1 м) в чердачном помещении или в лестничной клетке и покрывают тепловой изоляцией. Иногда (например, при отсутствии чердака) устанавливают неизолированный бак в специальном утепленном боксе (будке) на крыше здания.

По классической схеме, расширительный бак представляет собой емкость с "воздушной" трубой для удаления выделяющегося воздуха,

переливной трубы для слива лишней воды в канализацию, *"сигнальной" трубой* для проверки наличия воды в сосуде и, следовательно, в системе отопления, *расширительной трубой* (обычно это главный стояк), *дренажной трубой* и с *циркуляционной трубой*, связанной с обратной магистралью для создания циркуляции в емкости во избежании замерзания воды в ней.

В современных системах автоматизация расширительных баков с помощью реле уровня позволяют отказаться от этих труб.

Объем расширительного сосуда

$$V = \alpha \Delta t V_c, \quad (51)$$

где α – коэффициент объемного расширения воды, $\alpha = 0,0006$;

Δt – диапазон изменения температуры, °С;

V_c – емкость системы отопления, л.

Расширительный бак при гравитационной циркуляции присоединяют непосредственно к главному стояку; уклон магистралей

$i = 0,005$ мм/м по течению воды. В случаях небольших (менее 0,15 м/с) скоростей воды в магистралях воздушные скопления могут всплывать к баку даже навстречу движению воды.

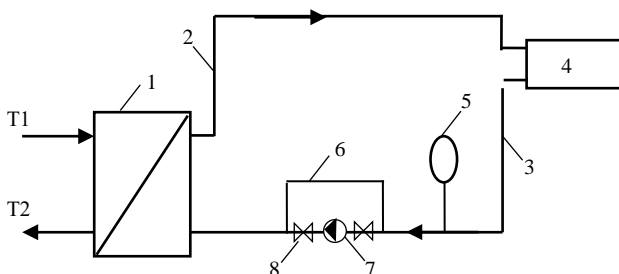
В последние годы появились мембранные расширительные баки закрытого типа, которые лишены таких недостатков расширительных баков открытого типа как опасность перелива воды в нижерасположенные помещения и попадание атмосферного воздуха в систему отопления. Современная конструкция *закрытого расширительного бака* (рисунок 21) представляет собой стальной цилиндрический сосуд, разделённый на две части резиновой мембраной. Одна часть 1 предназначена для воды системы, вторая 2 заполнена в заводских условиях инертным газом (обычно азотом) под давлением. Бак может быть установлен непосредственно на пол котельной или теплового пункта, а также закреплён на стене (например, при стеснённых условиях в помещении).

На рисунке 22 приведена современная схема отопления с верхней разводкой и закрытым расширительным



Рисунок 21 – Закрытый расширительный бак

баком, установленным на обратном теплопроводе системы отопления.



1 – пластинчатый водо-водяной теплообменник; 2, 3 – подающий и обратный теплопроводы; 4 – отопительный прибор; 5 – герметичный мембранный расширительный бак; 6 – обводной трубопровод; 7 – циркуляционный насос; 8 – запорный кран

Рисунок 22 – Схема отопления с закрытым расширительным баком

В крупных теплопотребляющих системах группы зданий расширительные баки не устанавливаются, а гидравлическое давление регулируется при помощи постоянно действующих подпиточных насосов. Эти насосы также возмещают обычно имеющие место потери воды через неплотные соединения труб, в арматуре, приборах и других местах систем [48].

Помимо рассмотренного выше оборудования в котельной или тепловом пункте размещаются устройства автоматического регулирования, запорно-регулирующая арматура и контрольно-измерительные приборы, с помощью которых обеспечивается текущая эксплуатация системы теплоснабжения [47].

6.4 Удаление воздуха из системы отопления

В системах центрального водяного отопления скопления воздуха (точнее газов) нарушают циркуляцию теплоносителя и вызывают шум и коррозию металла. Воздух в системы отопления попадает различными путями: частично остается в свободном состоянии при заполнении их теплоносителем; подсасывается в процессе эксплуатации неправильно сконструированной системы и др. Скопившийся воздух в теплопроводах может образовывать "пробку" до нескольких метров, что нарушает циркуляцию теплоносителя. Поэтому есть настоятельная необходимость для удаления свободного воздуха из систем отопления.

Растворенный воздух имеет около 33 % кислорода. Поэтому "водяной" воздух более опасен в коррозионном отношении для стальных труб, чем атмосферный, в котором содержится около 21 % кислорода (по объему).

Форма газовых скоплений в воде в свободном состоянии различна. Лишь пузырьки с диаметром сечения не более 1 мм имеют форму шара. С увеличением объема пузырьки сплющиваются, принимая эллипсоидную и грибовидную формы.

Свободные пузырьки и скопления газов движутся по течению или против него в зависимости от скорости потока воды и уклона труб. Газы собираются в высших точках системы, а при высокой скорости движения захватываются потоком и по мере понижения температуры и повышения гидростатического давления в нижних частях системы вновь абсорбируются водой [22].

Поэтому **в системах с верхней разводкой** необходимо обеспечить движение свободных газов к точкам их сбора, в которых скорость движения воды должна быть не менее 0,1 м/с. Точки сбора газов

(и удаления их в атмосферу) следует назначать в наиболее высокорасположенных местах систем. Конкретно магистралям придают определенный уклон не менее 0,002 в желательном направлении и устанавливают проточные воздухоборники – вертикальные или горизонтальные с ручным или автоматическим удалением газов в атмосферу.

Удаление воздуха из систем отопления следует предусматривать в верхних точках трубопроводов, в том числе у отопительных приборов, через проточные воздухоборники или воздухоотводчики. Применение непроточных воздухоборников допустимо при скорости движения воды в трубопроводе менее 0,1 м/с.

В системах с "опрокинутой" циркуляцией воды и верхним расположением обратной магистрали, в гравитационной системе с верхней разводкой для отделения и удаления газов используют расширительные баки с открытой переливной трубой.

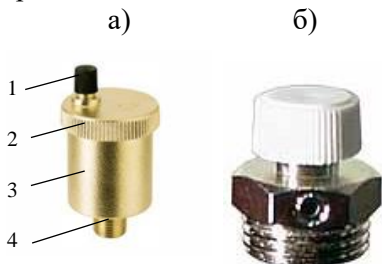
В системах отопления с нижней разводкой обеих магистралей газы концентрируются в основном в колончатых радиаторах, установленных на верхнем этаже. В этом случае, газы удаляют в

атмосферу периодически при помощи ручных и автоматических кранов или централизованно через специальные воздушные трубы.

Воздухоотводчик – это устройство для удаления воздуха, скапливающегося в системах водяного отопления. Различают воздухоотводчик ручного и автоматического действия (рисунок 23).

Воздухоотводчик ручного действия представляет собой кран для периодического выпуска воздуха, иногда устанавливаемый вместе с бачком (ёмкостью), где накапливается воздух перед выпуском.

Воздухоотводчик автоматического действия выпускает воздух по мере его появления с помощью поплавков, открывающих выпускные отверстия при понижении уровня жидкости в приборе, и должны устанавливаться в верхней точке отопительной системы в вертикальном положении.



1 – заглушка с воздуховыпускным отверстием; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – штуцер с резьбой диаметром $\frac{3}{8}$ '' для присоединения к системе отопления

Рисунок 23 – Автоматический воздухоотводчик (а) и кран Маевского (б)

6.5 Материал теплопроводов

В настоящее время для пропуска теплоносителя наиболее часто применяются трубы **металлические** (стальные, медные и др.) и **неметаллические** (пластмассовые и др.).

Соединение теплопроводов между собой, с отопительными приборами и арматурой может быть **неразборным** (сварным и резьбовым) и **разборным** (резьбовым и болтовым), предусматривающим ремонт отдельных частей).

Резьбовое разборное соединение предусматривается в основном у отопительных приборов и арматуры для их демонтажа в случае необходимости. Фланцевая арматура крупного размера и чугунные ребристые трубы соединяются болтами с контрфланцами, привариваемыми к концам стальных труб.

Чаще всего в системах отопления используют **неоцинкованные (черные) стальные сварные водогазопроводные трубы** (ГОСТ 3262-75*) – обыкновенные, усиленные и легкие (в зависимости от толщины стенки). Размер водогазопроводной трубы соответствует условному проходу и обозначается d_y . Водогазопроводная труба с $d_y = 20$ мм имеет наружный диаметр 26,8 мм. Ее внутренний диаметр в зависимости от толщины стенки составляет от 20,4 до 21,8 мм.

Стальные электросварные трубы (ГОСТ 10704-76*) выпускают со стенками различной толщины. Поэтому в обозначении труб указывают, как правило, наружный диаметр и толщину (например, выбрали трубу 70х3 мм, это означает, что она имеет наружный диаметр 70 мм, толщину стенки 3 мм и, следовательно, внутренний диаметр 64 мм).

Стальные трубы, применяемые в системах центрального отопления, выдерживают, как правило, большее гидростатическое давление (не менее 1 МПа), чем отопительные приборы и арматура.

Трубы из "нержавейки" являются самыми долговечными (срок службы свыше 100 лет) и прочными из всех современных труб. Современные технологии предусматривают соединение труб из "нержавейки" без использования сварки, что исключает нарушения структуры металла, приводящие к сокращению срока службы труб, а также обеспечивает пожаробезопасность работ. "Черные" трубы сейчас активно вытесняются современными материалами. Основная сфера применения этих труб – объекты, строящиеся с целью максимальной минимизации затрат.

В последние годы все чаще используются трубы, изготовленные из медных сплавов. **Медные трубы** (рисунок 24, в) отличаются значительной коррозионной стойкостью и долговечностью. В некоторых городах Европы до сих пор успешно действуют системы отопления на медных трубах, смонтированных на рубеже XIX и XX веков. Их соединение в процессе монтажа осуществляется методом пайки или сварки. Нарушения герметичности проявляются при таких соединениях, как правило, сразу, а не по окончании гарантийного срока.

Трубы выпускаются в виде прямых отрезков (штанги по 5 м) или, учитывая, что медь более мягкий материал, чем сталь, в бухтах по 50 м. При качественных трубах и профессиональном монтаже

разрушающее воздействие электрохимических и окислительных процессов сводится практически к нулю. Использование мягкой меди позволяет значительно снизить стоимость системы отопления и сократить сроки монтажа за счет уменьшения количества соединительных элементов (фитингов), а также дает возможность различной компоновки и эстетического оформления монтируемой системы отопления.

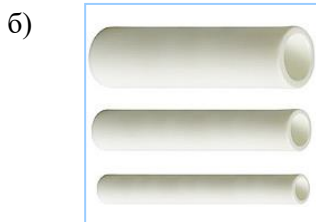
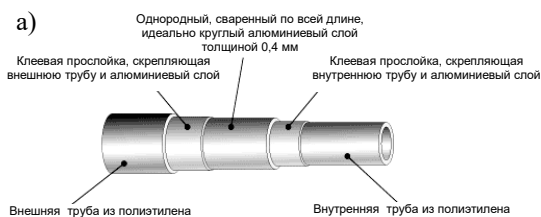
Все большее распространение для монтажа отопительных систем получают трубы из **полимерных** материалов (**пластиковые или пластмассовые**) [5, 6]. Эти трубы также имеют высокую коррозионную стойкость и длительный срок службы (до 50 лет) с сохранением, в отличие от стальных труб, их первоначальных свойств. Полимерные трубы отличаются лёгкостью (в 6–7 раз легче стальных), высокими шумопоглощающими свойствами и пластичностью, что важно, например, для сохранения их прочностных свойств при возможном замерзании транспортируемой по ним воды. Трубы поставляются на строительный объект в бухтах и за счёт этого их монтаж в значительной мере облегчён. Монтажное соединение труб осуществляется с помощью специального инструмента с использованием самых разнообразных технологий: механический обжим, пайка, сварка, клейка. Однако многолетняя практика использования полимерных труб в системах отопления выявила их существенный недостаток – высокую проницаемость (диффундирование) атмосферного воздуха через их стенки и насыщение теплоносителя кислородом. Этому недостатку лишены **металлополимерные** (металлопластиковые) трубы.

Металлопластиковые трубы (рисунок 24, а, з) фактически представляют собой дальнейшее развитие полипропиленовых труб с улучшением некоторых их характеристик. В их стенки добавляется защитный слой в виде тонкой, как правило, алюминиевой фольги. В системах отопления пластиковые трубы применяются только в случае их скрытой в строительной конструкции (стене, перекрытии) прокладки.

Линейное расширение металлопластиковых труб в большинстве случаев заметно меньше, чем у полипропиленовых труб. Кроме того, при соединении металлопластиковых труб при помощи пресс-фитингов нарушить технологию непросто, так как обжим

выполняется автоматической машинкой. Срок службы металлопластиковых труб многими фирмами-производителями устанавливается на срок 50 лет.

Полипропиленовые трубы (рисунок 24, б) различных видов достаточно долговечны, удобны в монтаже, однако для систем отопления практически не применяются. Недостатком является их высокое линейное расширение при нагревании (удлинение трубы), а также большая толщина стенки трубы, что приводит к увеличению наружного диаметра и, тем самым, ухудшает возможности по маскировке труб.



в)



г)



Рисунок 24 – Примеры труб из различных материалов:

а – конструкция металлопластиковой; *б* – полипропиленовые; *в* – медные; *г* – схема подсоединения металлопластиковых труб к отопительному прибору

Итак, обзор современной литературы показывает, что трубы из различных материалов соединяются между собой и с соединительными частями (тройниками, угольниками, крестовинами и т. п.), значительно отличающимися друг от друга способами (к примеру, стальные трубы соединяются на резьбе, а также свариваются газовой либо электросваркой; медные трубы собираются на

капиллярной пайке и на компрессионных соединениях; металлополимерные трубы стыкуются посредством опрессовки; полипропиленовые трубы — на раструбной сварке; трубы из непластифицированного поливинилхлорида склеиваются в раструб либо на муфтах; для труб из сшитого полиэтилена предусматриваются компрессионные соединения.

Для качественного и производительного выполнения всех указанных соединений требуется не только специальный для каждого трубного материала инструмент, но и специальные знания и навыки.

6.6 Классификация и основные схемы систем водяного отопления

Наиболее часто для отопления жилых зданий применяются водяные системы отопления, которые различаются **по ряду признаков:**

а) схеме расположения стояков:

- двухтрубные вертикальные и горизонтальные;
- однокотурбные вертикальные и горизонтальные;
- однокотурбные П и Т образные;
- лучевые однокотурбные и двухтрубные;

б) источнику:

– центральные системы, присоединяемые к тепловым сетям от внешних питающих источников и от индивидуальных автономных источников теплоснабжения, в том числе от крышных котельных,

- квартирные системы (теплогенератор на одну квартиру);

в) расположению магистралей:

– с верхней разводкой подающей магистрали и нижней разводкой обратной магистрали;

- с нижней разводкой подающей и обратной магистралей;

– опрокинутая система (нижняя разводка подающей и верхняя прокладка обратной магистралей);

г) направлению движения воды в подающих и обратных магистралях:

- тупиковые системы;
- системы с попутным движением воды;

д) побуждению циркуляции воды в системе:

– гравитационные системы (естественная циркуляция воды);

– системы с искусственной циркуляцией (насос или водоструйный элеватор);

е) схеме регулирования теплоотдачи нагревательных приборов:

- с индивидуальным регулированием по воде;
- индивидуальным регулированием по воздуху;
- автоматическим регулированием.

При классических схемах разводок отопительные приборы могут присоединяться к стояку справа и слева (двустороннее присоединение) или только с какой-либо одной стороны. Одностороннему присоединению отопительных приборов следует

отдавать предпочтение, так как эти стояки более удобны в изготовлении и проще в монтаже.

Если используется схема однотрубной горизонтальной системы отопления, то горячая вода в таких системах поступает в отопительные приборы одного и того же этажа из теплопровода, проложенного горизонтально. Регулировка и включение отдельных приборов в горизонтальных системах с замыкающими участками достигается так же легко, как и в вертикальных системах. В горизонтальных проточных системах регулировка может быть только поэтажная, что является существенным их недостатком.

К основным достоинствам однотрубных горизонтальных систем относятся: меньший, чем в вертикальных системах, расход труб, возможность поэтажного включения системы и стандартность узлов. Горизонтальные системы не требуют пробивки отверстий в перекрытиях и монтаж их по сравнению с вертикальными системами проще. Они довольно широко применяются в производственных помещениях.

С точки зрения эксплуатации и современных требований индивидуального учета потребителями расхода теплоты на отопление отвечают *квартирные системы отопления*.

На рисунке 25 приведена схема поквартирной разводки с выносом узла ввода 1, где устанавливается индивидуальный счетчик тепла, и приборного узла 2 с индивидуальным регулирующим краном шаровым двойной регулировки (КРДШ) на подающей подводке к радиатору и краном Маевского для выпуска воздушных скоплений.

Примеры отопительных горизонтальных поквартирных систем отопления, выполненных на планах этажей, приведены на рисунке 26.

В зависимости от схемы разводки они могут называться поэтажной коллекторной, лучевой или петлевой разводкой.

Двухтрубная система отопления считается наиболее эффективной из существующих (рисунки 26, 28 а). Теплоноситель в такой системе подводится по одной трубе, а отводится по другой. Нагревательные приборы подсоединены параллельно, независимо друг от друга. Поквартирная разводка осуществляется через *коллектор* и требует надлежащей инфраструктуры. При двухтрубной системе отопления возможна дополнительная комплектация термостатом, т.к. независимо от расположения прибора, температуру теплоносителя в нем можно регулировать по мере необходимости.

Двухтрубные лучевые системы отопления с индивидуальным подсоединением трубопроводами (*петлями*). В такой системе

отопления у каждого отопительного прибора есть подсоединение к распределительному коллектору (или гребенке) одной квартиры.

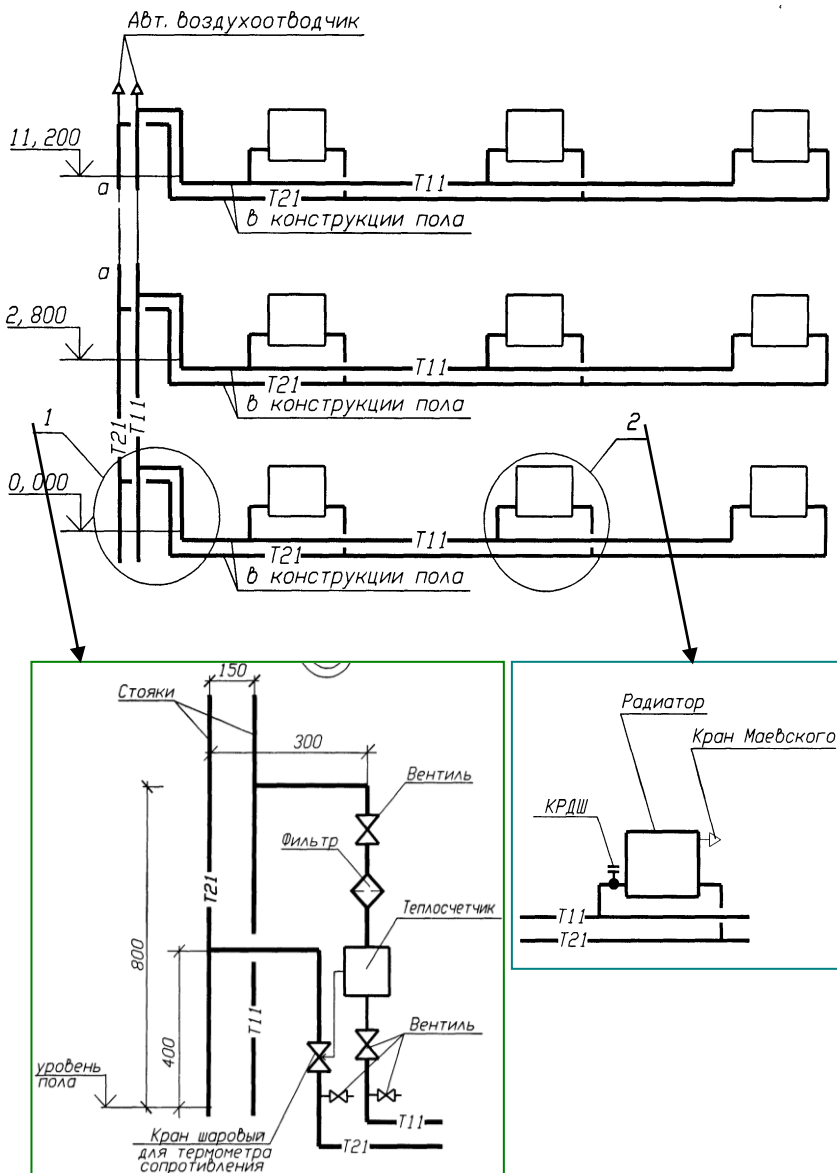


Рисунок 25 – Поквартирная разводка двухтрубной системы отопления с узлом ввода 1 и приборным узлом 2

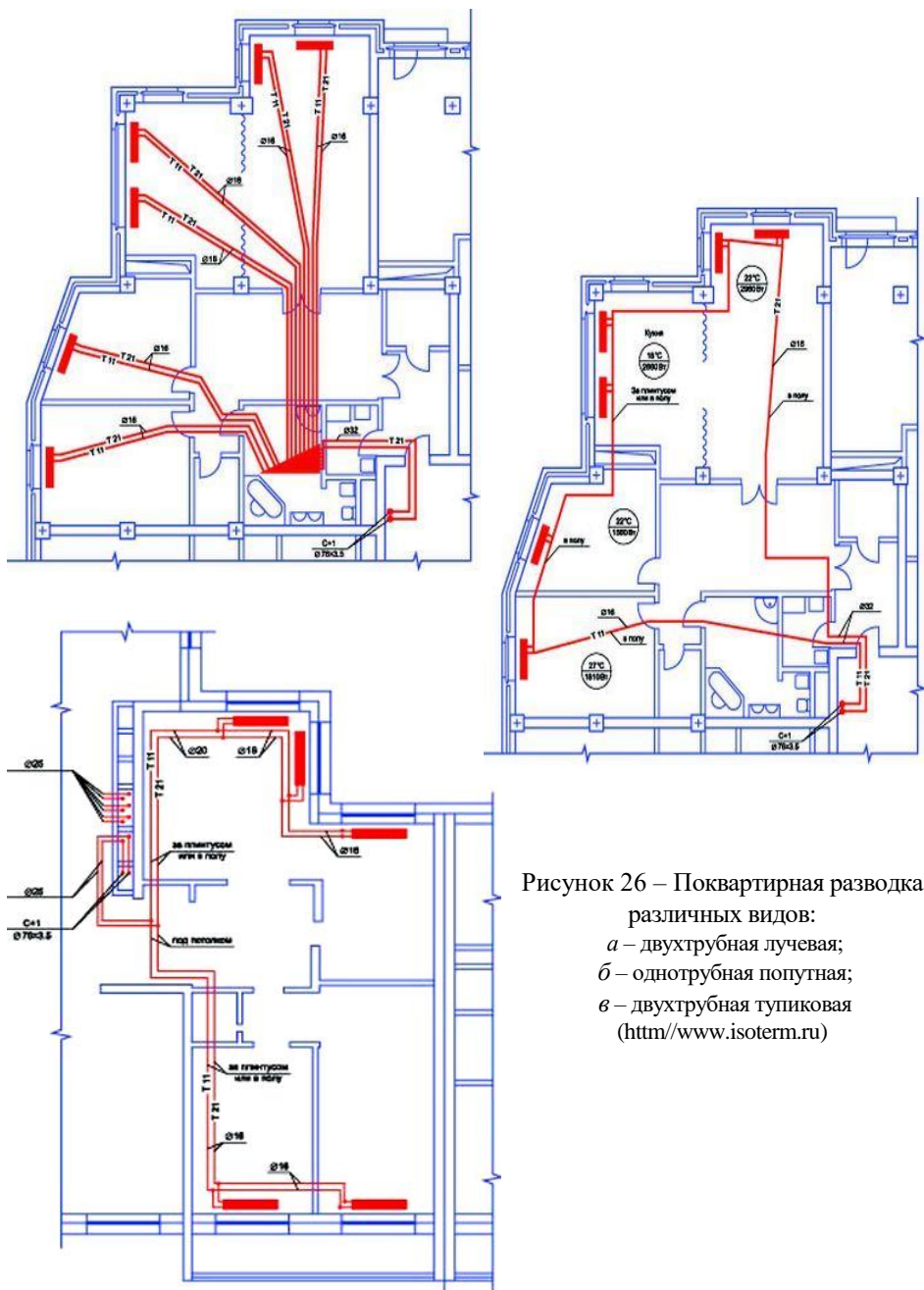


Рисунок 26 – Поквартирная разводка различных видов:

а – двухтрубная лучевая;

б – однотрубная попутная;

в – двухтрубная тупиковая

(<http://www.isoterm.ru>)

Распределительные "гребенки" размещают таким образом, чтобы расстояние от каждой "гребенки" до всех отопительных приборов одного этажа было примерно одинаковой величины. Допускается подсоединение «на сцепке» двух отопительных приборов в пределах одного помещения. Трубопроводы прокладываются в форме петель в конструкции пола или вдоль стен под плинтусами. Система удобна для монтажа, т. к. используются трубопроводы одного диаметра, отсутствуют соединения труб в полу. Использование защитной трубы позволяет при случайном повреждении коммуникаций легко заменить их без разрушения напольного покрытия или стены.

Однотрубная система отопления, как горизонтальная, так и вертикальная, наиболее популярная система в Беларуси и России (до 80 % используемых). Все приборы отопления в такой системе соединены последовательно (рисунок 27). Изменение температуры отопительных приборов зависит от удалённости источника тепла. И в каждом последующем по ходу движения приборе температура теплоносителя будет снижаться, а площадь прибора увеличиваться. Главный минус однотрубной системы отопления – она не поддается регулированию.

В настоящее время востребованность горизонтальных систем возрастает, т. к. они усовершенствованны и обладают определенными преимуществами перед вертикальными системами со следующими возможностями:

- учет тепловой энергии каждой квартирой, т. к. в вертикальной системе это выполнить невозможно;
- индивидуального отключения квартиры от вертикального стояка-распределителя на ремонт, что практически не влияет на тепловой режим других квартир;
- пуска системы отопления поэтажно, по мере строительной готовности, что невозможно при вертикальной системе без дополнительных затрат;
- горизонтальная система отопления эстетичнее вертикальной, т. к. нет стояков в комнатах, а провести трубу диаметром 15 мм (20 мм) за плинтусом не представляет технической трудности;
- прокладка магистрали за плинтусом позволяет исключить «мостик холода» по заложенной в стене плите перекрытия или в стыках (швах) при крупнопанельной конструкции здания;

– такая система может быть оборудована теплосчетчиком, расположенным в помещении лестничной клетки в запирающемся шкафу (укрытии);

– система отопления имеет типовые приборные узлы (в качестве примера см. рисунок 25) с повышенным коэффициентом затекания воды в нагревательные приборы ($a = 0,4 \dots 0,65$), что позволяет эффективно использовать параметры теплоносителя.

К специфическим требованиям, предъявляемым к горизонтальной системе отопления, можно отнести следующие:

– прокладку магистралей не рекомендуется выполнять в конструкции пола (межэтажного перекрытия);

– соединение труб (магистралей) выполнять только на сварке или пайке, если трубы медные;

– опорожнение системы в дренажный стояк обязательно.

Компенсация тепловых удлинений трубопроводов решается за счет углов их поворотов. Монтаж системы достаточно прост. После гидравлических (или пневматических) испытаний и покраски магистраль закрывается плинтусом без теплоизоляции. Таким образом, сама магистраль становится нагревательным прибором, что позволяет уменьшить тепловую мощность нагревательных приборов, а система отопления частично становится «плинтусной».

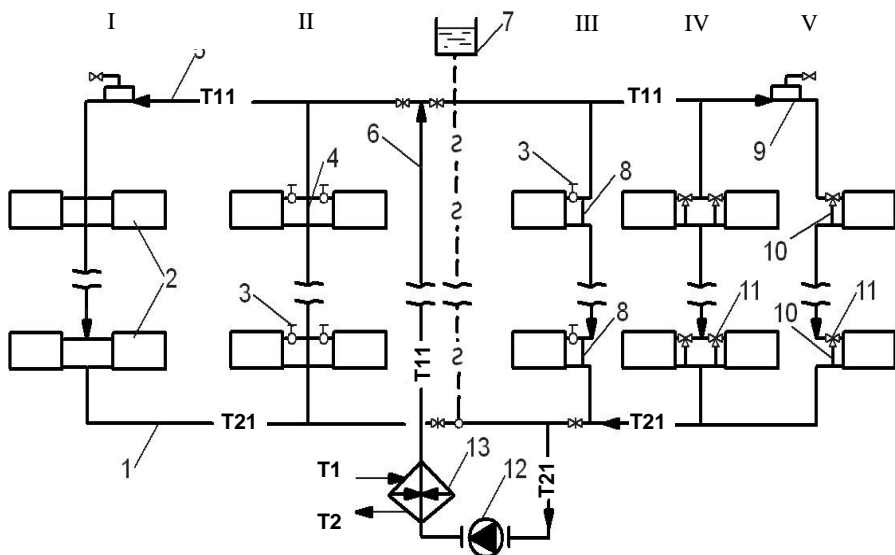
Далее разберем преимущества и недостатки основных схем вертикальных систем отопления, которые приведены на рисунках 27–30.

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и стояками различной (условно) конструкции (с осевыми или центральными II, и со смещенными III–V замыкающими участками) (см. рисунок 27) применяется в зданиях различной этажности при наличии чердачного помещения (теплого или холодного).

В этом случае подающая магистраль находится на чердаке, а обратная – в подвале.

В проточной системе I вся горячая вода проходит последовательно через приборы, присоединенные к стояку (ветке). Однотрубные проточные системы отопления отличаются простотой конструкции и удобством монтажа. Однако невозможность выключения и

регулирования отдельных приборов при одностороннем расположении их по отношению к стояку ограничивает применение этой схемы.



- 1 – обратная магистраль; 2 – отопительные приборы; 3 – краны КРП;
 4 – осевой замыкающий участок; 5 – подающая магистраль; 6 – главный стояк;
 7 – расширительный бак; 8 – смещенный замыкающий участок;
 9 – проточный воздухооборник; 10 – обходной участок; 11 – краны КРТ;
 12 – циркуляционный насос; 13 – теплообменник

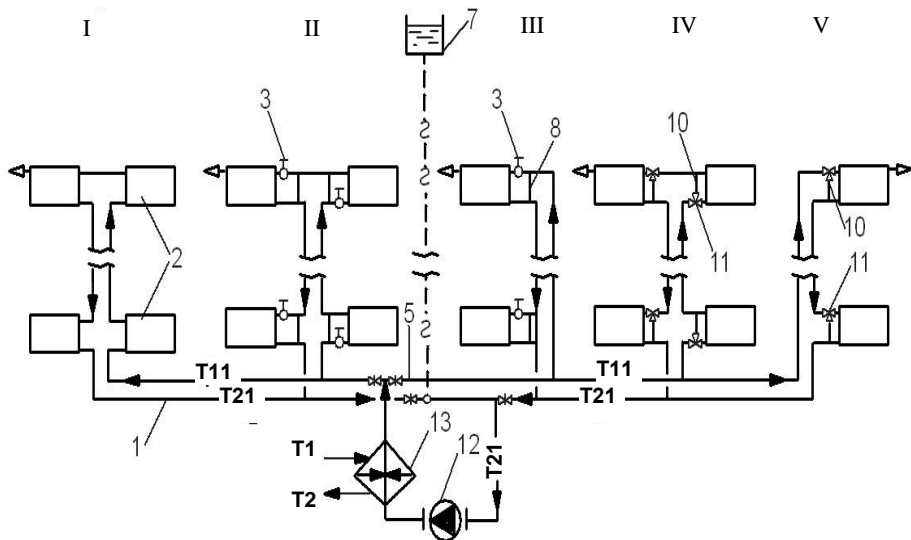
Рисунок 27 – Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и стояками различной (условно) конструкции:
 I – проточный стояк; II и III – стояки соответственно с осевыми и смещенными замыкающими участками; IV и V – проточно-регулируемые стояки

В системе с замыкающими участками горячая вода, движущаяся по стояку, в узлах присоединения приборов разделяется на два потока: часть воды затекает в приборы, а другая часть проходит по замыкающему участку. Вода, охладившаяся в приборах, смешивается с горячей водой, проходящей по стояку, и далее поступает в расположенный ниже прибор. Для регулирования количества теплоносителя или для ремонта ОП краны КРП устанавливаются возле ОП после замыкающих участков, а краны КРТ – на соединении подводки и обходном смещенном участке.

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой и П-образными стояками различной (условно)

конструкции (см. рисунок 28) применяется в бесчердачных многоэтажных зданиях (три–семь этажей и более) с расположением подающей и обратной магистралей в подвале. В так называемых П-образных стояках (состоящих из восходящей и нисходящей частей) этой системы применялись и проточные приборные узлы, и узлы с замыкающими участками, и проточно-регулируемые узлы. При непарных отопительных приборах "холостой" делали восходящую часть стояков. В пробках верхних радиаторов или верхних точках стояков с конвекторами устанавливали воздушные краны. Регулирующие краны КРП и КРТ помещали на подводках, по которым теплоноситель подается в приборы.

Систему с П-образными стояками можно включать в действие в процессе монтажа поэтажно (с временными перемычками), и эту особенность системы используют в зимнее время при выполнении внутренних отделочных работ в строящемся многоэтажном здании.



I – проточный стояк; II, III – стояки со смещенными замыкающими участками;
IV, V – проточно-регулируемые стояки

Рисунок 28 – Схема вертикальной **однотрубной системы** водяного отопления с **нижней разводкой** и П-образными стояками различной (условно) конструкции: I – проточный стояк с конвекторами КН; II и V – проточно-регулируемые стояки с конвекторами КА (II) и радиаторами (V); III – проточный стояк с радиаторами; IV – стояк со смещенными к радиаторам замыкающими участками

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с "опрокинутой" циркуляцией воды (см. рисунок 29) применяется в зданиях с повышенной этажностью (10 этажей и более). В этом случае в подвале располагается подающая магистраль Т11, а на чердаке – обратная Т12. Стойки таких систем делают проточными (I и III) или со смещенными замыкающими (IV) и обходными (II и V) участками. Осевых замыкающих и обходных участков не применяют.

В таких системах чаще всего устанавливают конвекторы. Достоинством системы с опрокинутой циркуляцией является поддержание равномерного теплового режима во всех помещениях и установке приборов одинаковой площади по высоте здания.

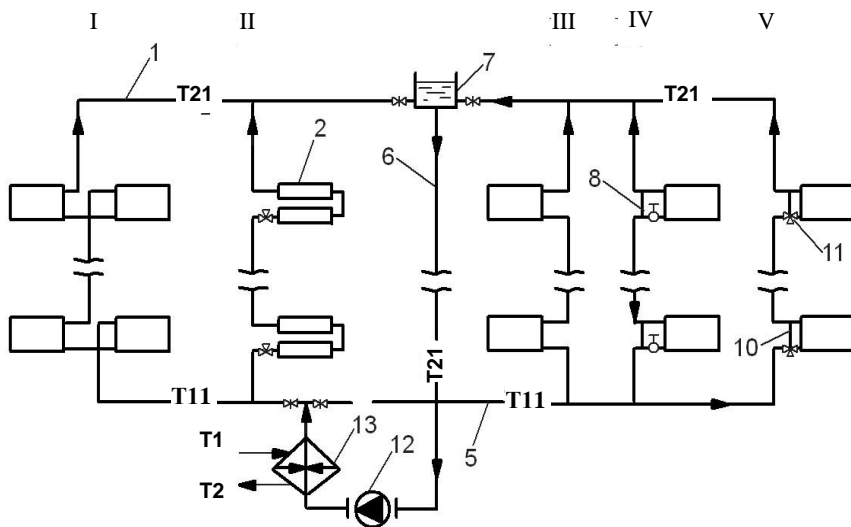
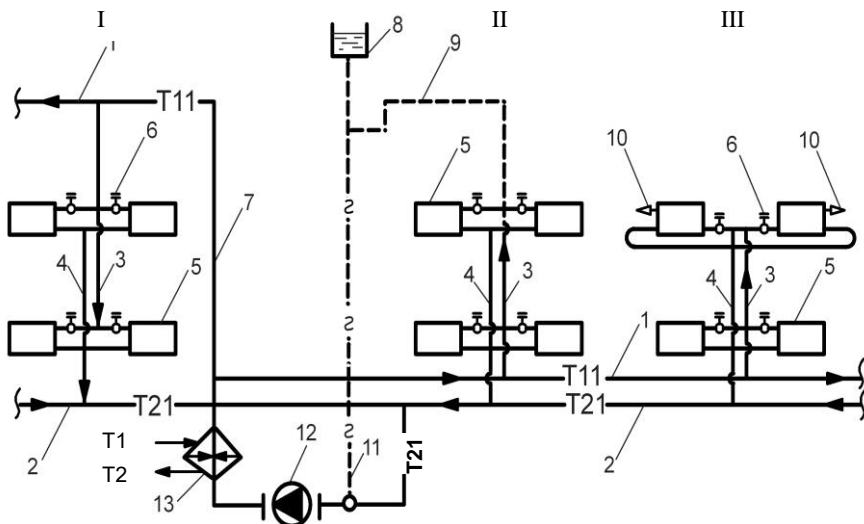


Рисунок 29 – Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с "опрокинутой" циркуляцией воды, проточным расширительным баком и стойками различной (условно) конструкции

Схема вертикальной двухтрубной системы водяного отопления (см. рисунок 30) с верхней и нижней разводкой чаще всего используется для малоэтажных зданий. Преимущество нижней разводки состояло в меньшем расходе труб, большей вертикальной гидравлической и тепловой устойчивости по сравнению с системой, выполненной с верхней разводкой.



- 1 и 2 – подающие T11 и обратные T12 магистрали;
 3 и 4 – подающие и обратные стояки; 5 – отопительные приборы; 6 – краны КРД;
 7 – главный стояк, 8 – расширительный бак; 9 – воздушная линия; 10 – воздушные
 краны; II – соединительная труба расширительного бака;
 12 – циркуляционный насос; 13 – теплообменник

Рисунок 30 – Схемы вертикальной **двухтрубной системы** водяного отопления с верхней (а) и нижней (б) разводкой (при нижней разводке стояки условно различной конструкции)

При проектировании систем отопления необходимо обеспечить расчетную температуру и равномерное нагревание воздуха помещений, гидравлическую и тепловую устойчивость, взрывопожарную безопасность и доступность очистки и ремонта.

Таким образом, при разработке систем отопления конкретных зданий составляют схемы систем, различным образом сочетая в каждой схеме магистрали, стояки и ветви системы с отопительными приборами. В схеме закрепляется **топология системы**, т. е. взаимное расположение теплообменников, теплопроводов, отопительных приборов и других элементов в зависимости от их расположения в здании.

6.7 Циркуляционное давление в системах водяного отопления

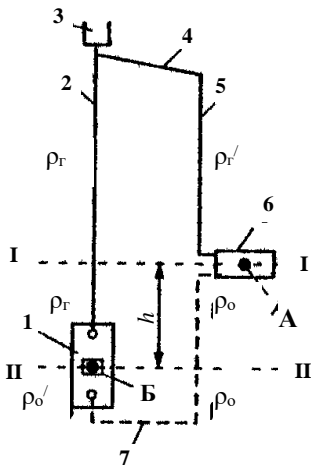
Вода в системах отопления циркулирует под действием циркуляционного давления. Циркуляционное давление может возникать за счет охлаждения воды в отопительных приборах и трубах (естественное давление) и за счет работы циркуляционного насоса. При остывании плотность воды увеличивается (см. таблицу 13) и она, естественно, стремится вниз.

Если допустить, что вода остывает только в отопительных приборах, то естественное циркуляционное давление p_c , Па, в расчетном кольце системы определяется как разность гидростатического давления двух столбов воды высотой h (рисунок 1) по формуле

$$p_c = gh\rho_o - gh\rho_r = gh(\rho_o - \rho_r), \quad (52)$$

где g – гравитационное ускорение; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Определим величину естественного давления в системе отопления, элементарная схема которой приведена на рисунке 31. Система состоит из котла, трубопроводов, соединяющих котел с отопительным прибором, и расширительного бака [22, 45].



1 – котел, 2 – главный стояк; 3 – расширительный бак; 4 – магистраль горячей воды; 5 – отопительный стояк; 6 – отопительный прибор; 7 – обратная магистраль; ρ_r , ρ_r' – плотность горячей воды; ρ_o , ρ_o' – плотность охлажденной воды; А – центр охлаждения; Б – центр нагрева
Рисунок 31 – Схема системы водяного отопления (к определению естественного циркуляционного давления)

Предположим, что все трубопроводы системы имеют хорошую теплоизоляцию и вода при движении от котла в нагревательный

прибор не охлаждается. При этих условиях плотность и температура воды будет изменяться только в двух точках циркуляционного кольца – в котле и нагревательном приборе. С достаточной для практических целей точностью принимаем среднюю температуру воды в котле и в приборе равной средней температуре горячей t_r и охлажденной воды t_o :

$$t_{cp} = (t_r + t_o) / 2$$

при плотности $\rho_{cp} = (\rho_r + \rho_o) / 2$.

Для циркуляции воды в системе необходима разность давления в любом сечении трубопроводов кольца.

В двухтрубной системе отопления (рисунок 32) циркуляционное давление в результате остывания воды в отопительном приборе, расположенном на третьем этаже:

$$p_3 = gh_3(\rho_o - \rho_r), \quad (53)$$

а в кольце, проходящем через отопительный прибор на втором этаже,

$$p_2 = gh_2(\rho_o - \rho_r). \quad (54)$$

С учетом остывания воды в разводящих *магистралах* и отопительных стояках полное циркуляционное давление в каждом циркуляционном кольце будет

$$p_i = gh_i(\rho_o - \rho_r) + \Delta p_i. \quad (55)$$

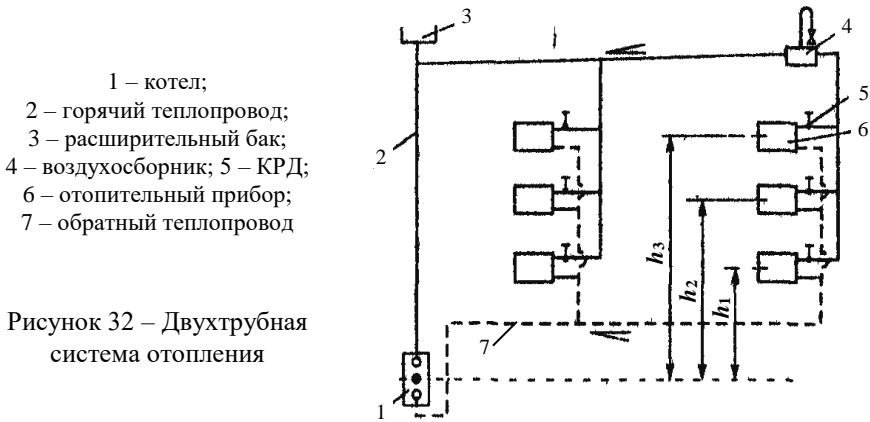


Рисунок 32 – Двухтрубная система отопления

Для однотрубных систем отопления (рисунок 33) Δp учитывается в размере 50 % соответствующих значений двухтрубных систем, для

систем двухтрубных и горизонтальных однотрубных с принудительным побуждением – в размере 40 %, а для однотрубных систем с

П-образными отопительными стояками – 70 %.

Для двухтрубных систем отопления с нижней разводкой добавочное циркуляционное давление (Δp) в результате остывания воды в трубах не учитывается.

В однотрубных системах отопления с естественным побуждением (см. рисунок 33) циркуляционное давление в кольце, проходящем через расчетный стояк, определяют по формуле

$$p = gh_1(\rho_o^1 - \rho_r) + gh_2(\rho_o^2 - \rho_r) + \dots + gh_n(\rho_o^n - \rho_r), \quad (56)$$

где $h_1, h_2 \dots h_n$ – расстояния, принимаемые согласно рисунку 33;

$\rho_o^1, \rho_o^2 \dots \rho_o^n$ – плотность остывшей воды на участках отопительных стояков высотой соответственно $h_1, h_2 \dots h_n$ – при температуре воды на участках 1, 2, ..., n ; кг/м³.

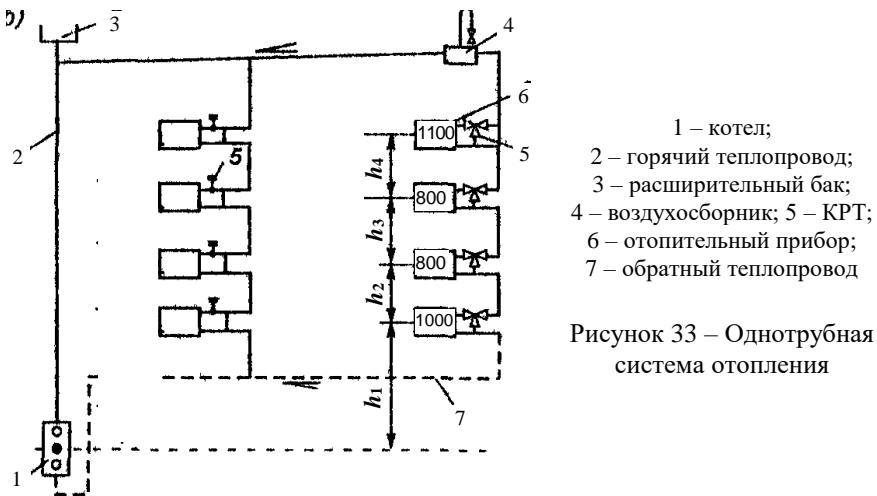


Рисунок 33 – Однотрубная система отопления

Температуру воды на участках 1, 2, ..., n вычисляют по формуле

$$t_i = t_r - \frac{0,86 \Sigma Q_{\text{ип}}}{G_{\text{ст}}} \quad (57)$$

где t_r – температура горячей воды, поступающей в систему (в стояк), °C;

$\Sigma Q_{\text{пр}}$ – суммарная тепловая нагрузка всех отопительных приборов, до рассматриваемого участка (считая по направлению движения воды), Вт;

$G_{\text{ст}}$ – расход воды в стояке, кг/ч.

Расчетный расход воды в однотрубных стояках

$$G_{\text{ст}} = \frac{0,86 \Sigma Q_{\text{пр}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{о}}}, \quad (58)$$

где $\Sigma Q_{\text{пр}}$ – суммарная тепловая нагрузка всех отопительных приборов расчетного стояка, Вт;

$t_{\text{г}}, t_{\text{о}}$ – температура воды соответственно на входе и на выходе из системы (из стояка), °С.

Пример 1. Определить расчетное циркуляционное давление в двухтрубной системе водяного отопления (см. рисунок 32) для циркуляционных колец, проходящих через приборы первого, второго и третьего этажей, наиболее удаленных от главного стояка.

Исходные данные. Температура воды на выходе из котла $t_{\text{г}} = 75$ °С ($\rho_{75} = 974$ кг/м³), на входе в котел (охлажденной) $t_{\text{о}} = 50$ °С ($\rho_{50} = 988$ кг/м³). Центр охлаждения отопительного прибора каждого этажа расположен выше центра нагрева в котле на расстоянии соответственно $h_{\text{I}} = 3,0$ м, $h_{\text{II}} = 6,0$ м, $h_{\text{III}} = 9,0$ м. Расстояние от рассчитываемого стояка до главного – 15 м. Протяженность системы по горизонтали – 30 м.

Решение. Согласно формуле (59) и данным, приведенным в таблице 13 (по плотности воды), расчетное естественное циркуляционное давление для колец, проходящих через нагревательный прибор, составит, Па:

$$\text{I этаж } p_{\text{I}} = 9,81 \cdot 3,0 \cdot (988 - 974) + 250 = 656 \text{ Па};$$

$$\text{II этаж } p_{\text{II}} = 9,81 \cdot 6,0 \cdot (988 - 974) + 250 = 1062 \text{ Па};$$

$$\text{III этаж } p_{\text{III}} = 9,81 \cdot 9,0 \cdot (988 - 974) + 250 = 1468 \text{ Па}.$$

Пример 2. Определить расчетное естественное циркуляционное движение в однотрубной системе водяного отопления (см. рисунок 33) для циркуляционного кольца, проходящего через дальний стояк с трехходовыми кранами на смещенных замыкающих участках.

Исходные данные. Температура воды на выходе из теплового пункта $t_{\text{г}} = 75$ °С, на входе $t_{\text{о}} = 50$ °С. Тепловая нагрузка отопительных приборов расчетного стояка по этажам составляет соответственно $Q_{\text{I}} = 1000$ Вт, $Q_{\text{II}} = 800$ Вт, $Q_{\text{III}} = 800$ Вт, $Q_{\text{IV}} = 1100$ Вт. Протяженность системы по горизонтали – 40 м. Расстояние от рассчитываемого стояка до главного – 25 м.

Решение. По формуле (58) находим количество воды, циркулирующее в расчетном стояке:

$$G_{\text{об}} = \frac{0,86 (1000 + 800 + 750 + 950)}{(75 - 50)} = \frac{0,86 \cdot 3500}{25} = 120 \text{ кг/ч}.$$

Вычислим температуру воды на участках стояка после ее прохождения через отопительный прибор соответствующего этажа, считая что вся вода из стояка проходит через прибор (т. е. коэффициент затекания $\alpha = 1,0$):

$$t_{\text{IV}} = 75 - \frac{0,86 \cdot 950}{120} = 68 \text{ °С}, (\rho_{68} = 979 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_{\text{III}} = 75 - \frac{0,86 \cdot (950 + 750)}{120} = 62,8 \text{ °С}, (\rho_{62,8} = 982 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_{\text{II}} = 75 - \frac{0,86 \cdot (950 + 750 + 800)}{120} = 57 \text{ °С}, (\rho_{57} = 985 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_1 = 75 - \frac{0,86 \cdot (950 + 750 + 800 + 1000)}{120} = 50 \text{ }^\circ\text{C}, (\rho_{50} = 988 \text{ кг/м}^3).$$

Определим p_e в дальнем стояке по формуле (56) без учета остывания воды в трубах:
 $p_e = 9,81 \cdot 3,0 \cdot (979 - 975) + 9,81 \cdot 3,0 \cdot (982 - 975) + 9,81 \cdot 3,0 \cdot (985 - 975) + 9,81 \cdot 3,0 \cdot (988 - 975) = 1035 \text{ Па}.$

6.8 Гидравлический расчет систем водяного отопления

Системы отопления представляют собой разветвленную сеть теплопроводов, выполняющих важную функцию распределения теплоносителя по отопительным приборам [22, 25, 42].

Целью гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении, установленном для данной системы.

Как известно из курса гидравлики, при движении реальной жидкости по трубам всегда имеют место потери давления на преодоление сопротивления двух видов – трения и местных сопротивлений. К местным сопротивлениям относятся тройники, крестовины, отводы, вентили, краны, отопительные приборы, котлы, теплообменники и т.д.

Потери давления R_r , Па, на преодоление трения на участке теплопровода с постоянным расходом движущейся среды (вода, пар) и неизменным диаметром определяют по формуле

$$R_r = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho l = Rl, \quad (59)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (величина безразмерная);

d – диаметр теплопровода, м;

ω – скорость движения воды в теплопроводе, м/с;

ρ – плотность движущейся среды, кг/м³;

l – длина участка теплопровода, м;

R – удельные потери давления, Па/м;

Потери давления, Па, на преодоление местных сопротивлений

$$Z = \sum \zeta \frac{\omega^2}{2} \rho, \quad (60)$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений в данном участке теплопровода, величина безразмерная;

$(\omega^2/2)\rho$ – динамическое давление воды в данном участке теплопровода $p_{л}$, Па.

Суммарные потери давления, возникающие при движении воды в теплопроводе циркуляционного кольца, должны быть меньше расчетно-циркуляционного давления, устанавливаемого для данной системы. Под расчетным циркуляционным давлением понимается давление, необходимое для поддержания принятого гидравлического режима системы отопления. Это то давление, которое может быть израсходовано в расчетных условиях на преодоление гидравлических сопротивлений в системе.

Гидравлический расчет теплопроводов систем водяного отопления выполняют различными методами. Наибольшее распространение получили способы расчета теплопроводов **по удельным потерям и по характеристикам сопротивления.**

Первый метод заключается в раздельном определении потерь давления на трение и в местных сопротивлениях. При этом диаметры теплопроводов определяются при постоянных перепадах температуры воды во всех стояках и ветвях $\Delta t_{ст}$, равных расчетному перепаду температуры воды во всей системе $\Delta t_{сист}$.

Во втором методе устанавливают распределение потоков воды в циркуляционных кольцах системы и получают переменные (неравные) перепады температуры воды в стояках $\Delta t_{ст}$ и ветвях системы $\Delta t_{сист}$. Предварительно выбирают диаметр теплопровода на каждом расчетном участке с учетом допустимых скоростей движения воды.

Расчетным участком называют участок теплопровода с неизменным расходом теплоносителя.

При расчете главного циркуляционного кольца (наиболее неблагоприятного в гидравлическом отношении циркуляционного контура) рекомендуется предусматривать запас давления на неучтенные сопротивления, но не более 10 % расчетного давления:

$$\Sigma(Rl + Z)_{ГЦК} = 0,9\Delta p_p. \quad (61)$$

6.9 Основные положения гидравлического расчета

Система водяного отопления представляет собой *разветвленную закольцованную сеть* труб и приборов, заполненных водой. Вода в

течение отопительного сезона находится в постоянном кругообороте. По трубам (теплопроводам) *нагретая* вода распределяется по приборам, *охлажденная* в приборах вода возвращается в тепловой пункт, нагревается в теплообменнике и вновь направляется к приборам. Теплопроводы предназначены для доставки и передачи в каждое помещение обогреваемого здания необходимого количества тепловой энергии. Так как теплопередача происходит при охлаждении определенного количества воды, требуется выполнить гидравлический расчет системы.

Гидравлическому расчету должна предшествовать подготовительная работа, выполняемая при расчетах:

– подсчитываются теплотери каждого отапливаемого помещения и тепловая мощность системы отопления здания; расставляются отопительные приборы (под окнами) и стояки (в углах помещений) с запорно-регулирующей арматурой. Размещение стояков продиктовано как месторасположением радиаторов (под окнами), так и целесообразностью прокладки самостоятельных стояков в лестничных клетках (чаще остальных отключаемых на ремонт) и в *наружных углах* здания для их утепления;

– выбирается место расположения теплового пункта (возле несущей стены);

– намечаются места прокладки магистралей. При *нижней* разводке подающая (горячая) и обратная (охлажденная) прокладываются в подвале, при *верхней* – подающая на чердаке, обратная – в подвале, при *опрокинутой* циркуляции – наоборот;

– на плане чердака или верхнего этажа (при совмещенной крыше) показывается размещение расширительного бака или приборов воздухоудаления.

На планах этажей, чердака и подвала горячие и обратные стояки системы отопления должны быть пронумерованы, а *на аксонометрической схеме кроме стояков нумеруют все расчетные участки циркуляционных колец – участки труб, а также указывают тепловую нагрузку и длину каждого участка*. Сумма длин всех расчетных участков составляет величину расчетного циркуляционного кольца.

Правильный гидравлический расчет предопределяет работоспособность системы отопления. Он производится в следующем порядке.

1 Вычерчивается пространственная схема системы отопления в аксонометрической проекции со всеми принятыми элементами. На схеме приводятся:

- тепловые нагрузки приборов (принимается равной расчетным теплопотерям помещений $Q_{п}$);
- запорно-регулирующая арматура у приборов, на стояках, магистралях, у тепловых пунктов.

Для обеспечения покомнатной регулировки теплоотдачи последних у каждого из них предусматриваются индивидуальные регуляторы и отключаемая, независимо от остальной коммуникации, подводка.

2 Выбирается главное циркуляционное кольцо системы.

В вертикальной однотрубной системе – это кольцо:

- *при тупиковом движении воды* – через наиболее нагруженный и удаленный стояк от теплового пункта;

- *при попутном движении воды* – через наиболее нагруженный средний стояк.

В вертикальной двухтрубной системе – это кольцо:

- *при тупиковом движении воды* – через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного и удаленного стояка от теплового пункта;

- *при попутном движении воды* – через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного, среднего стояка.

Этим самым выбирается наилучший вариант – максимальная длина, минимальный движущий напор.

После выбора неблагоприятного кольца оно разбивается на расчетные участки, на каждом участке определяются тепловая нагрузка, длина и проставляется нумерация, начиная от ввода (теплового пункта или элеватора) по расчетному кольцу.

В разветвленных системах теплопроводов *расчетным участком* называют отрезок теплопровода с постоянным расходом теплоносителя. Последовательно соединенные участки, образующие замкнутый контур циркуляции воды через тепловой узел, и составляют циркуляционное кольцо системы.

Тепловая нагрузка участка $Q_{уч}$ составляется из тепловых нагрузок приборов, обслуживаемых протекающей по участку водой.

Для участка *подающего* теплопровода тепловая нагрузка

выражает тот запас теплоты, предназначенной для последующей теплопередачи в помещения; для участка *обратного* теплопровода – потери теплоты протекающей охлажденной водой при теплопередаче в помещения. Тепловая нагрузка участка предназначена для определения расхода воды на участке в процессе гидравлического расчета.

3 Определяется расчетное циркуляционное давление.

Нагревание и охлаждение воды в циркуляционных кольцах системы создают неоднородное распределение ее плотности. Естественная циркуляция воды возникает в вертикальной системе.

Охлаждение теплоносителя воды в СО происходит непрерывно по мере удаления от теплообменника, на выходе из которого температура имеет наивысшее значение, и заканчивается при ее возвращении к теплообменнику. Постепенное остывание воды в теплопроводах сменяется быстрым охлаждением ее в отопительных приборах. Поэтому общее естественное (гравитационное) циркуляционное давление, возникающее в системе, можно рассматривать как сумму двух величин: давления $\Delta p_{e\text{ пр}}$, образующегося вследствие охлаждения воды в отопительных приборах, и давления $\Delta p_{e\text{ тр}}$, вызываемого охлаждением воды в трубах:

$$\Delta p_e = \Delta p_{e\text{ пр}} + \Delta p_{e\text{ тр}}. \quad (62)$$

В общем случае, располагаемое гравитационное давление, P_a , расходуемое на преодоление сопротивлений при движении воды в системе, можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta p_e = hg (\rho_o - \rho_r), \quad (63)$$

где h – полная высота от магистрали до верха прибора последнего этажа, м;

g – коэффициент свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

ρ_o , ρ_r – плотность воды соответственно охлажденной и горячей, кг/м³.

Для обычных гравитационных систем располагаемое давление сравнительно невелико (порядка 500–1000 Па), поэтому в протяженных зданиях, как правило, устраивают системы с искусственным (насосным) побуждением. Это позволяет создавать значительные давления и обеспечивает применение труб небольших диаметров.

Итак, **расчетное циркуляционное давление Δp_r** выражает

располагаемую разность давления (насосного и естественного), которая в расчетных условиях может быть израсходована на преодоление сопротивления движению воды в системе и определяется по формуле

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B\Delta p_e, \quad (64)$$

где Δp_n – искусственное давление, создаваемое насосом или элеватором, Па, ($\Delta p_n = 10 \dots 12$ кПа); принимается условно

$$\Delta p_n = 100\Sigma l; \quad (65)$$

Σl – сумма длин участков расчетного кольца, м;

B – поправочный коэффициент, учитывающий значение естественного циркуляционного давления в период поддержания расчетного гидравлического режима в системе, $B = 0,4$ – для двухтрубных и горизонтальных систем; $B = 1$ – для однострунных систем.

4 С использованием *метода удельных потерь давления* вначале определяется **ориентировочное значение удельной потери давления** от трения при движении теплоносителя по трубам R_{cp} , Па/м:

$$R_{cp} = \frac{0,65\Delta p_p}{\Sigma l}. \quad (66)$$

5 Определяют расходы воды на расчетных участках.

Так как температура воды изменяется от t_r до t_o , то при тепловой нагрузке стояка, представляющей собой сумму тепловых нагрузок всех приборов $Q_{ст} = q_1 + q_2 + \dots + q_n$, через стояк должна проходить масса воды $G_{ст}$, кг/ч:

$$G_{ст} = \frac{0,86Q_{ст}}{t_r - t_o}, \quad (67)$$

где 0,86 – коэффициент, учитывающий теплоемкость воды;

Аналогично вычисляется расход воды в системе $G_c = \frac{0,86Q_c}{t_r - t_o}$.

При гидравлическом расчете потери давления на каждом участке $\Delta p_{уч}$, Па, циркуляционного кольца определяют по формуле Дарси-Вейсбаха, известной из курса «Механика жидкостей и газов»:

$$\Delta p_{\text{уч}} = Rl + Z. \quad (68)$$

Потери давления на трение на участке определяются путем умножения удельной потери давления R на длину участка l , м.

Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па, определяются по формуле (60)

$$Z = \sum \zeta \frac{\omega^2}{2} \rho$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке (таблица 15).

Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке зависит от вида коэффициентов местных сопротивлений, к которым относятся: тройники, отводы, утки, краны, вентили, отопительные приборы и др.

Таблица 15 – Значения коэффициентов местных сопротивлений

Местное сопротивление	Значение ζ		
Элеватор	2,8		
Радиатор	2		
Внезапное:			
расширение	1		
сужение	0,5		
Тройник:			
проходной	1		
поворотный на ответвления	1,5		
противоточный	3		
Крестовина:			
проходная	2		
поворотная на ответвления	3		
Отступ	0,5		
Отводы:			
широкий	1,0		
узкий	2		
90° и утка	1,5		
	Ø 15 мм	Ø 20 мм	Св. Ø 20 мм
Краны регулировочные:			
двойной регулировки (КРД)	4	2	2
проходной (КРП)	4,4	3,5	0,8

трехходовой (КРТ)	4,5	3,0	2,0
Вентиль: обыкновенный	16	10	9
прямоточный	3	3	3
Задвижка	1,5	0,5	0,5

При расчете диаметров труб на участках циркуляционного кольца сначала ими задаются. Диаметры должны быть такими, чтобы располагаемое давление p_p , Па, с небольшим запасом отвечало потере давления при движении воды в трубопроводе. Следовательно, по полученному значению R_{cp} , по таблице приложения Г принимаются диаметры участков d и по значению расходов воды G определяются действительные скорости движения воды ω и удельные потери давления от трения R . Эти данные вносятся в таблицу 16.

Необходимо подбирать диаметры участков таким образом, чтобы скорости движения воды возрастали по мере увеличения тепловых нагрузок без резких скачков.

Таблица 16 – Ведомость гидравлического расчета системы отопления

Данные по схеме			Данные по расчету							
Номер участка	Тепловая нагрузка участка Q_i , Вт	Расход воды на участке G_i , кг/ч	Длина участка l , м	Диаметр трубопровода d , мм	Скорость движения воды ω , м/с	Потери давления от трения на 1 м длины R , Па/м	Потери давления от трения на участке Rl , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \zeta$, Па	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Сумма потерь давления на участке $Rl + Z_i$

Суммируя потери давления на трение Rl и потери в местных сопротивлениях Z , определяют потери давления на участке, а затем, суммируя потери давления на расчетных участках $Rl_i + Z_i$, получают

потери давления в кольце $\Sigma(Rl_i + Z_i)$, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления:

$$\frac{\Delta p_{\text{рц}} - \Sigma(Rl_i + Z_i)}{\Delta p_{\text{рц}}} \cdot 100 \% \leq 10 \%. \quad (69)$$

Если данное равенство не выполняется, необходимо изменить диаметры отдельных участков.

Дальнейший гидравлический расчет трубопроводов системы отопления сводится к увязке всех циркуляционных колец по полученным потерям давления в главном циркуляционном кольце.

Результаты расчета сводятся в таблицу 16.

После расчета главного циркуляционного кольца рассчитывают параллельные циркуляционные кольца, (которые состоят из участков главного кольца (уже рассчитанных) и дополнительных (не общих) участков, еще не рассчитанных. Согласно п. 3.35 СНиП 2.04.05-86, неувязка потерь давления в циркуляционных кольцах (без учета потерь давления в общих участках) не должно превышать 5 % при попутной и 15 % при тупиковой разводке теплопроводов систем водяного отопления в расчете с постоянными разностями температур в падающей и обратной магистралях.

Формулу (67) используют для определения расхода воды на расчетном участке в однетрубных проточных и двухтрубных системах отопления.

Для однетрубной системы с замыкающими участками расход воды в приборах определяется с учетом коэффициента затекания воды в приборы, представляющего собой отношение массы воды, затекающей в прибор – $G_{\text{пр}}$, к общей массе воды, проходящей по стояку $G_{\text{ст}}$, кг/ч:

$$\alpha = G_{\text{пр}} / G_{\text{ст}}. \quad (70)$$

При гидравлическом расчете однетрубной системы отопления потеря давления в межрадиаторных узлах оценивается произведением суммарного коэффициента местного сопротивления узла на динамическое давление стояка. Данные о коэффициентах затекания и суммарных коэффициентах местного сопротивления узлов различных систем приведены в справочной литературе.

В горизонтальных однетрубных системах отопления многоэтажных зданий последовательно соединенные приборы на

каждом этаже, образующие ветвь, располагаются на одной и той же высоте над центром нагревания. Промежуточное изменение температуры и плотности в ветви по горизонтали вследствие охлаждения воды в приборах не отражается на значении естественного циркуляционного давления, которое определяется в зависимости от разности гидростатического давления в стояках (вертикальных участках). В горизонтальных однотрубных системах с приборами, соединенными по проточной и по проточно-регулируемой схемам естественное циркуляционное давление различно в кольцах через ветви на каждом этаже: через ветвь на первом этаже $\Delta p_{\text{с пр1}} = h_1 g(\rho_0 - \rho_f)$; через ветвь на втором этаже $\Delta p_{\text{с пр2}} = g(h_1 + h_2)(\rho_0 - \rho_f)$ и т. д.

В горизонтальных двухтрубных системах отопления величина естественного циркуляционного давления, возникающего при охлаждении воды в приборах, незначительна и учитывается она, прежде всего, в системах отопления с естественной циркуляцией воды малоэтажных зданий.

7 СИСТЕМА ПАРОВОГО ОТОПЛЕНИЯ

7.1 Процесс парообразования

Водяной пар, получаемый в паровых котлах, очень широко используется в теплотехнике как рабочее тело и теплоноситель. Его состояние близко к насыщению и поэтому он не подчиняется законам для идеальных газов.

Из уравнений состояний реального газа наиболее простым является уравнение Ван-дер-Ваальса, предложенное им в 1873 г.:

$$(p + \alpha/v^2)(v - b) = RT, \quad (71)$$

где α – коэффициент, зависящий от сил сцепления;

b – величина, учитывающая собственный объем молекул.

При больших удельных объемах реального газа можно пользоваться уравнением Клайперона, например, для пара, находящегося во влажном воздухе.

Рассмотрим процесс парообразования при постоянном давлении в координатах $p-v$ (рисунок 34). Поместим 1 кг воды при температуре 0 °С в цилиндр с поршнем. Для некоторого значения $p = \text{const}$ это начальное состояние воды изобразится на диаграмме точкой a . При этом его удельный объем $v = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$.

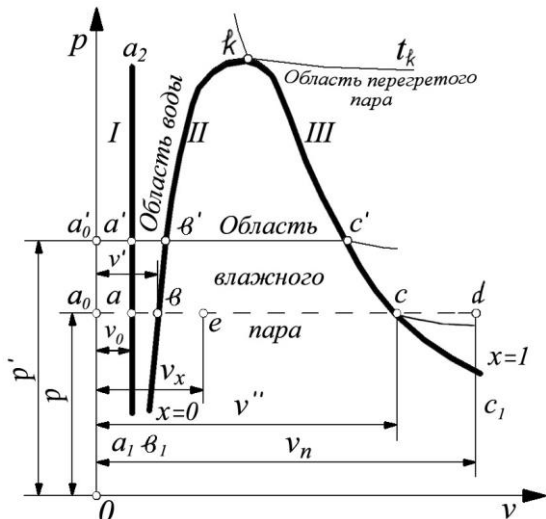


Рисунок 34 – Процесс парообразования в координатах $p-v$

Если подогревать воду при постоянном давлении, то объем ее увеличивается и при температуре, которая соответствует состоянию кипения воды, достигает величины, отмеченной на диаграмме точкой *b*. Удельный объем кипящей воды принято обозначать v' . При дальнейшем подводе теплоты к кипящей воде последняя начнет превращаться в пар, причем давление и температура смеси воды с паром остаются неизменными.

Когда в процессе парообразования последняя частица воды превратится в пар, весь объем окажется заполненным паром. Такой пар как бы “насыщает” объем, в котором он находится, и поэтому называется насыщенным паром, а его температура, равная температуре кипения, называется температурой насыщения. Она обозначается t_n и зависит от давления: $t_n = 99\text{ }^\circ\text{C}$ при $p_{\text{абс}} = 0,1\text{ МПа}$, $t_n = 119\text{ }^\circ\text{C}$ при $p_{\text{абс}} = 0,2\text{ МПа}$, $t_n = 309\text{ }^\circ\text{C}$ при $p_{\text{абс}} = 10\text{ МПа}$.

На участке *b-c* пар называется **влажным насыщенным паром** (или просто **влажным**), так как он состоит из смеси воды и пара. После полного испарения воды (точка *c*) пар называют **сухим насыщенным (или просто сухим)**.

Влажный пар характеризуется степенью сухости x .

Степенью сухости называют массовую долю сухого насыщенного пара, находящегося в 1 кг влажного пара. Например, в 1 кг пара содержится 0,85 кг сухого насыщенного пара и 0,15 кг кипящей воды. Следовательно, степень сухости пара $x = 0,85$. Величина $1-x$ называется степенью влажности. Она показывает массовую долю кипящей воды, находящейся в 1 кг влажного пара. Для сухого насыщенного пара $x = 1$.

Рассмотрим теперь процесс парообразования при более высоком давлении (см. рисунок 34). Удельный объем при $0\text{ }^\circ\text{C}$ с повышением давления практически не изменяется (*a'*). Удельный объем кипящей воды несколько увеличится, так как с увеличением давления возрастает температура кипения (точка *b'*). Точка *c'*, соответствующая сухому насыщенному пару, будет находиться левее точки *c*, так как давление возрастает более интенсивно, чем температура сухого насыщенного пара, и удельный объем его уменьшается.

Если точки, обозначающие в (*p-v*) диаграмме процессы при постоянном давлении, соединить, то получатся линии I, II, III.

Линия I характеризует состояние воды при $0\text{ }^\circ\text{C}$ и является прямой, почти параллельной оси ординат.

Линия II – кривая, соединяющая точки b_1, b, b', \dots , соответствует состоянию кипящей воды, называется *нижняя пограничная кривая*.

Линия III – кривая, соединяющая точки c_1, c, c', \dots , соответствует состоянию сухого насыщенного пара, называется *верхняя пограничная кривая*.

Линии II и III пересекаются в точке K , которая называется критической точкой. В этой точке исчезает различие в свойствах жидкости и пара. Параметры, отвечающие точке K , называются критическими. Для воды они имеют следующие значения: $p_{кр} = 22,5$ МПа, $t_{кр} = 374$ °C ($T = 647$ К); $v = 0,00307$ м³/кг.

Эти кривые делят диаграмму на области: между линиями I и II существует жидкость, между II и III – влажный насыщенный пар и правее III – перегретый пар. Из критической точки в области II–III исходят кривые постоянной степени сухости.

Парообразование графически изображается линией $b-c$ (см. рисунок 34). Количество теплоты, затрачиваемой на превращение 1 кг кипящей воды в сухой насыщенный пар, называется *теплотой парообразования* (фазового превращения) и обозначается буквой r . С увеличением давления теплота парообразования уменьшается. Например, при $p_{абс} = 0,1$ МПа $r = 2263$ кДж/кг, а при $p_{абс} = 10$ МПа $r = 1330$ кДж/кг. В критическом состоянии $r = 0$.

В котельном агрегате сухой насыщенный пар обычно продолжается нагреваться при $p = \text{const}$. Этот процесс в $p-v$ - диаграмме изображается линией $c-d$.

При состоянии, отвечающем точке d , пар уже не насыщает пространство и имеет температуру более высокую, чем температура насыщения при данном давлении. Такой пар называется **перегретым паром**.

Для обозначения величин, относящихся к различным состояниям воды и пара, установлена следующая индексация:

- величины с индексом 0 относятся к начальному состоянию воды;
- с индексом $'$ – к воде, нагретой до температуры кипения;
- с индексом $''$ – к сухому насыщенному пару;
- с индексом x – к влажному насыщенному пару;
- с индексом II – к перегретому пару.

На практике необходимые для технических расчетов параметры состояния водяного пара удобно определить с помощью специальных

таблиц, приведенных в справочной литературе. В справочных таблицах приводятся параметры состояния кипящей воды и сухого насыщенного пара, а также величины теплоты парообразования r .

Для определения параметров состояния влажного насыщенного пара дополнительно должна быть известна степень сухости пара.

7.2 Достоинства и недостатки теплоносителя пара

Системы парового отопления находят применение во вспомогательных помещениях, в производственных помещениях некоторых промышленных предприятий и бытовых помещениях при непродолжительном пребывании людей. Способность систем к быстрому прогреву помещений позволяет использовать их также в помещениях с периодическим пребыванием людей. Целесообразно проектировать системы парового отопления в том случае, если в здании имеется пар для других целей.

В системах парового отопления используется свойство пара при конденсации выделять скрытую теплоту фазового превращения.

При конденсации в нагревательном приборе 1 кг пара помещение получает около 2260 кДж теплоты.

По сравнению с системами водяного отопления системы парового отопления имеют следующие *преимущества*:

1) плотность пара мала, следовательно, он перемещается с большими скоростями, и требуются меньшие диаметры теплопроводов, чем при водяном отоплении, поэтому стоимость теплопроводов (пар) ниже, чем теплопроводов в СВО;

2) большой коэффициент теплоотдачи от пара к стенкам отопительного прибора (за счет высокой величины скрытой теплоты фазового превращения), благодаря этому и высокой температуре пара площадь поверхности отопительных приборов в СПО примерно на 25–30 % меньше, чем в СВО;

3) быстрый прогрев помещений и выключение системы из работы;

4) возможность использования в зданиях повышенной этажности из-за малой плотности пара.

Однако наряду со всеми перечисленными положительными свойствами, пар имеет ряд существенных *недостатков*:

1) невозможность центрального качественного регулирования (изменения температуры теплоносителя) подачи теплоты, вследствие чего в помещении трудно поддерживать постоянную и равномерную температуру; обеспечение постоянной температуры достигается путем периодического выключения системы (регулирование “пропусками”, неудобно в эксплуатации);

2) загрязнение воздуха продуктами сухой возгонки (разложения) органической пыли, оседающей на поверхность отопительных приборов;

3) большие теплопотери паропроводов;

4) сокращение срока службы паропроводов в результате попадания воздуха в систему при периодическом ее отключении, вызывающего интенсификацию коррозии, особенно конденсатопроводов.

Недостатки пара как теплоносителя не позволяют использовать его для отопления жилых домов, общежитий, детских и лечебных учреждений, музеев и др. В соответствии со СНБ 4.02.01-03 систему парового отопления рекомендуется устраивать в производственных помещениях, а также в лестничных клетках, пешеходных переходах, вестибюлях и тепловых пунктах.

7.3 Классификация и схемы парового отопления

СПО подразделяют:

- по наличию связи с атмосферой;
- величине начального давления пара;
- способу возврата конденсата в котел или в тепловую сеть;
- месту расположения паропровода;
- схеме стояков.

В настоящее время применяют открытые (сообщающиеся с атмосферой) СПО [28, 42].

По величине давления. В системах низкого давления давление пара составляет $p_{\text{изб}} = 0,10 \dots 0,17$, в системах высокого давления $p_{\text{изб}} = 0,17 \dots 0,47$ МПа, в вакуум-паровых $p_{\text{абс}} < 0,1$ МПа. Вакуум-паровые системы в Республике Беларусь не применяют. Максимальное давление пара ограничивается допустимой температурой нагревательных приборов, которая не должна превышать 150 °С.

По способу возврата конденсата системы парового отопления подразделяются на замкнутые (конденсат благодаря наклону

трубопроводов самотеком возвращается из отопительных приборов в котел или в тепловую сеть) и разомкнутые (конденсат поступает сначала в конденсаторный бак, а затем перекачивается насосом в котел или тепловую сеть).

По месту расположения паропровода и схеме стоков системы парового отопления можно выполнять так же, как и системы водяного отопления, т.е. с верхним, нижним и промежуточным распределением пара при однотрубной и двухтрубной схемах обслуживания отопительных приборов. При верхней разводке паропровод располагается выше, а конденсатопровод – ниже нагревательных приборов. При нижней разводке оба теплопровода лежат ниже приборов.

Конденсатопроводы паровых систем подразделяются на сухие, когда конденсат течет по трубопроводу неполным сечением, и мокрые, когда все сечение конденсатопровода заполнено конденсатом.

Перейдем к рассмотрению отдельных схем. На рисунке 35, а приведена тупиковая, замкнутая двухтрубная система парового отопления низкого давления с верхней разводкой.

Пар из котла 1 или из паропровода внешних тепловых сетей за счет разности давлений в тепловом пункте и в отопительных приборах поступает по главному стояку 2 и паровым стоякам 3 к нагревательным приборам 4. На ответвлениях к нагревательным приборам устанавливаются паровые вентили 5. В нагревательных приборах пар конденсируется, отдавая в отапливаемое помещение через стенки приборов скрытую теплоту парообразования.

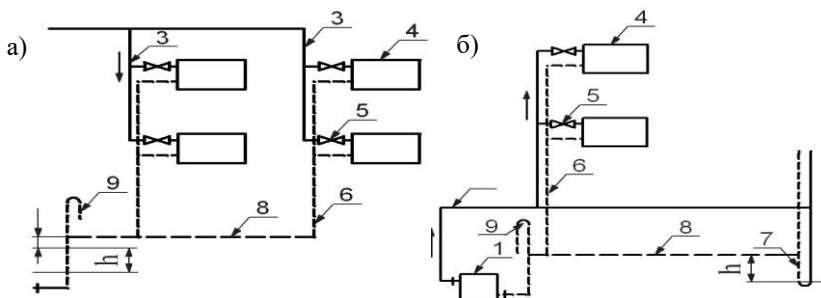


Рисунок 35 – Схемы паровой системы отопления

Конденсат после приборов уходит по конденсатному стояку 6 в общий конденсатопровод 8, прокладываемый с уклоном (не меньше 0,005) в направлении его движения, и направляется в котел или конденсатопровод внешней сети. В данной схеме для самотечного возвращения конденсата необходимо, чтобы столб конденсата уравновешивал давление пара в котле. Например, при давлении пара $p_{изб} = 0,2$ кПа высота h должна быть не менее 2 м. Для нормального удаления воздуха из системы диаметр конденсатопровода в рассматриваемой схеме должен быть таким, чтобы стекающий конденсат заполнял не больше половины диаметра трубы. При соблюдении этого условия воздушное пространство конденсатопровода с помощью трубы 9 сообщается с атмосферой. Место присоединения трубы 9 к конденсатопроводу должно быть выше уровня воды I–II не менее чем на 250 мм; запорную арматуру на ней не устанавливают. При этом условии магистральный конденсатопровод никогда полностью не будет заполняться водой. Такие системы называются системами парового отопления с “сухим” конденсатопроводом.

При большой протяженности паропровода в замкнутых системах для уменьшения заглублинения котельных конденсатопровод прокладывают ниже уровня воды в котле. Такой конденсатопровод называют “мокрым”, так как он весь заполняется конденсатом. Воздух удаляется из системы отопления с “мокрым” конденсатопроводом через специальную воздушную сеть из труб диаметром 15–20 мм, присоединяемую к конденсатным стоякам выше возможного уровня конденсата в них на 250 мм.

На рисунке 35, б приведена система с нижним распределением пара. Она отличается от системы с верхним распределением пара главным образом расположением магистрального паропровода, при котором устраивают специальный гидравлический затвор 7 или устанавливают водоотводчик у дальнего стояка для отведения конденсата из стояков и магистрального паропровода. Высота затвора должна компенсировать разность давлений в паро- и конденсатопроводах. Уклоны паропроводов равны 0,002 в сторону движения пара для свободного стекания конденсата.

Паровое отопление высокого давления $> 0,17$ МПа обычно принимают в тех случаях, когда пар вырабатывается в заводских условиях и основным потребителем его является производство.

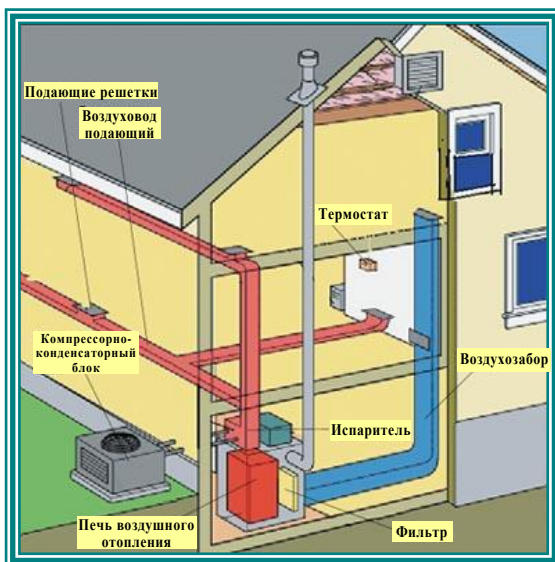
СПО высокого давления применяют только разомкнутые. Для предотвращения прорыва пара из отопительных приборов в конденсатопровод и конденсационный бак устанавливают конденсатоотводчики или подпорные шайбы, которые пропускают конденсат и задерживают пар.

8 ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

8.1 Достоинства и недостатки воздушного отопления

В системах воздушного отопления атмосферный воздух используется в качестве теплоносителя для обогрева помещений. Воздух нагревается за счет первичного теплоносителя – пара, горячей воды или газов в генераторе теплоты (калорифере) до заданной температуры и подается в помещение. Подаваемый воздух с температурой t_n , превышающей температуру воздуха помещения, отдает теплоту, необходимую для компенсации тепловых потерь. Как видим, воздух для отопления обычно является вторичным теплоносителем, так как нагревается в калориферах другим, первичным. Таким образом, система воздушного отопления фактически становится комбинированной – водовоздушной или паровоздушной (рисунк 36).

а)



б)

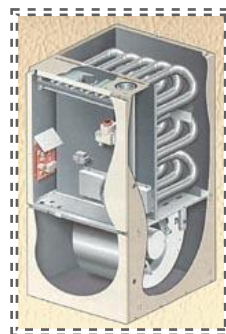


Рисунок 36 – Пример системы воздушного отопления (а) и разрез теплообменника, подготавливающего горячий воздух (б)

В системе воздушного отопления теплый воздух отдает избыток теплоты и, охладившись, возвращается для повторного нагревания. Этот процесс может осуществляться двумя способами:

- 1) нагретый воздух, попадая в помещение, смешивается с окружающим воздухом и охлаждается до температуры этого воздуха;
- 2) нагретый воздух не попадает в обогреваемое помещение, а перемещается в окружающих помещении каналах.

В настоящее время распространен *первый способ*.

Второй способ после натурной проверки в жилых зданиях не получил широкого распространения из-за больших потерь при воздушораспределении по каналам.

Преимуществом воздушного отопления является снижение первоначальных затрат за счет сокращения расходов на нагревательные приборы и повышенные санитарно-гигиенические показатели (высокая равномерность распределения температур по помещению, возможность создания благоприятной подвижности воздуха, возможность подачи очищенного и увлажненного воздуха). Достоинством системы является также меньшая металлоемкость и малая инерционность, дающая возможность получения быстрого отопительного эффекта при внезапных охлаждениях помещений (открывании ворот, внесении холодных массивных изделий и др.). Кроме того, воздушное отопление возможно совместить с системами вентиляции и кондиционирования воздуха.

К недостаткам систем воздушного отопления, ограничивающих их распространение, следует отнести: необходимость увеличения сечений воздухопроводов и каналов для транспортирования с помощью воздуха больших количеств тепла вследствие малой плотности и малой теплоемкости воздуха; значительные потери тепла при транспортировании нагретого воздуха по каналам большого сечения; эксплуатационные расходы в связи с дополнительной потребностью в электроэнергии для привода вентиляторов. Существенным недостатком систем воздушного отопления для жилых зданий является и наличие холодных токов воздуха от поверхностей, особенно окон и наружных стен из-за отсутствия радиаторов.

8.2 Основные схемы и отопительные агрегаты систем воздушного отопления

Системы воздушного отопления классифицируются по нескольким признакам.

По общему компоновочному оформлению, месту приготовления воздуха и способу его раздачи в отдельные помещения различают:

– *системы централизованного воздушного отопления* (центральные системы) с приготовлением воздуха в нагревательном центре и последующей раздачей его по помещениям через сеть воздуховодов. Центральные системы воздушного отопления могут быть с механическим побуждением движения воздуха за счет вентилятора и с естественной циркуляцией (тепловой) за счет подогрева воздуха в тепловом центре;

– *системы местного отопления* (местные системы), использующие воздушно-отопительные агрегаты, предназначенные для отдельных помещений, в которых эти агрегаты обычно устанавливают.

По способу использования наружного воздуха системы подразделяются на *рециркуляционные, прямоточные и комбинированные*.

На рисунке 37 приведены принципиальные схемы местной системы, а на рисунке 38 принципиальные схемы центральной системы воздушного отопления.

Для местного воздушного отопления применяют:

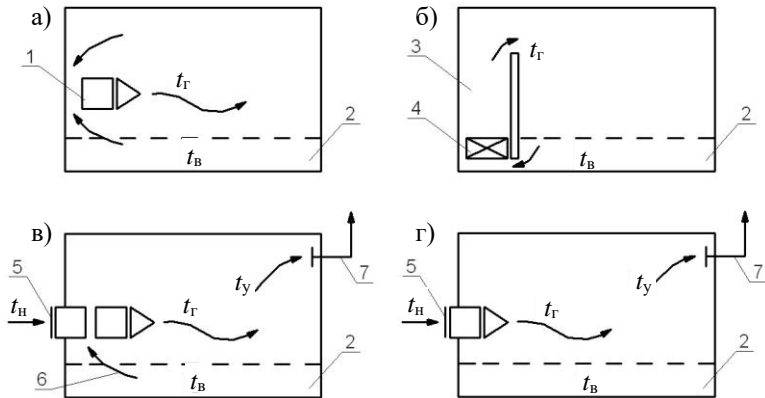
1) рециркуляционные отопительные агрегаты с механическим побуждением движения воздуха (см. рисунок 37, а);

2) отопительно-вентиляционные агрегаты с частичной рециркуляцией воздуха и прямоточные, также с механическим побуждением движения воздуха по схемам на рисунке 37, в, г;

3) рециркуляционные воздухонагреватели с естественным движением воздуха (см. рисунок 37, б)

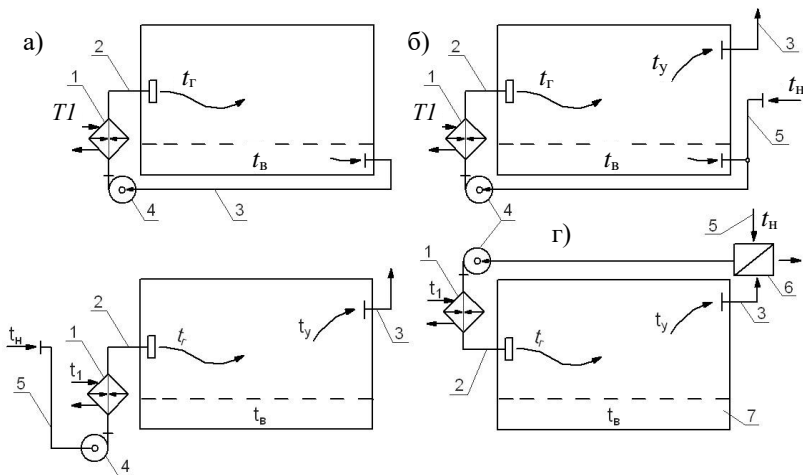
Центральное воздушное (см. рисунок 38) отопление применяют в помещениях производственных, гражданских и агропромышленных зданий при наличии центральной системы приточной вентиляции. Отопление осуществляют *по трем схемам*: с полной рециркуляцией, с частичной рециркуляцией и прямоточной. В рабочее время центральное воздушное отопление подчиняется условиям вентилирования помещений. Приточный воздух нагревается до температуры более высокой, чем температура помещений в зависимости от теплопотребности, выявленной при составлении теплового баланса этих помещений.

Правилами гигиены устанавливается определенный верхний предел температуры – **воздух не следует нагревать выше 60 °С**, чтобы он не терял своих свойств как среда, вдыхаемая людьми. Эта температура и принимается как предельная для систем воздушного отопления помещений с постоянным или длительным (более 2 ч) пребыванием людей.



1 – отопительный агрегат; 2 – рабочая зона; 3 – канал нагретого воздуха;
 4 – теплообменник-калорифер; 5 – воздухозабор; 6 – рециркулирующий воздух;
 7 – канал вытяжной вентиляции

Рисунок 37 – Принципиальные схемы местной системы воздушного отопления *а, б* – полностью рециркуляционные; *в* – частично рециркуляционная; *г* – прямоточная;



1 – теплообменник-калорифер; 2 – канал нагретого воздуха с воздухораспределителем на конце; 3 – канал внутреннего воздуха; 4 – вентилятор; 5 – канал наружного воздуха; 6 – воздухо-воздушный теплообменник; 7 – рабочая зона

Рисунок 38 – Принципиальные схемы центральной системы воздушного отопления: *а* – полностью рециркуляционная; *б* – частично рециркуляционная; *в* – прямоточная; *г* – рекуперативная

Однако если люди подвергаются длительному непосредственному влиянию струи нагретого воздуха, температуру рекомендуется понижать до 25 °С. В то же время для завес у внешних ворот и тех технологических проемов, выходящих наружу, температуру можно поднять до 70 °С, а для завес у наружных входных дверей – повысить до 50 °С.

В рециркуляционных системах воздух, забираемый из помещений, после нагревания в калорифере вновь возвращается в них для отопления (см. рисунки 37 *а*, 38, *б*).

Рассматриваемые системы обеспечивают только отопление, поэтому их применяют в помещениях, где не требуется вентиляция или где она осуществляется другими средствами (например, проветриванием). Использование таких систем запрещается там, где недопустим перенос специфических вредностей из одного помещения в другое через общий нагревательный центр.

Поскольку рециркуляционные системы предназначены только для отопления, расход воздуха в них, в целях экономии мощности на привод вентиляторов, должен приниматься минимальным, для чего температуру приточного (наружного) воздуха следует назначать максимально допустимой. Расчетный расход воздуха $G_{\text{расч}}$, кг/ч, следует определять по формуле

$$G_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{c_{\text{в}}(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})}, \quad (72)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – необходимое для отопления количество теплоты, кДж/ч;
 $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С).

Прямоточные и комбинированные системы обеспечивают вентиляцию и отопление, поэтому они могут быть названы *системами отопления, совмещенными с вентиляцией*.

В прямоточных системах используется только наружный воздух. Поэтому она отличается самыми высокими эксплуатационными затратами. Ее применяют, когда требуется вентиляция помещений в

объеме не меньшем, чем объем воздуха для отопления. Для уменьшения теплотрат в приточной системе при сохранении ее основного преимущества – полной вентиляции помещения – используют схему с рекуперацией (см. рисунок 38, з), где применен дополнительный воздухо-воздушный теплообменник, позволяющий утилизировать часть теплоты уходящего воздуха для нагревания наружного воздуха.

Расход наружного воздуха определяется исходя из потребностей вентиляции и отопления. В качестве расчетного следует принимать наибольшее значение. Если при этом окажется, что для вентиляции требуется расход воздуха $G_{\text{вент}} > G_{\text{от}}$, то необходимо $G_{\text{расч}}$ брать равным $G_{\text{вент}}$ и произвести перерасчет температуры приточного воздуха для обеспечения нужной теплопроизводительности при принятом расходе воздуха:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} + Q_{\text{расч}} / (G_{\text{расч}} c_{\text{в}}). \quad (73)$$

В комбинированных системах используется смесь наружного и рециркуляционного воздуха. Устраивать такие системы целесообразно в случаях, когда для расчетных условий количество воздуха для отопления больше, чем для вентиляции ($G_{\text{от}} > G_{\text{вент}}$). При этом общая производительность системы по воздуху $G_{\text{расч}}$ определяется из выражения (72). Если количество наружного воздуха ограничивается потребностями вентиляции ($G_{\text{нар}} = G_{\text{вент}}$), тогда количество рециркуляционного воздуха подсчитывается по формуле

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{расч}} - G_{\text{нар}}. \quad (74)$$

Система воздушного отопления с частичной рециркуляцией (или комбинированные системы) устраивается с механическим побуждением движения воздуха и является наиболее гибкой. Такие системы могут работать по схемам рециркуляционной и приточной систем, что делает их удобными для помещений с переменной тепловой нагрузкой, т.е. с меняющейся потребностью и вентиляцией (например, театров, клубов, промышленных цехов в течение суток нагрузкой и т.д.), а также для использования в различные периоды

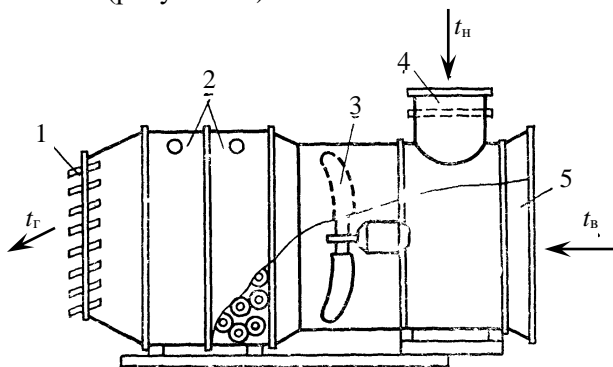
года. При этих трех режимах система работает как отопительно-вентиляционная, чисто вентиляционная и чисто отопительная. Все зависит от того, забирается ли и в каком количестве воздух снаружи и до какой температуры нагревается воздух в калорифере.

Применение рециркуляции снижает расход тепла на подогрев воздуха в калориферах, поэтому *наиболее экономична работа систем по рециркуляционной схеме, а наименее экономична работа по прямоточной схеме.*

Отопительным агрегатом называется комплекс стандартных элементов, собираемых воедино на заводе, имеющий определенную воздушную, тепловую и электрическую мощность.

Агрегаты изготавливают для установки непосредственно в отапливаемых помещениях. Они представляют собой компактное, мощное и сравнительно недорогое оборудование. Недостатком агрегатов является шум при действии вентилятора, чем ограничивает возможность их применения в рабочее время. Отопительные агрегаты подразделяются на *подвесные и напольные*.

Отопительные и отопительно-вентиляционные агрегаты состоят из стандартных элементов: калорифера, вентилятора и регулирующих лопаток (рисунок 39).



- 1 – направляющая решетка; 2 – калорифер; 3 – осевой вентилятор; 4 – забор наружного воздуха; 5 – забор внутреннего воздуха

Рисунок 39 –
Отопительный агрегат

Воздух от отопительных агрегатов местных систем поступает в помещение без каналов – сосредоточенно. В центральных системах подача воздуха может осуществляться как сосредоточенной, так и распределяться по помещению с помощью каналов-воздуховодов.

Отопление с сосредоточенной подачей воздуха подучило широкое применение в больших производственных помещениях. При таком способе возможно достижение равномерного распределения температур в помещении, а отсутствие каналов делает систему экономически выгодной.

Выпуск воздуха при сосредоточенной подаче осуществляется компактными или веерными струями через регулирующие решетки, устанавливаемые в воздуховыпускном отверстии на высоте h_n от пола. При высоте помещения $H_n < 8$ м $h_n = 0,85H_n$, при $H_n > 8$ м $h_n = (0,35...0,65) H_n$.

Скорость выходящего воздуха при сосредоточенной подаче или число отопительных агрегатов определяется размерами помещения и допускаемым расстоянием B между струями в плане.

Величина B не должна превышать трех высот помещения, т. е. $B \leq 3 H_{п}$. Длина участка l , обслуживаемого струей, зависит от дальности струи и принимается не более $m\sqrt{F_{п}}$, где m – скоростной коэффициент воздухораспределительного устройства, принимаемый по данным [9], $F_{п}$ – площадь поперечного сечения помещения, приходящегося на одну струю. При большой длине помещения, когда $l_{п} > l$, необходимо устанавливать несколько рядов воздухоподдачи.

Рециркуляционный воздухонагреватель с естественным движением воздуха – это отопительный прибор типа высокого конвектора, обогреваемый теплоносителем – водой.

По способу отопления помещения, связанному с интенсивной циркуляцией воздуха при сосредоточенном его нагревании, рециркуляционный воздухонагреватель считают прибором местного воздушного отопления. Классифицировать применяющиеся в настоящее время калориферы можно по нескольким признакам.

По виду теплоносителя различают калориферы водяные, паровые, электрические. В свою очередь водяные и паровые калориферы подразделяются по виду поверхности на гладкотрубчатые и ребристые, по характеру движения теплоносителя – на одноходовые и многоходовые. Водяные калориферы в настоящее время получили преимущественное распространение. Нагревание воздуха происходит в них в основном за счет конвективной теплопередачи при обтекании воздухом теплопередающей поверхности.

Достоинствами рециркуляционных воздухонагревателей являются:

- 1) создание сильного восходящего потока нагретого воздуха, вызывающего интенсивную циркуляцию воздуха с выравниванием температуры по площади и высоте помещения;
- 2) простота устройства и эксплуатации, надежность действия без специального наблюдения;
- 3) пониженные стоимость и расход металла на отопительную установку;
- 4) количественное саморегулирование, характерное для системы отопления с естественной циркуляцией воды.

По мере изменения температуры наружного воздуха усиливается теплопередача от теплоносителя к воздуху и возрастает кратность воздухообмена в помещении.

8.3 Основы расчета воздушного отопления

Количество воздуха, необходимое для системы воздушного отопления, кг/ч, рассчитываем с учетом формулы (72)

$$G = \frac{Q_{\text{расч}}}{c_{\text{в}}(t_{\text{пр}} - t_{\text{в}})}, \quad (75)$$

где $t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха, подаваемого в помещение, °С;
 $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С.

Величина G определяет сечение воздухопроводов и расход электроэнергии на отопительно-вентиляционную установку. Для уменьшения расхода воздуха необходимо, чтобы $t_{\text{пр}}$ была по возможности высокой.

При подаче воздуха в пределах рабочей зоны допускается $t_{\text{пр}}$ до +45 °С, но не ниже +25 °С. При подаче воздуха на любой высоте $t_{\text{пр}}$ определяется расчетом с условием, что в рабочей зоне обеспечивается заданная температура воздуха.

Расход теплоты на нагрев воздуха зависит от типа системы:

$$\text{при прямоточной системе } Q_{\text{п}} = Gc(t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}); \quad (76)$$

$$\text{при полной рециркуляции } Q_{\text{п}} = Gc(t_{\text{пр}} - t_{\text{в}}); \quad (77)$$

$$\text{при частичной рециркуляции } Q_{\text{п}} = G_{\text{н}}c(t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}) + G_{\text{р}}c(t_{\text{пр}} - t_{\text{в}}), \quad (78)$$

где $G_{\text{н}}$ и $G_{\text{р}}$ – массы наружного и рециркуляционного воздуха.

Поверхности нагрева калориферов систем воздушного отопления определяются по формуле

$$F = \frac{Q}{k\Delta t}, \quad (79)$$

где k – коэффициент теплопередачи калорифера;

Δt – расчетная разность температур,

$$\Delta t = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{t_1 + t_{\text{н}}}{2}; \quad (80)$$

где t_1 и t_2 – температуры греющего теплоносителя на входе и выходе из калорифера;

t_1 – температура воды при входе в калорифер (в прямоточной системе $t_1 = t_n$; в рециркуляционной системе $t_1 = t_b$; в системах с частичной рециркуляцией t_1 равна температуре смеси наружного и рециркуляционного воздуха).

9 ПАНЕЛЬНО-ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ

9.1 Достоинства и недостатки системы панельно-лучистого отопления

Под **системой панельно-лучистого отопления (СПЛО)** следует понимать систему, при которой средневзвешенная температура поверхностей t_R выше температуры воздуха t_v , в то время как при конвективной системе отопления (посредством конвекторов или радиаторов) t_R всегда ниже t_v , так как ограждения обогреваются в основном этим же воздухом.

Для получения лучистого отопления применяют *греющие панели* – отопительные приборы со сплошной гладкой нагревательной поверхностью. Греющие панели совместно с теплопроводами образуют систему панельно-лучистого отопления. При использовании такой системы в помещениях создается температурная обстановка, характерная для лучистого способа отопления. Благодаря лучистому теплообмену повышается температура внутренней поверхности ограждений по сравнению с температурой при конвективном отоплении и в большинстве случаев она превышает температуру воздуха помещения.

Классифицировать панели СПЛО можно следующим образом.

По месту размещения панели бывают стеновые, напольные и потолочные.

В зависимости от материала в СПЛО применяют металлические панели с отражательными экранами и бетонные панели.

По конструктивному исполнению лучистые системы отопления подразделяются:

- на панельные, по трубкам которых проходит перегретая вода;
- трубчатые змеевики, закладываемые при изготовлении строительных конструкций;
- газовоздушные;
- радиационные подвесные или настенные.

Достоинства СПЛО:

- обеспечение повышенных санитарно-гигиенических требований;
- совмещение нагревательных элементов со строительными конструкциями;

- снижение расхода металла и трудовых затрат на монтаж;
- улучшение интерьера помещения.

Недостатки СПЛО:

- непосредственное облучение мебели и других предметов;
- большая тепловая инерция систем, осложняющая регулирование теплоотдачи отопительных панелей;
- повышение капитальных вложений (по сравнению с конвективным отоплением) при низкой температуре теплоносителя.

Лучистое отопление может быть устроено при низкой (до 70 °С), средней (от 70 до 250 °С) и высокой (до 900 °С) температуре излучающей поверхности. Система отопления делается при этом местной или центральной.

К местной системе относят отопление помещений панелями и отражательными экранами, если энергоносителями для них являются электрический ток и горючий газ, а также твердое топливо при сжигании его в каминах. В настоящее время предусмотрено применение излучателей при температуре их поверхности не выше 250 °С.

В центральной системе панельно-лучистого отопления применяют низко- и среднетемпературные панели и отражательные экраны с централизованным теплоснабжением при помощи нагретых воды и воздуха, пара высокого и низкого давления.

В системах панельно-лучистого отопления в качестве нагревательной поверхности используют искусственно обогреваемые потолок, стены, пол или специально изготовленные панели приставного или подвесного типа. Соответственно СПЛО называют потолочной, стеновой или напольной.

Месторасположение панелей и отражательных экранов выбирают на основании технологических, гигиенических и технико-экономических соображений.

9.2 Теплопередача и конструкции отопительных панелей

В помещении лучистый теплообмен всегда сопровождается конвективным. Вследствие различия температуры поверхностей возникает движение воздуха в помещении, которое усиливается благодаря развитию нисходящих потоков воздуха у охлаждающих

поверхностей. В результате отопительная панель передает часть теплоты конвекцией воздуху, который перемещается у ее поверхности.

Размещение отопительной панели в *потолке* затрудняет конвективный теплоперенос, и в теплопередаче панели теплообмен излучением составляет 70–75 %.

Греющая панель в *полу* активизирует теплоперенос конвекцией, и на долю теплообмена излучением приходится всего 30–40 %.

Вертикальная панель в *стене* в зависимости от высоты передает излучением 30–60 % всей теплоты, причем доля теплообмена излучением возрастает с увеличением высоты панели.

Лишь потолочное панельное отопление, во всех случаях передающее в помещение излучением более 50 %, могло бы быть названо лучистым. При напольном отоплении, а также почти всегда при стеновом в общей теплопередаче панелей преобладает конвективный теплоперенос. Однако способ отопления – лучистое оно или конвективное – характеризуется не доминирующим способом теплопередачи, а температурной обстановкой в помещении.

В отличие от конвективного способа отопления, при котором радиационная температура t_R ниже температуры воздуха в помещении t_B , при лучистом отоплении $t_R > t_B$, так как температуры нагретых поверхностей в помещении выше температуры воздуха. При таком соотношении t_R и t_B доля отдачи теплоты человеком за счет лучеиспускания уменьшается и, следовательно, комфортные условия могут быть достигнуты при более низкой температуре воздуха помещения.

При наличии нагретых панелей может возникнуть опасность повышенного теплового облучения, поэтому санитарными правилами ограничиваются значения температур поверхностей потолочных и стеновых панелей.

В соответствии со вторым условием комфортности предельно допустимая температура поверхности потолочной панели τ , °С, определяется в зависимости от ее размеров и расстояния до головы человека:

$$\tau \leq 19,2 + 8,7 / \varphi_{ч-п} \quad (81)$$

Коэффициент облучённости с человека на панель определяется по формуле

$$\varphi_{ч-п} = 1 - 0,8(y/l_{п}), \quad (82)$$

где y – расстояние от головы человека до потолочной панели (для стеновой панели $y = 1$ м);

$l_{п}$ – размер отопительной панели (осредненный), $l_{п} = F_{п}^{0,5}$, где $F_{п}$ – площадь панели.

Температура обогреваемых поверхностей при различном положении панелей не должна превышать следующих значений:

- для *напольных* панелей 26 °С;
- для *потолочных* при высоте помещения 2,5–2,9 м – 28 °С , 2,9–3,0 – 30 °С , 3,1–3,4 м – 33 °С;
- для *перегородок и стен* на высоте 1 м от пола 35 °С, выше 1 м – 45 °С.

Видно, что температура стеновых панелей допускается более высокой, чем потолочных, вследствие чего поверхность нагрева стеновых панелей меньше потолочных. Кроме того, монтаж панелей в стенах и перегородках проще потолочных. Эти факторы обуславливают более широкое применение стеновых панелей.

Металлические панели предназначены для отопления широких производственных помещений, перекрытых фермами, не нуждающихся в усиленной вентиляции (механические, инструментальные цехи, ангары и пр.). Излучающие панели, подвешиваемые в верхней зоне таких помещений, состоят из металлического отражательного экрана с козырьками, к нижней поверхности которого прикреплены греющие трубы, а верхняя поверхность покрыта слоем тепловой изоляции (рисунок 40).

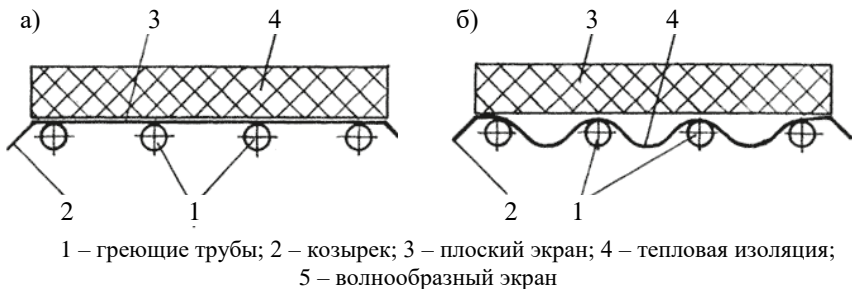


Рисунок 40 – Подвесная металлическая отопительная панель:
а – с плоским экраном; б – с экраном волнообразной формы

Металлические отопительные панели обогреваются высокотемпературным теплоносителем – паром или водой с параметрами

150–170 °С. При воде при средней разности температуры 95 °С поверхностная плотность общей теплоотдачи металлических панелей составляет 800 Вт/м².

Бетонные панели – приборы системы панельно-лучистого отопления с замоноличенными в них стальными регистрами и стояками, по которым циркулирует горячая вода, или электропроводниками (в случаях, когда теплоноситель не горячая вода, а электрический ток).

Для изготовления более распространенных бетонных отопительных панелей используется тяжелый бетон, обладающий сравнительно высокой теплопроводностью до 1,5 Вт/(м·°С) при 0 °С и плотности в сухом состоянии 2400 кг/м³. Нагревательные элементы чаще всего устраивают из металлополимерных труб.

В индустриальном домостроении для размещения элементов систем панельно-лучистого отопления могут служить панели наружных и внутренних стен или перекрытий. В теплотехническом отношении наиболее целесообразно размещение приборов панельного отопления в подоконной зоне наружных стен. В этом случае тепловое излучение прибора нейтрализует влияние токов холодного воздуха, нисходящих от оконных проемов. Однако такое размещение отопительного прибора может привести к излишним теплопотерям вследствие излучения части тепла наружу. Поэтому *непосредственно за отопительным прибором следует располагать слой эффективного теплоизолирующего материала.*

В домах с панельными стенами из листовых материалов, кроме размещения в стене дополнительного утепляющего слоя, предусматривают установку отопительной панели на отдельные опоры на отnose от стены. Это позволяет помимо излучения использовать теплоотдачу за счет конвекции.

Потолочные отопительные панели могут быть совмещенными и подвесными. Также для усиления теплопередачи вниз в верхней части перекрытия помещают теплоизоляционный слой.

Совмещенные потолочные отопительные панели применяют при условии, что температура теплоносителя поддерживается на невысоком уровне (до 55–60 °С). При температуре теплоносителя выше

60 °С (60–90 °С) отопительные панели описанных конструкций размещают в помещениях длительного пребывания людей не по всей площади, а только по периметру потолка или по контуру здания, вдоль его наружных стен.

Стеновые отопительные панели бывают двух типов: плинтусные и подоконные. Применяются панели совмещенного вида:

- *перегородочные* панели, частично заменяющие внутренние стены,
- *стеновые* панели, встроенные в наружные стены зданий.

Перегородочные отопительные панели, устанавливавшиеся впритык к наружным стенам, включали в себя, помимо греющих труб, отопительные стояки, благодаря чему открыто расположенные трубы в помещениях отсутствовали. Теплоотдача этих панелей была двухсторонней и целиком "полезной", тепловая изоляция не требовалась. На рисунке 41 изображена одна из возможных укладок труб в стене. Укладка труб идет методом змеевика или двойного змеевика. Оптимальное удаление воздуха обеспечивается в том случае, если средний шаг укладки 10 см достигается чередованием шага укладки в 5 или 15 см.

- 1 – металлополимерная труба $\varnothing 14 \times 1,5$ мм;
- 2 – фиксирующая шина;
- 3 – отстенная теплоизоляция;
- 4 – подключение обратной магистрали;
- 5 – подключение подающей магистрали;
- 6 – бетонная плита перекрытия;
- 7 – шагозвукоизоляция;
- 8 – стяжка + покрытие пола;
- 9 – крепежный дюбель

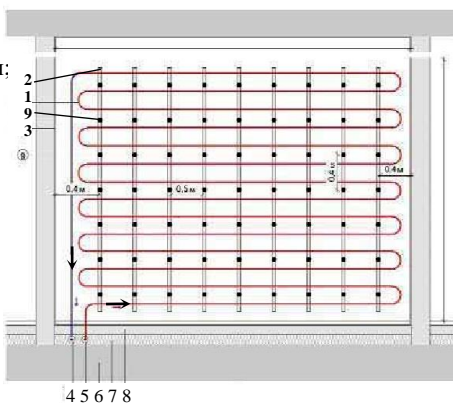


Рисунок 41 – Схематичное изображение системы настенного отопления REHAU с укладкой труб змеевиком при «мокром» способе монтажа (www.REHAU.ru)

Проектирование и монтаж систем настенного отопления REHAU с использованием «сухого» и «мокрого» способа монтажа следует проводить, руководствуясь требованиями строительных норм.

Используя систему настенного отопления, следует иметь в виду, что зона положительных температур смещается к наружной поверхности стены. Опасность замерзания конденсата в слое теплоизоляции практически исключается. При этом массивная часть стены при наружной теплоизоляции может выполнять функцию теплоаккумулятора. При размещении теплоизоляции следует учитывать смещение точки росы.

Подсоединение систем настенного отопления может происходить по следующим схемам: независимо, последовательно или попутно.

На рисунке 42 представлена схема независимого подсоединения систем настенного отопления для различных зон через общий распределительный коллектор.

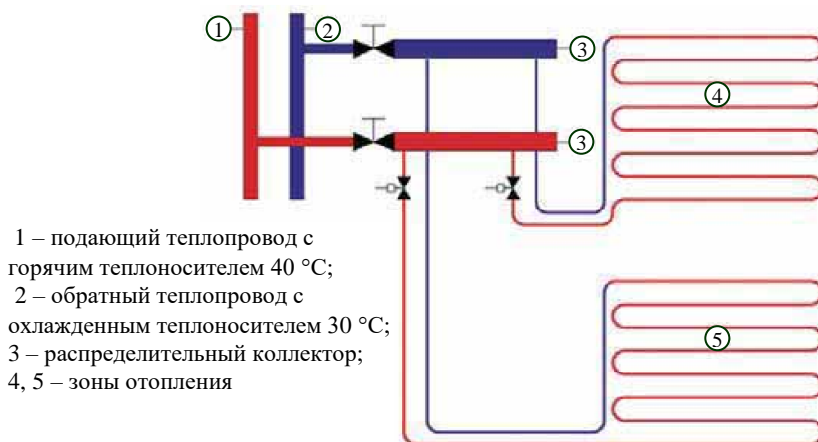


Рисунок 42 – Схема коллекторного присоединения зон настенного отопления

Подоконные бетонные отопительные панели устанавливают в тех местах под окнами помещений, где принято размещать металлические отопительные приборы. Панели могут быть приставными или вставленными в выемку (нишу) в стене. Такие панели бывают с односторонней и двухсторонней теплоотдачей с их поверхности. Соединяются они с трубами системы отопления как обычные отопительные приборы.

При использовании подоконных панелей сокращается площадь охлажденной поверхности наружных стен, уменьшаются радиационное охлаждение людей и зона распространения холодного воздуха от окон, не затрудняется, как при перегородочных панелях, расстановка предметов в помещениях.

В Беларуси такие системы целесообразно использовать для обогрева больших складских помещений, взрывопожароопасных участков и цехов, имеющих категорию «А».

10 МЕСТНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

10.1 Печное отопление

Печное отопление применяется на протяжении многих столетий и получило широкое распространение в различных странах мира. *Печное отопление* относится к местным системам отопления, при которых получение, перенос и передача теплоты происходит в одном и том же обогреваемом помещении [39, 40].

Основные элементы отопительной печи (рисунок 43) – *топливник* (для сжигания топлива), *газоходы* (каналы), по которым проходят поступающие из топливника горячие газы, *дымовая труба*.

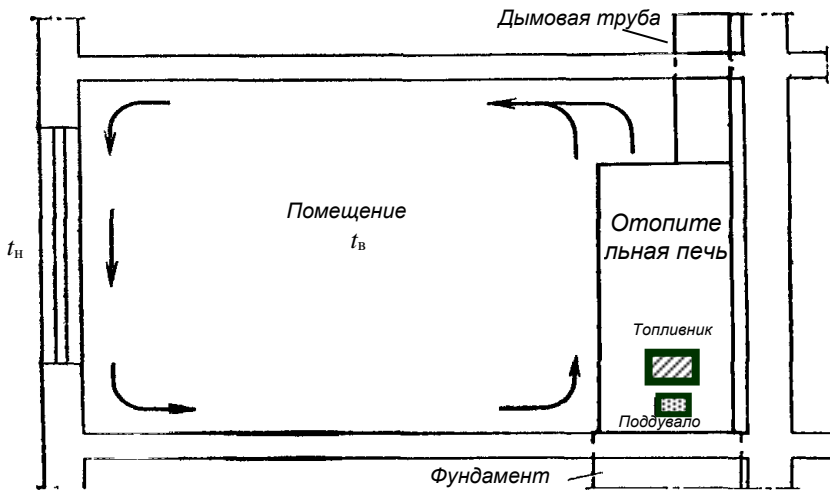


Рисунок 43 – Направление движения воздуха в помещении при расположении отопительной печи у внутренней стены

Теплота генерируется при сгорании топлива в топливнике печи. Горячие дымовые газы нагревают внутреннюю поверхность каналов-дымооборотов, теплота через стенки каналов передается в отапливаемое помещение. Охладившиеся дымовые газы удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Печное отопление имеет распространение и в настоящее время. В нашей стране почти треть жилого фонда (в основном за счет старых

домов в сельской местности) оборудована печами. При новом капитальном строительстве печное отопление применяется ограниченно.

Топливо сжигается в печи периодически, поэтому теплота поступает в помещение неравномерно и в нем наблюдается *нестационарный* тепловой режим. Наибольшая теплоотдача печи приходится на конец топки, когда температура ее стенок достигает максимума;

наименьшая теплоотдача относится ко времени перед началом очередной топки.

Коэффициент неравномерности теплоотдачи зависит от числа топок в сутки; определяется для каждой конструкции печи экспериментально. Колебания теплоподачи вызывают изменение температуры воздуха и радиационной температуры помещения.

По действующим нормам (п. 6.60, СНБ 4.02.01-03) не допускается применение печей для отопления производственных помещений категорий А, Б и В. Устройство печного отопления в городах и населенных пунктах городского типа должно специально обосновываться и допускается при отсутствии тепловых сетей в населенном пункте.

Печное отопление допускается в жилых домах, зданиях сельских Советов и управлений при числе этажей не более двух (не считая цокольного этажа), небольших общественных зданиях (например, в общеобразовательных школах при числе мест не более 80), производственных помещениях категорий Г и Д площадью не более 500 м². Печное отопление часто устраивается в дачных домиках и банях.

Достоинства печного отопления. Распространение печного отопления объясняется меньшей стоимостью устройства по сравнению с другими видами отопления, малой затратой металла (только на колосниковую решетку, дверцы, задвижки, иногда на каркас), простотой устройства и обслуживания, независимостью отопления отдельных помещений, одновременным обеспечением вентиляции помещений.

Недостатки печного отопления: пониженный уровень теплового комфорта по сравнению с водяным отоплением (нестационарный тепловой режим, а также переохлаждение нижней зоны помещения);

затруднения при эксплуатации (заботы о топливе, уход за печью, загрязнение помещения); повышенная пожарная опасность; возможность отравления окисью углерода при неправильном уходе за печью; потеря (до 5 %) рабочей площади помещения.

Существуют много различных видов печей.

Печи-калориферы – печи, служащие для обогрева помещения. Горячий воздух поступает в комнаты по коротким воздуховодам, идущим от печи.

Печи-каменки периодического действия – печи, которые имеют массивную кирпичную кладку и значительный объем камней, что защищает наружные стены от перегрева и сохраняет долгое время тепло. Каменная засыпка нагревается открытым огнем в нижней части до 1000 °С, а в верхней – до 500 °С. При таких температурах сажа полностью сгорает. Если камни отделены от дымовых газов плитой, то она может использоваться как в режиме постоянного действия, так и периодического.

Печи-каменки постоянного (длительного) действия – печи, имеющие минимальную толщину стенок и минимальный объем каменной засыпки. Температура камней достигает 300–350 °С. При использовании газообразного или жидкого топлива она регулируется количеством поступаемого топлива, а при применении электричества – за счет изменения силы тока. Такие печи обязательно должны быть оснащены автоматикой, отключающей или уменьшающей питание при повышении температуры выше нормы. Преимущество этих печей в том, что камни отделены от дымовых газов железной плитой, что позволяет протапливать печь во время банных процедур.

Печи отопительные – печи, которые служат только для отопления помещения.

Печи отопительно-варочные – печи, используемые как для отопления помещений, так и для приготовления пищи, выпечки хлеба, т.е. печи комбинированного действия.

Печи специального назначения – печи, предназначенные для выполнения специальных функций: банные печи-каменки, сушилки для одежды и обуви, печи для подогрева строительных материалов, для отопления гаражей, теплиц и т. д.

Конструктивное исполнение печей чрезвычайно разнообразно. На конструкцию оказывают влияние вид используемого топлива и технология возведения печей. Отличаются основные материалы

массива, толщина его стенок, форма печей в плане и их высота; схемы движения дымовых газов внутри печей и способы их отвода в атмосферу.

Печи рассчитывают на различную периодичность использования их в течение суток. Периодичность использования печи зависит от ее *теплоемкости*, т. е. от того количества теплоты, которое накапливается (аккумулируется) в массиве печи во время топки и передается затем в помещение вплоть до начала следующей топки. Принято считать, что новую топку печи необходимо начинать, когда средняя температура ее внешней поверхности понизится до температуры, превышающей на 10 °С температуру воздуха в помещении.

Период времени от конца одной топки до начала другой называется *сроком остывания печи*.

Классификация отопительных печей

По теплоемкости печи делят на *теплоемкие* и *нетеплоемкие*. Понятие о сроке остывания относится к теплоемким печам, так как нетеплоемкие печи теплоту не аккумулируют и требуют постоянной топки.

Теплоемкие печи в зависимости от срока их остывания подразделяют:

- на печи *большой* (со сроком остывания до 12 ч);
- *средней* (8 ч);
- *малой* (3–4 ч) теплоемкости.

Таким образом, печи большой теплоемкости потребуется протапливать при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления (параметры Б по СНБ 2.04.01-97) 2 раза в сутки, печи средней теплоемкости – 3 раза, печи малой теплоемкости – топить с незначительными перерывами.

Активным объемом называют объем нагревающегося массива печи (включая пустоты), определяемый произведением площади печи на уровне низа топки на активную (расчетную) высоту. Печи, имеющие активный объем 0,2 м³ и более, относят к теплоемким, при активном объеме менее 0,2 м³ печи считают нетеплоемкими.

Теплоемкие печи применяют для отопления жилых и общественных зданий, нетеплоемкие – для отопления зданий с кратковременным пребыванием людей.

По температуре теплоотдающей поверхности в соответствии с предъявляемыми требованиями различают:

- *печи умеренного прогрева* (толстостенные печи с толщиной стенок 120 мм и более, нагревающиеся в отдельных местах до температуры 90 °С);
- *повышенного прогрева* (тонкостенные печи с толщиной стенок газохода до 70 мм, температура поверхности которых в отдельных точках доходит до 110–120 °С);
- *высокого прогрева* (печи, температура поверхности которых не ограничена).

По схеме движения дымовых газов:

- с движением газов по каналам, соединенным *последовательно*;
- движением газов по каналам, соединенным *параллельно*;
- свободным движением газов – *бесканальные* (колпаковые);
- движением газов по *комбинированной* системе каналов с нижним прогревом (с подпочным дымооборотом) – последовательных, параллельных, с бесканальной надпочной частью;
- движением газов по каналам, соединенным последовательно вокруг *тепловоздушных камер*.

По материалу массива и отделке внешней поверхности печи бывают (в порядке убывания теплоемкости):

- кирпичные изразцовые;
- кирпичные оштукатуренные;
- бетонные из жаростойких блоков;
- кирпичные в металлических футлярах;
- стальные с внутренней футеровкой из огнеупорного кирпича;
- чугунные без футеровки.

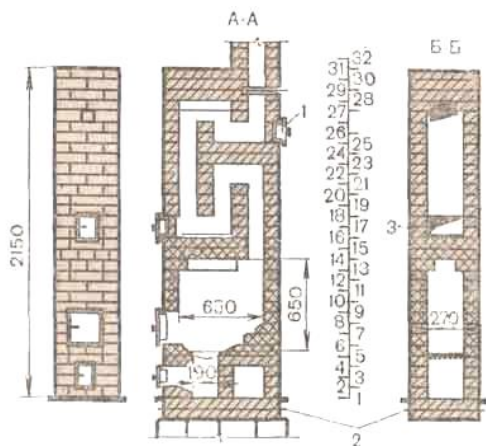
По форме в плане печи выполняют прямоугольными, квадратными, круглыми, угловыми (треугольными).

По способу отвода дымовых газов различают печи с удалением газов через внутрстенные каналы, через насадные и коренные дымовые трубы. Внутрстенные дымовые каналы устраивают в кирпичной кладке стен зданий. Печи соединяют с каналами горизонтальными металлическими патрубками длиной не более 400 мм. Насадные трубы возводят непосредственно над печами. Коренные трубы сооружают относительно редко на самостоятельных фундаментах.

При устройстве печного отопления не допускается отвод дымовых газов в вентиляционные каналы, а также установка вентиляционных решеток на дымовых каналах. Следовательно, каналы обеих систем — печного отопления и естественной вытяжной вентиляции — должны быть обособлены во избежание нарушения их действия.

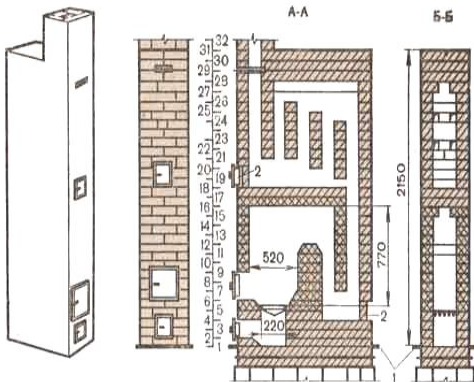
В Беларуси и России большое распространение, особенно в сельских районах, получила так называемая русская печь. Она проста по конструкции и используется для отопления помещений, приготовления пищи, выпечки хлеба и др.

При массовом строительстве обычно используют типовые печи (рисунок 44), заранее разработанные для сжигания определенного вида топлива, причем печи могут быть рассчитаны на периодическую топку, на непрерывное или затяжное горение. Конструкции таких печей имеют теплотехнические характеристики, полученные на основе лабораторных испытаний.



Отопительная печь с теплоотдачей 1760 ккал/ч имеет размеры: ширину – 510 мм, длину – 890, высоту – 2150 мм. На переднюю и заднюю стенки приходится по 335 ккал/ч, а на правую и левую – по 635 ккал/ч

Отопительная печь с теплоотдачей 2400 ккал/ч имеет размеры: ширину – 510 мм, длину – 1400, высоту – 2160 мм. На переднюю и заднюю стенки приходится по 280 ккал/ч, а на правую и левую – по 920 ккал/ч



Печное отопление устраивают преимущественно в малоэтажных зданиях в районах, не обслуживаемых системами централизованного теплоснабжения.

К современным печам предъявляются следующие **требования**:

- 1) быстрый прогрев;
- 2) длительная отдача тепла (высокая теплоемкость);
- 3) минимальные габариты при достаточной теплоотдаче;
- 4) надежность и простота в эксплуатации;
- 5) экономичность.

На быстроту нагрева, в первую очередь, влияет количество сжигаемых дров, т. е. величина топки. Вторым условием является минимальная толщина стенок печи. Тут необходимо выбрать золотую середину между скоростью нагрева и необходимой теплоемкостью. Все же рекомендуется отдавать предпочтение повышенной теплоемкости при проектировании печи, а быстрый нагрев осуществлять другими способами.

Наличие металлических вставок также существенно влияет на скорость нагрева. Это может быть чугунный настил плиты, духовка или металлические трубы для конвекции воздуха. Недостаток металлических вставок – сильное относительное расширение, т.е. места соприкосновения металла с кирпичной кладкой являются напряженными и снижают надежность печи.

Еще один способ добиться быстрой отдачи тепла – это возможность менять режимы топки: печь – камин.

Теплоемкость зависит от: толщины стенок или массивности печи, а также материала печи. Так, например, финские печи “Туликиви”, сделанные из уникального камня талькокарбоната, накапливают примерно в 2,5 раза больше тепла, чем кирпичные. А для увеличения теплоемкости кирпичных печей используют изразцы.

Минимальные габариты. Теплоотдача зависит от площади зеркала печи. Усреднено 1 м² печи нагревает 15 м³ воздуха. Для увеличения нагреваемой поверхности возможно использование

внутренних конвекционных каналов. Металлические вставки увеличивают теплоотдачу в период топки.

Надежность. Разрушение кладки происходит в основном в местах соприкосновения материалов с разными коэффициентами расширения. Во избежание подобных проблем при кладке печи важно внимательно следить за температурными зазорами. Так, например, 1 м металла расширяется относительно кирпича на 2 см, 1 м шамотного кирпича – около 0,5 см. Не менее важно грамотно перевязывать кирпичи в кладке, при этом не следует часто применять перевязку в четверть кирпича – такая кладка не всегда надежна.

От систем дымоходов с горизонтальными каналами начали отказываться еще в XIX веке. Большое количество вертикальных каналов снижает тягу и увеличивает вероятность выпадения сажи, а также является частой причиной выпадения конденсата из-за низкой температуры дымовых газов.

Колпаковая печь – наиболее современная система. Требует минимум ухода, хорошо работает даже с невысокой трубой. Внутри колпака для равномерного нагрева стенок устанавливают насадку – выложенные на ребро кирпичи крест–накрест.

Экономичность печи зависит от полноты сгорания топлива, для чего необходимо выдержать высоту топки (0,5–1 м) или увеличить ее длину. Современные топки оборудуются системой вторичного воздуха, который подается в верхнюю зону факела и позволяет дожигать трудногорючие фракции топлива.

Противопожарные мероприятия

Древесные материалы воспламеняются при нагревании до температуры 300 °С, но если они долгое время находятся в соприкосновении с предметами, разогретыми даже до 100 °С, то приобретают свойства самовозгорания. Основное требование пожарной профилактики, чтобы нагреваемые поверхности печей и дымооборотов не соприкасались со сгораемыми частями здания, а деревянные или другие легковозгораемые части зданий должны находиться на достаточном расстоянии от горячих частей печи и дымооборотов или быть хорошо изолированными.

Особую опасность представляют **трещины**, образующиеся в массиве печи и дымовых каналах вследствие неравномерной осадки или **выкрашивания** глиняного раствора из швов в результате действия высокой температуры. Причиной пожара может также

служить возгорание сажи, накопившейся в большом количестве в дымовых каналах.

Для изоляции применяют негорючие материалы или с низкой теплопроводностью: красный кирпич, войлок, а также асбест в виде листов и шнура.

Соблюдение правил строительства печей, каминов и бань, а также правил пожарной безопасности способствует созданию благоприятных условий для жизни людей, обеспечивает безопасность очагов открытого огня в любой сезон, позволяет использовать их с полной нагрузкой в соответствии с назначением того или иного сооружения.

10.2 Газовое отопление

Газовое отопление – это вид отопления, при котором топливом служат горючие газы, сжигаемые в отопительных приборах (излучателях, каминах и др.), установленных в помещениях [22, 42].

Основное предназначение газового отопления – обогрев помещений теплым воздухом. Целесообразность широкого использования газа для отопления промышленных и коммунально-бытовых предприятий, а также в котельных централизованного теплоснабжения, особенно в крупных городах, в значительной мере определяется тем, что продукты его сгорания почти не загрязняют воздушный бассейн города, подача газа к потребителям происходит по трубопроводам, не загружается транспорт.

Газовое отопление имеет **два основных недостатка** – взрывоопасность газоздушных смесей и токсичность самого газа (особенно продуктов его сгорания), в связи с чем необходимо предусматривать систему безопасности, а также предъявлять повышенные требования при эксплуатации установок газового отопления. Внедрение автоматики и дистанционного управления при сжигании газа создаёт благоприятные условия для безопасности его применения. Котельные, работающие на газовом топливе, могут располагаться в верхнем этаже отапливаемого здания. Газ может использоваться также в комбинированных установках, которые обеспечивают зимой отопление зданий, а летом – их охлаждение.

Газовое отопление включает в себя газопроводы, подводящие газ к отопительным приборам, запорно-регулирующую арматуру и автоматически действующие приборы безопасности пользования газом.

Под термином "газовое отопление" понимают системы, работающие на газе:

- с комнатными печами;
- газовыми нагревателями;
- газовыми нетеплоёмкими отопительными приборами;
- газоздушными теплообменниками;
- газоздушными излучателями;
- газовыми горелками инфракрасного излучения.

Газовые печи наиболее экономичны среди других видов печей (их КПД примерно в 1,3 раза выше КПД печей на твердом топливе),

работа их может быть полностью автоматизирована. В печах устраивают горелочное устройство, главные элементы которого – основная и запальная горелки и автоматика безопасности. Основная горелка – эжекционная, первичный воздух (50 % необходимого для полного сжигания) проходит в горелку, остальная часть воздуха подмешивается к пламени непосредственно в топке. Автоматика безопасности предназначена для прекращения подачи газа на основную и запальные горелки в следующих случаях: при отсутствии тяги в дымоходе печи, погасании пламени на запальной горелке, падении давления газа перед горелкой ниже допустимого предела.

Газовые водонагреватели служат источником теплоты в квартирной системе отопления представляют собой напольный или подвесной шкаф из листовой стали. В конструкцию отопителя входят теплообменник в виде сварного штампованного радиатора, размещенного горизонтально и имеющего со стороны задней стенки аппарата трубы для входа и выхода воды, горелочные устройства с эжекционной горелкой, блоки автоматики.

Газовые нетеплоемкие отопительные приборы используют для обогрева жилых помещений в южных районах – камин радиационного и конвективного действия. *Камин радиационного действия* состоит из горелки инфракрасного излучения с керамической насадкой теплообменника, через который проходят продукты сгорания, отходящие от горелки и нагревающие воздух, дымоотводящего патрубка, в котором установлен регулятор тяги, и блока автоматики безопасности, отключающего подачу газа в горелку при погасании пламени. Камин конвективного действия устанавливается у наружной стены помещения и состоит из трех отсеков: собственно камеры сгорания, камеры уходящих газов и воздушного канала.

В системах воздушного отопления воздух может нагреваться в *газовоздушных теплообменниках*, когда теплота сгорания газа частично или полностью передается холодному воздуху. Смесительные газовоздушные теплообменники применяют для совместного отопления и вентиляции производственных помещений, когда вентиляционная тепловая нагрузка превышает отопительную, что характерно для большинства промышленных зданий. Все нагреватели оснащены автоматикой регулирования температуры смеси, а также автоматикой безопасности.

В системах *газовоздушного отопления с излучателями* функцию отопительных приборов выполняют теплоизлучающие трубы, проложенные в верхней зоне (не ниже 5 м от поверхности пола) помещения. Внутри замкнутого контура теплоизлучающих труб циркулирует смесь нагретого воздуха с продуктами сгорания. Теплоотдача с поверхности труб в помещение происходит преимущественно излучением (58 %).

10.3 Инфракрасные излучатели

Энергоносителем при инфракрасном отоплении может быть как электричество, так и газ. В системе газового лучистого отопления используются газовые горелки инфракрасного излучения.

Газовые инфракрасные обогреватели наиболее эффективны при расположении на высоте от 8 до 20 м. Возможно их использование и при высоте потолков до 50 м (рисунок 45).



Рисунок 45 – Система газового лучистого отопления с инфракрасным обогревателем

Они создают поток лучистой энергии в диапазоне длин волн, слабо поглощаемых воздухом, направленный сверху вниз на людей и оборудование.

Теплопередача от нагревателей к людям осуществляется непосредственно с помощью инфракрасных лучей (длина волн от 4 мкм до 1 мм электромагнитного спектра). Энергия инфракрасных лучей поглощается холодными поверхностями пола и других предметов, находящихся под ними, которые, в свою очередь, отдают накопленное ими тепло воздуху в помещении (конвективный обогрев).

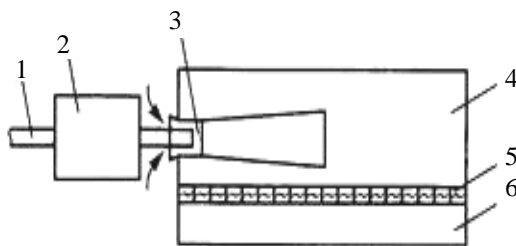
Керамические инфракрасные газовые излучатели предназначены для отопления производственных и складских помещений, объектов

животноводческого комплекса, спортивных, выставочных, торговых помещений, строительных площадок, автосалонов, мастерских, церковей высотой более 3,5 м.

Керамические инфракрасные излучатели работают на основе беспламенного сгорания газо-воздушной смеси внутри керамической плитки, что приводит к ее нагреванию до температуры 850–900 °С. При этом излучатель становится точечным источником тепла, обогревая людей и предметы, которые находятся в зоне излучения.

На рисунке 46 представлена принципиальная схема газового инфракрасного нагревателя.

- 1 – подвод газа; 2 – автоматика тарелочного устройства; 3 – смешивающая камера сгорания; 4 – распределительная камера продуктов сгорания газа; 5 – нагреваемые керамические перфорированные плитки; 6 – направляющий диффузор



потока излучения

Рисунок 46 – Принципиальная схема газового инфракрасного нагревателя

По трубопроводу 1 к блоку автоматики 2 подводится природный газ. Сгорание газа в камере 3 обеспечивается эжекцией воздуха (показано стрелками), в количестве, обеспечивающем высокую полноту сгорания газа, что контролируется автоматикой блока 2. Теплота сгорания газа распределяется в камере 4 и затрачивается на нагрев пористой керамической плитки 5. Через 40–50 с после зажигания газа керамическая плитка 5 нагревается до рабочей температуры 800–1000 °С. Нагретая до такой высокой температуры раскаленная керамическая плитка становится источником теплового инфракрасного излучения.

На рисунке 47 показан газовый излучатель инфракрасного типа ГИИ, производимый фирмой «Сибшванк» (Россия).

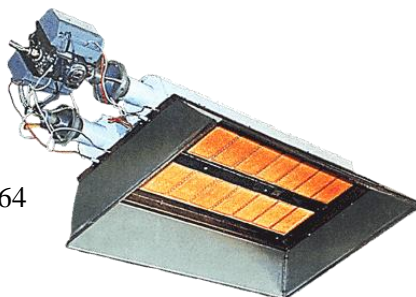


Рисунок 47 – Газовый излучатель инфракрасного типа ГИИ
<http://www.baurum.ru>

Концентрация теплового потока в рабочей зоне позволяет иметь минимум тепловых потерь вне ее. Инфракрасные системы обогрева способны обеспечить нормируемые температурные условия только на действующих производственных участках независимо от общей температурной обстановки в цехе, поэтому их применение дает ощутимую экономию энергии [20, 21]. При необходимости можно обогревать отдельные участки помещения. Это достигается за счёт:

- 1) возможности зонального обогрева;
- 2) отсутствия трубной разводки для жидкостного контура;
- 3) управления температурным режимом в зависимости от температуры наружного воздуха;
- 4) возможности снижения температуры в помещениях в нерабочее время.

Системы лучистого газового отопления обеспечивают быстрый нагрев рабочей зоны помещения и поддержание в ней заданной температуры. Однако они ограниченно применяются в ряде химических производств, взрывоопасных производствах, при технологических процессах с высоким содержанием пыли и иных взвешенных частиц в воздухе. В этих случаях отопление лучше производить газовыми воздухонагревателями.

Использование системы автоматического контроля температуры воздуха и температуры поверхности нагрева, состоящей из контролирующих приборов, включенных в общую коммуникационную сеть данных, и диспетчерской позволяет создать целенаправленную систему, обеспечивающую заданные климатические требования с максимальной оптимизацией и эффективностью.

10.4 Электрическое отопление

Под **электрическом отоплении (ЭО)** получение теплоты связано с преобразованием электрической энергии в тепловую. На современном этапе развития отопительной техники и технологий ЭО стало пожаробезопасным, не сжигает кислород, не изменяет влажность в помещении, имеет соответствующий класс защиты от поражения током, работает бесшумно и не выделяет никаких вредных веществ. Электромагнитные поля от этого оборудования находятся на фоновом уровне и значительно меньше многих бытовых электроприборов.

Системы ЭО подразделяются на местные, когда электроэнергия преобразуется в тепловую в обогреваемых помещениях или в непосредственной близости от них, и центральные с электродотами.

По степени использования электроэнергии для отопления различают системы с полным покрытием отопительной нагрузки и частичным ее покрытием (комбинированное отопление) в качестве как фоновой (базисной), так и догревающей частей системы [20]. Системы ЭО могут работать по свободному и вынужденному графику.

Достоинства системы ЭО: высокие гигиенические показатели; малый расход металла; простой монтаж при небольших капитальных вложениях; быстрая управляемость и автоматизация.

Недостатки: высокая температура греющих элементов; повышенная пожароопасность; ограниченный уровень выработки электроэнергии; высокая отпускная стоимость электроэнергии.

Целесообразность применения электрического отопления в конкретном случае определяется путем сравнения технико-экономических показателей различных вариантов отопления здания.

Электрические отопительные приборы с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую подразделяют на радиационные (инфракрасные), конвективные и радиационно-конвективные. При температуре греющей поверхности ниже 70 °С их относят к низкотемпературным, выше 100 °С – к высокотемпературным.

Электроотопительные приборы могут быть:

- стационарными и переносными (напольными, настольными, настенными, потолочными);
- безынерционными и с аккумуляцией теплоты;

– нерегулируемыми и со ступенчатым, бесступенчатым и автоматическим регулированием.

– в зависимости от конструкции – электрокалориферы, электроконвекторы, электротепловентиляторы, электрические печи, подвесные панели (рисунок 48), греющие обои, панели или полы с греющим кабелем.

Система "теплый пол" (рисунок 49) предназначена для создания максимального комфорта в помещениях вновь строящихся и с уже имеющейся системой отопления, а также для комфортного подогрева полов в помещениях с особыми гигиеническими требованиями: ванная комната, кухня, детская, холл и т. п. Система состоит из нагревательного кабеля, уложенного в бетонную стяжку пола и электронного термостата, подключающего кабель к питающей электросети в соответствии с заданной программой работы, поддерживая тем самым необходимый температурный режим в помещении.

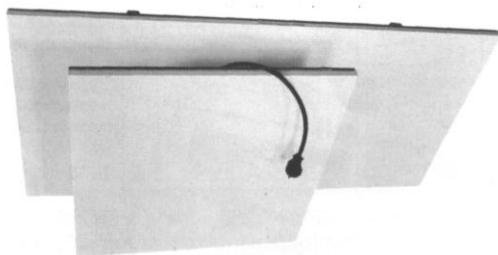
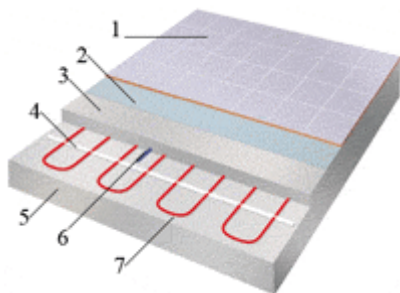


Рисунок 48 – Электрические подвесные панели лучистого отопления



- 1 – напольное покрытие (плитка);
- 2 – плиточный клей; 3 – слой бетона 30–40 мм; 4 – монтажная лента;
- 5 – старый пол; 6 – датчик температуры в гофрированной трубке;
- 7 – нагревательный кабель

Рисунок 49 – Конструкция системы напольного ЭО

Широчайшие возможности появились у электроотопления для экономичного и рационального использования электроэнергии. В каждое отапливаемое помещение устанавливается термостат, позволяющий регулировать температуру в широком диапазоне (5 – 300 °С).

Имеется возможность запрограммировать любой график изменения температур, можно отключить любую комнату, группу комнат или целый этаж.

Переход к электроотоплению позволяет отказаться от сложных и дорогих теплотрасс, исключаются протечки, замерзания, исключаются периодические ремонтно-профилактические работы. После временного отключения электропитания система начинает работать без участия человека.

11 ВЕНТИЛЯЦИЯ ВОЗДУХА

11.1 Назначение вентиляции и классификация вентиляционных систем (общеобменная, местная, аварийная, противопожарная)

Вентиляцией называется обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне [4].

Задача вентиляции состоит в том, чтобы поддерживать необходимые параметры микроклимата и чистоты воздушной среды в помещении, отвечающие санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям.

Системы вентиляции представляют собой комплекс инженерных устройств, включающих воздушный тракт (воздуховоды), оборудование для обработки (очистки, нагрева) и транспортировки, подачи и удаления воздуха, а также сетевое оборудование (воздухоприемные, воздухораспределительные устройства, дроссель-клапаны и др.), и служат для обеспечения поддержания допустимых параметров микроклимата в помещении [28, 35, 46].

Системы вентиляции классифицируют по ряду признаков.

По способу перемещения – на системы с гравитационным побуждением воздуха (естественная вентиляция) и с искусственным побуждением (механическая вентиляция). Возможно устройство и смешанной системы при одновременном действии механической и естественной вентиляции

При естественной вентиляции воздух перемещается под действием гравитационного давления, возникающего за счет разности плотностей холодного и нагретого воздуха и под действием ветрового давления.

При механической вентиляции воздух перемещается под действием вентилятора.

По функциональному признаку (или по способу подачи воздуха и его удаления из помещения) вентиляционные системы бывают **приточные, вытяжные или приточно-вытяжные**. Выбор необходимой системы зависит от назначения, объема и конкретных особенностей помещения (наличия и характера источника загрязнений, количества людей, планировки и т. д.). Разработка системы вентиляции требует соответствующей подготовки и включает следующие этапы: определение необходимого воздухообмена; составление принципиальной схемы вентиляции; аэродинамический расчет воздухопроводной сети; расчет параметров, входящих в систему компонентов; разработка схемы управления и автоматики; подбор оборудования. Оборудование вентиляционных систем может размещаться как в специальных технологических помещениях – венткамерах, так и в других скрытых местах – за подвесным потолком, в коробах, на чердаке и т. п.

Системы вентиляции подразделяются на приточные, вытяжные, приточно-вытяжные и системы с рециркуляцией.

Приточная система предназначена для подачи воздуха в помещение. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого воздух уходит наружу через окна, двери или в другие помещения. При этом свежий воздух подается, как правило, после предварительной подготовки, которая может включать очистку, подогрев, охлаждение, увлажнение.

Вытяжная система предназначена для удаления загрязненного воздуха из помещения, при этом в помещении создается пониженное давление, и воздух из соседних помещений или наружный воздух поступает в данное помещение. Вытяжные системы применяют для

помещений с кратковременным пребыванием людей или при небольших количествах вытяжного воздуха.

В приточно-вытяжной системе воздух в помещение подается приточной системой, а удаляется вытяжной. Обе системы работают одновременно. При этом их производительность должна быть одинаковой, чтобы исключить разницу воздушного давления внутри и снаружи помещения, приводящей к эффекту "хлопающих дверей".

В системах с рециркуляцией отработавшего воздуха к наружному воздуху подмешивается часть вытяжного воздуха. Они применяются для снижения расхода теплоты в холодный период года или для снижения расхода холода – в системах кондиционирования воздуха в теплый период года.

Для утилизации теплоты уходящего воздуха и предварительного подогрева приточного воздуха широкое применение находят *теплообменники-утилизаторы*.

По схеме воздухообмена (или по способу обеспечения метеорологических параметров) – на *местные, общеобменные и смешанные*.

При местной системе вентиляции воздух удаляется или подается непосредственно у места образования вредных веществ, а также у места работающего через специальные устройства (местные отсосы). *Вытяжная* применяется для предотвращения распространения вредных выделений по всему помещению. При этом достигается максимальный эффект при минимальном количестве удаляемого воздуха. *Системы аспирации* предназначены для удаления и очистки воздуха от пыли. *К местной приточной* системе вентиляции относятся воздушные завесы и воздушное душирование, которое применяется при воздействии на работающего человека потока радиационной теплоты и в том случае, когда локализирующая общеобменная вентиляция не обеспечивает на рабочем месте заданных параметров воздушной среды.

При устройстве общеобменной вентиляции смена воздуха происходит в объеме помещения.

Смешанная система вентиляции является сочетанием элементов общеобменной и местной систем.

По характеру обработки воздуха системы вентиляции могут быть *прямоточными* (в помещение подается только наружный воздух) и *рециркуляционные* (весь воздух из помещения или его часть

после обработки вновь поступает в помещение). Системы с *частичной рециркуляцией* позволяют утилизировать теплоту выбросного воздуха.

Системы аварийной вытяжной вентиляции обязательны для производств, в которых возможен прорыв вредных газов и паров. Система аварийной вентиляции должна включаться автоматически при достижении предельно допустимой концентрации вредных выделений или при останове одной из систем общеобменной или местной вентиляции.

11.2 Свойства атмосферного воздуха

Атмосферный воздух состоит из смеси сухих газов и водяных паров. Таким образом, в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха мы всегда имеем влажный воздух, или паровоздушную смесь, причем водяной пар может находиться в воздухе или в перегретом или в насыщенном состоянии [27].

Сухой атмосферный воздух представляет собой однородную смесь нескольких газов (по массе): 75 % азота, 23 % кислорода, 0,05 % углекислого газа, остальное – инертные и прочие газы. Соотношение количеств этих компонентов в атмосферном воздухе стабильно.

Смесь сухого воздуха с водяными парами называется *влажным воздухом*. Количество водяных паров, содержащихся во влажном воздухе, может меняться в значительных пределах. Влажный воздух можно рассматривать с точностью, достаточной для расчетов систем вентиляции как смесь двух идеальных газов – сухого воздуха и водяного пара.

Абсолютной влажностью D воздуха называется масса водяного пара, содержащаяся в 1 м^3 влажного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$D = p_{\text{п}} / (R_{\text{п}} T) = \rho_{\text{п}}. \quad (83)$$

Абсолютная влажность при насыщенном состоянии (при данной температуре) называется влагоемкостью воздуха $\rho_{\text{п}}$.

Для хорошего самочувствия человека и нормального хода многих технологических процессов совершенно безразлично, насколько водяной пар, содержащийся в воздухе, далек от насыщения. Если в воздухе содержится мало водяных паров, то это создает чувство сухости во рту, одежда "электризуется" и липнет к

телу. Если же пар, содержащийся в воздухе, наоборот, почти насыщен, то при малейшем понижении температуры наступит конденсация пара, и все предметы покроются капельками влаги (росы).

Величина, характеризующая влажность воздуха, показывает, насколько пар, содержащийся в воздухе, далек от насыщения. Такую величину называют **относительной влажностью воздуха** (φ) и она показывает выраженную в процентах долю, которую составляет плотность пара ρ , содержащегося в данный момент в воздухе, от плотности насыщенного пара $\rho_{\text{нас}}$ для этой же температуры.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100 \% . \quad (84)$$

Для насыщенного воздуха $\varphi = 100 \%$. Относительную влажность воздуха в помещении нормируют. Для жилых и общественных помещений относительная влажность считается приемлемой в пределах от 30 до 70 %.

Влагосодержанием воздуха d называют количество водяного пара, приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха, г/кг:

$$d = (G_{\text{п}} / G_{\text{с}}) \cdot 1000, \quad (85)$$

где $G_{\text{п}}$ и $G_{\text{с}}$ – массы водяного пара и сухого воздуха в данном объеме.

На влагосодержание паровоздушной смеси влияет барометрическое давление, при котором находится эта смесь. *Барометрическое давление атмосферного воздуха* $p_{\text{б}}$ – это сумма парциальных давлений сухой его части ($p_{\text{с}}$) и водяного пара ($p_{\text{п}}$), т. е.

$$p_{\text{б}} = p_{\text{с}} + p_{\text{п}}. \quad (86)$$

В качестве единицы измерения барометрического давления воздуха принят паскаль. Значение парциального давления компонента смеси в состоянии полного насыщения называют парциальным давлением насыщения $p_{\text{н}}$ или упругостью насыщенных паров.

Плотность влажного воздуха $\rho_{\text{в.п}}$ равна массе 1 м³ смеси, состоящей из сухой части воздуха и водяных паров. Плотность сухого воздуха при одинаковом барометрическом давлении и одинаковой температуре больше плотности влажного воздуха, но эта разница невелика.

Массовая теплоемкость влажного воздуха представляет собой количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть на один градус 1 кг сухой части влажного воздуха и приходящееся на их долю количество водяных паров, $c_p = 1,8 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Объемная теплоемкость влажного воздуха c_v – это количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть на один градус

1 м³ влажного воздуха. При температуре 0 °С и барометрическом давлении 100 кПа объемная теплоемкость влажного воздуха составляет

1,29 кДж/(м³·°С). С изменением температуры и давления объемная теплоемкость влажного воздуха меняется пропорционально его объемной массе. Поэтому при определении расходов теплоты на нагрев воздуха (или его охлаждение) удобнее пользоваться массовой теплоемкостью.

Теплосодержание (энтальпия) влажного воздуха $I_{\text{вл}}$ массой $(I + d/1000)$ кг равно сумме теплоты, содержащейся в 1 кг сухой части влажного воздуха. Энтальпия воздуха, связанная с изменением температуры воздуха, характеризует изменение явной теплоты. При поступлении в воздух водяных паров с той же температурой воздуху передается скрытая теплота. Температура воздуха при этом не изменяется.

Температурой точки росы t_p влажного воздуха называется температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания. При понижении температуры влажного воздуха еще ниже начинается конденсация пара (выпадает роса) в объеме паровоздушной смеси и появляется туман.

Температура мокрого термометра t_m – температура, которую принимает влажный воздух на стадии полного насыщения в процессе испарения воды, без подвода теплоты извне при постоянном теплосодержании.

Значения t , d , I , φ , t_p , t_m , $p_{\text{п}}$ – это параметры состояния влажного воздуха, характеризующие его тепловые и влажностные свойства. Следует отметить, что только t и d могут изменяться произвольно, независимо одна от другой, хотя эти изменения имеют определенный предел. Каждому конкретному значению t и d соответствуют

определенные числовые значения всех остальных параметров, найти которые можно по $I-d$ диаграмме (приложение Д).

11.3 Исходные данные для расчета вентиляции

Расчетные параметры наружного воздуха (температуру и энтальпию) следует принимать по СНБ 4.02.01-03 для теплого периода года по параметрам А, для холодного периода года – по параметрам Б. Для переходных условий независимо от места расположения здания принимается $t_n = 8$ °С, энтальпия $I = 22,5$ кДж/кг.

Расчетные параметры внутреннего воздуха (температура, относительная влажность, подвижность) принимаются в зависимости от периода года и назначения помещений по СНБ 3.02.03-03, СНБ 3.02.04-03, СанПиН 9-80 РБ98.

Основными вредностями, выделяющимися в помещении, являются *избыточная теплота, влага и вредные вещества.*

Избытки явной теплоты – это превышение для данных эксплуатационных условий и микроклимата помещений количества явной теплоты, поступающей в помещение (здание, сооружение), над количеством явной теплоты, выводимой или уходящей из помещения (здания, сооружения). Избыточная теплота определяется как сумма теплопоступлений от людей, искусственного освещения, электродвигателей, нагретого оборудования, остывающих материалов, через заполнение световых проемов и др.

Поступления влаги в помещение от людей зависят от категории работ и температуры окружающего воздуха в помещении.

Основным вредным веществом в помещениях общественных зданий является углекислый газ, выделяющийся при дыхании людей. В зависимости от тяжести выполнения работы человек выделяет от 40 до 90 г/ч углекислого газа. При этом допустимые концентрации CO_2 , г/м³, в помещениях находятся в пределах от 1,28 до 3,7 г/м³.

11.4 Определение и организация воздухообмена в помещении

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом. При расчетах воздухообмена помещений определяется расход

приточного воздуха, необходимого для поглощения избыточной теплоты, влаги, вредных веществ.

Воздухообмены называют по виду вредных выделений, для поглощений которых они определяются, например, воздухообмен по избыткам явной теплоты, по влаговыведениям и т. д. Для определения необходимого воздухообмена систем общеобменной вентиляции составляют балансы воздуха и вредных выделений.

Уравнение баланса воздуха в помещении имеет вид

$$G_{\text{п}} + \sum_{i=1}^n G_{\text{пи}} + G_{\text{yx}} - \sum_{j=1}^m G_{\text{yxj}} = 0, \quad (87)$$

где $G_{\text{п}}$ – количество воздуха общеобменной *приточной* вентиляции;

G_{yx} – количество воздуха общеобменной *вытяжной* вентиляции;

$\sum_{i=1}^n G_{\text{пи}}$ и $\sum_{j=1}^m G_{\text{yxj}}$ – расходы других приточных и вытяжных устройств от местных вытяжек и т. п.

Большинство помещений жилых и общественных зданий характеризуется постоянным составом и интенсивностью вредных выделений.

Поэтому для них на основании эксплуатационного опыта и расчетов установлены *нормы кратности воздухообмена*. В этом случае воздухообмен L , м³/ч, определяется по формуле

$$L = n V, \quad (88)$$

где n – нормативная кратность воздухообмена, 1/ч (см. приложение Б);

V – объем помещения, м³.

Под кратностью воздухообмена n понимают число замен воздуха в час для обслуживаемого помещения по притоку и вытяжке.

Для помещений высотой 6 м и более следует принимать $V = 6F$, где F – площадь помещения, м².

Для некоторых помещений воздухообмен L определяется *по нормируемому удельному расходу воздуха*, м³/ч:

$$L = m N, \quad (89)$$

где m – нормируемый удельный расход воздуха, м³/ч, на 1 чел. или единицу оборудования, приводится в СНБ 3.02.04-03,

СНБ 3.02.03-03. Минимальная норма приточного наружного воздуха составляет $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека;

N – количество человек или единиц оборудования.

Расчетный воздухообмен должен обеспечить нормируемые параметры и чистоту воздуха в рабочей зоне помещения в теплый, холодный и переходный периоды года. Для расчета ассимиляции полной (явной и скрытой) теплоты используют формулу

$$L = L_{\text{мо}} + \frac{3,6\Sigma Q_{\text{изб}} - 1,2L_{\text{мо}}(J_{\text{мо}} - J_{\text{пр}})}{1,2(J_{\text{ух}} - J_{\text{пр}})}, \quad (90)$$

где $L_{\text{мо}}$, $J_{\text{мо}}$ – количество воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, и его теплосодержание, $\text{кДж}/\text{кг}$, удаляемое местными отсосами;

$Q_{\text{изб}}$ – избытки явной теплоты в помещении, Вт ;

$J_{\text{ух}}$, $J_{\text{пр}}$ – теплосодержание удаляемого и приточного воздуха, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Аналогичным образом вычисляют количество приточного воздуха для ассимиляции влаги и вредных газовойделений. За расчетное принимают бóльшее значение.

Температура приточного воздуха в теплый период принимается равной расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}}$ (параметр А).

Температуру приточного воздуха для переходных условий с учетом нагрева его в вентиляторе и воздуховодах $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}} + 0,001P$, $t_{\text{н}} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$.

В холодный период $t_{\text{пр}}$ для общественных зданий принимается как и для холодного периода.

Создание определенных параметров воздуха в помещении зависит не только от количества приточного воздуха, обработанного в приточной установке. Обеспечение температуры и подвижности воздуха в обслуживаемой зоне помещения в пределах их требуемых значений возможно лишь при рациональной схеме распределения, подачи приточного и удаления вытяжного воздуха, т. е. взаимного расположения приточных и вытяжных устройств. В значительной степени схема организации воздухообмена в помещениях зависит от архитектурно-строительных, объемно-планировочных решений, интерьера, степени заполнения объема помещения оборудованием и мебелью, расположения источников вредных выделений, людей и т. д.

Определяющим в принятии той или другой схемы все-таки являются закономерности движения, распространения приточных струй. Приточная струя обычно дальнобойная, выходя из воздухораспределителя, расширяется, вовлекая в движение большое количество внутреннего воздуха, распространяется на значительное от воздухораспределителя расстояние, постепенно затухая.

Действие всасывающего факела, струи у вытяжного отверстия не значительно. Заметного движения воздуха не наблюдается уже на расстоянии 0,5–1 м от вытяжного устройства. В любом случае вытяжные устройства должны быть расположены как можно ближе к источнику вредных выделений, должны забирать воздух из зон наибольшего скопления вредных веществ, которые бывают легче или тяжелее воздуха.

Воздухообмен по схеме "сверху вверх" обычно применяется в жилых, общественных и вспомогательных зданиях, по схеме "сверху вниз" – в помещениях с выделением тяжелых вредных веществ. В помещениях с тепловыделениями и с выделением легких веществ предпочтительнее подача приточного воздуха в рабочую зону, а вытяжка из верхней зоны (рисунок 50). В помещениях с многоярусным расположением людей, как правило, применяется смешанная или зональная схема воздухообмена.

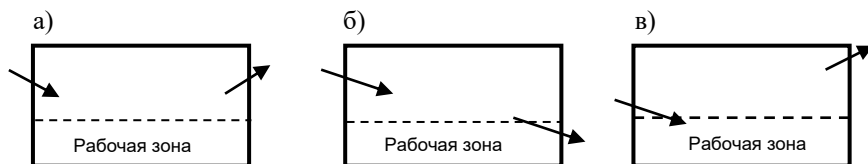


Рисунок 50 – Схемы движения воздушных потоков в вентилируемом помещении: а – сверху-вверх; б – сверху-вниз; в – снизу-вверх

Схемы движения воздуха в реальных условиях сложны и изучаются при помощи визуализации воздушных потоков. Выбор наиболее оптимальной схемы воздухообмена является одним из главных задач по обеспечению комфортных условий в помещении.

11.5 Особенности систем вентиляции зданий

11.5.1 Естественная вентиляция в жилых зданиях

В жилых зданиях в основном проектируются системы с естественной вентиляцией. В квартирах воздухообмен осуществляется следующим образом: приток свежего воздуха (неорганизованный) – через неплотности в оконных рамах, открывающиеся фрамуги и форточки, через установленные в стенах, оконных рамах или коробках специальные клапаны (в том числе в шумозащитном исполнении). Такой воздухообмен происходит за счет гравитационного давления вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха, а также под воздействием ветра.

Приточный воздух поступает в жилые комнаты и кухню, а через щели между полом и нижней частью дверей (высота щели должна быть 3–5 см) – в ванную комнату и туалет, нагревается и загрязняется продуктами жизнедеятельности людей. Затем отработанный воздух удаляется из квартиры через вытяжные решетки под потолком помещений, установленные в вентиляционных блоках, каналах или воздуховодах. В квартирах обычно вытяжку устраивают из кухонь, ванн, комнат и санузлов.

Для удаления воздуха проектируются сборные вертикальные каналы с подключаемыми к ним индивидуальными каналами-спутниками, в которых устанавливаются вытяжные решетки. Для двух последних этажей, на которых естественная вытяжка через сборный вытяжной канал наименее эффективна (так как располагаемое давление, определяемое величиной $gh(\rho_n - \rho_v)$, мало вследствие небольшой высоты верхней части сборного вытяжного канала), проектируются самостоятельные (индивидуальные) вытяжные каналы (вентблоки).

Расчет вытяжной вентиляции производится с учетом условий переходного периода при температуре приточного воздуха +5 °С и отсутствии ветра. Система естественной вентиляции рассчитывается на удаление из каждой квартиры нормативного количества воздуха.

Давление Δp_e , Па, заставляющее воздух перемещаться при естественной вентиляции, обусловлено гравитационными силами, возникающими из-за разности плотности воздуха помещения ρ_v , и наружного воздуха ρ_n при температуре 5 °С. Оно определяется по формуле

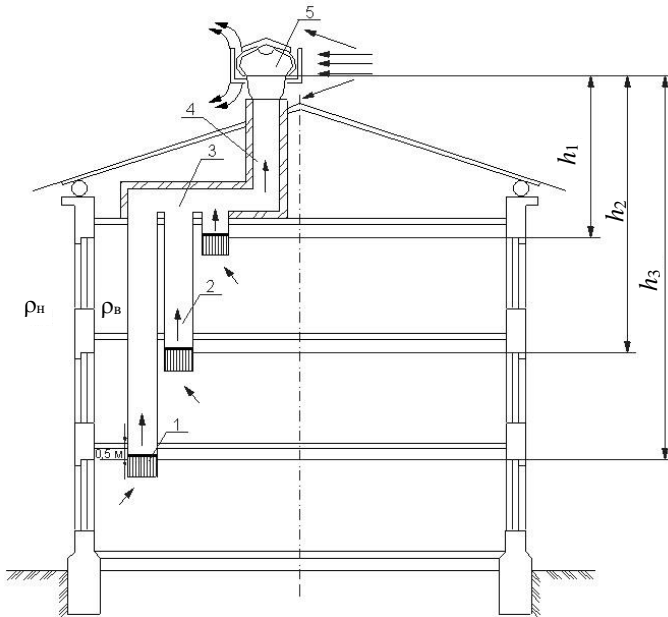
$$\Delta p_e = h_i g (\rho_n - \rho_v), \quad (91)$$

где h_i – высота воздушного столба, принимаемая по вертикали от центра вытяжного отверстия до центра вытяжной шахты, м;

g – гравитационное ускорение, м/с^2 .

Это давление расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха на его пути.

В жилых, общественных и производственных зданиях, не требующих интенсивного воздухообмена, большое распространение получили вытяжные *канальные системы* естественной вентиляции (рисунок 51), которые обычно располагают в толще внутренних стен или в специальных железобетонных блоках и шахтах [27, 32, 46].



1 – вытяжная решетка; 2 – вертикальный канал; 3 – горизонтальный утепленный канал; 4 – вытяжная утепленная шахта; 5 – дефлектор

Рисунок 51 – Канальная система естественной вытяжной вентиляции

Системы естественной вентиляции имеют простое устройство, несложны в эксплуатации, однако из-за малого радиуса действия (до 8 м) малоэффективны, особенно для помещений с незначительными избытками теплоты.

Скорость воздуха в воздуховодах систем с гравитационным (естественным) побуждением принимают 0,5–1,0 м/с.

Сборные короба и вытяжные шахты на чердаке выполняют с утепленными стенками во избежание выпадения конденсата на их внутренних поверхностях в зимнее время. Материал стенок каналов и шахт должен быть несгораем.

В жилых зданиях вытяжные вентиляционные каналы из помещений, обращенных на противоположные фасады, не объединяют.

Расчет воздухопроводов вентиляционных систем сводится к определению размеров живого сечения воздухопроводов, оказывающих прохождению требуемого количества воздуха сопротивление, равное расчетному давлению.

Для улучшения работы вытяжной естественной вентиляции с использованием энергии гравитационных сил и ветра устанавливают *дефлектор*. Он представляет собой насадок на вытяжной трубе. Поток воздуха, обтекая дефлектор, создает в нем разрежение, за счет которого происходит перемещение воздуха из помещения в атмосферу.

11.5.2 Механическая вентиляция

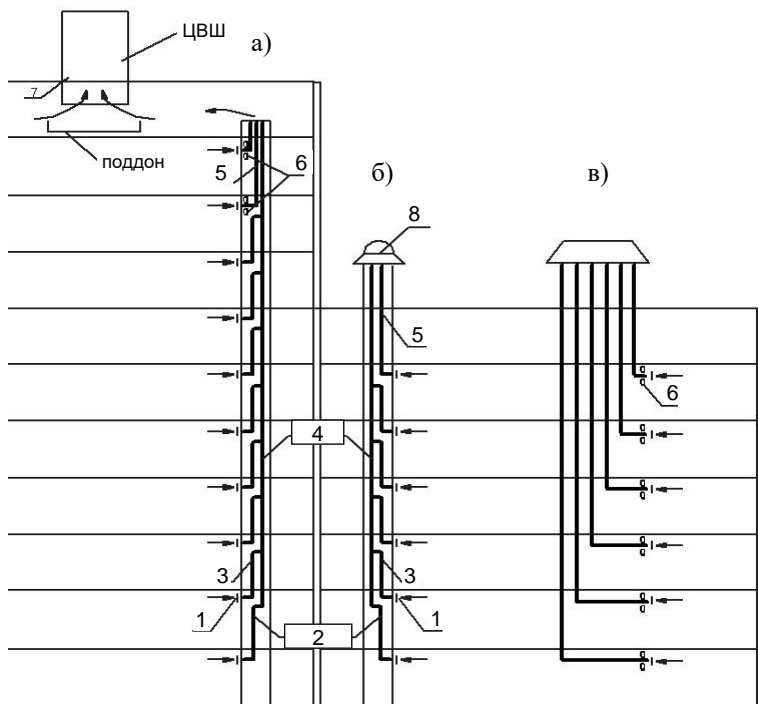
Известно, что аэродинамический режим здания (особенно повышенной этажности) таков, что нижние этажи работают на приток, а верхние на вытяжку. Кроме того, при определенном направлении и скорости ветра на верхних этажах может возникнуть «опрокидывание тяги» (с заветренной стороны). Практика эксплуатации жилых зданий повышенной этажности показала, что на двух последних этажах в вентиляционных каналах кухонь и санузлов необходимо устанавливать малогабаритные осевые вентиляторы, рассчитанные на работу в летнее время.

Принципиальные схемы естественной и механической вытяжной вентиляции многоэтажных жилых домов приведены на рисунке 52.

Жилые многоэтажные здания, как правило, проектируют с «теплыми чердаками». Сборные вытяжные каналы выходят на «теплый чердак», где устанавливают общие (для нескольких каналов) вытяжные шахты с зонтами (для предотвращения попадания на чердак и в каналы осадков) или без зонтов, но с поддонами для сбора влаги.

Сборные вертикальные каналы обычно выполняются из поэтажных блоков индустриального изготовления, как правило, гипсобетонных. В кирпичных зданиях сборные каналы и каналы-спутники выполняются непосредственно в стене. В зданиях с большой высотой

этажа, где применение промышленных поэтажных блоков невозможно, а также в домах, возводимых по индивидуальным проектам,



1 – воздухоприемные устройства; 2 – вертикальный воздуховод; 3 – вертикальный канал (воздуховод)-спутник; 4 – сборный вертикальный канал; 5 – индивидуальные каналы (воздуховоды) двух последних этажей; 6 – осевой вентилятор; 7 – центральная вытяжная шахта; 8 – крышный вентилятор

Рисунок 52 – Схема вытяжной естественной и механической вентиляции для многоэтажных (высотных) зданий: а – с вентиляторами на двух последних этажах; б – с крышным вентилятором; в – с вентиляторами на всех этажах

предусматриваются металлические вытяжные воздуховоды с подсоединением к ним воздуховодов-спутников по схеме «через этаж».

Выпуск воздуха из «теплого чердака» в атмосферу происходит через центральную вытяжную шахту (ЦВШ) для всех квартир одной секции дома. Не допускается устройство общей вытяжной шахты для квартир разных секций дома, а также устройство нескольких вытяжных шахт на одну секцию жилого дома. В домах с холодным

чердаком выпуск воздуха из вентблока верхнего этажа в атмосферу осуществляется через самостоятельные вытяжные шахты.

Вытяжка из техподполья должна происходить через самостоятельные вертикальные каналы. На выпусках воздуха в «теплый чердак» из вентблоков устанавливаются диффузоры (оголовки вентблоков).

В связи с проектированием в последние годы «теплых домов» с герметичными оконными переплетами и трехслойными стеклопакетами естественная вентиляция становится неэффективной из-за полного отсутствия или ограниченного поступления инфильтрационного воздуха.

Применение *механической вентиляции* стало особенно актуально в последнее время. Это вызвано тем, что установка окон с высокими значениями сопротивления воздухопроницанию приводит к снижению воздухопроизводительности естественной вентиляции. Кроме того, дальнейшее повышение показателей энергосбережения возможно только при утилизации теплоты вытяжного воздуха, а для этого необходима приточно-вытяжная механическая вентиляция.

Механическую вентиляцию в жилищном строительстве можно подразделить:

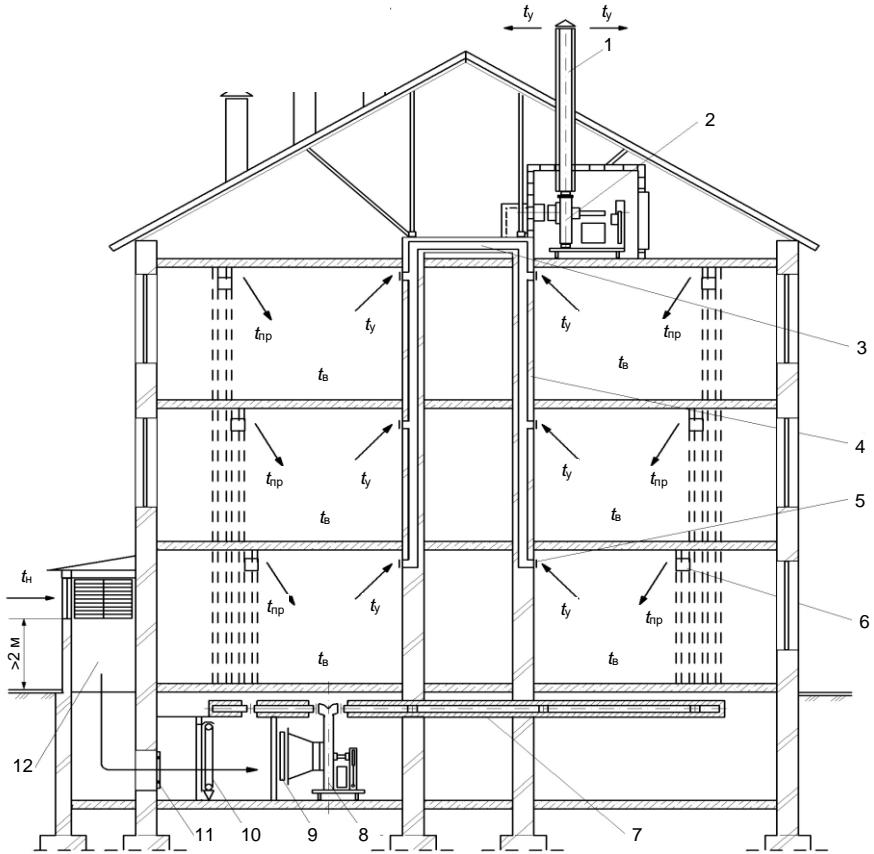
- на центральную и местную;
- вытяжную и приточно-вытяжную.

Вытяжные каналы из кухонь и санузлов квартир выводятся на чердак здания, где они объединяются сборными воздуховодами и подводятся к центральной вытяжной шахте. Возможна схема совмещения механической вытяжной вентиляции с естественной вентиляцией по принципу "теплого чердака" (см. рисунок 52). При этой схеме вытяжной воздух вертикальными каналами выводится на "теплый чердак", откуда выбрасывается в атмосферу через центральную вытяжную шахту либо одним, либо несколькими крышными вентиляторами, снабженными камерой глушения шума.

Схема вытяжной механической вентиляции, совмещенной с естественной, может быть дополнена приточной установкой, расположенной в подвале (рисунок 53). Приточная установка очищает наружный воздух в фильтре, подогревает его вытяжным воздухом в рекуперативном теплообменнике, догревает его калорифером и подает его либо непосредственно в квартиры, либо в лифтовые холлы.

При этом в квартирах создается подпор, что исключает инфильтрацию воздуха. Воздухозаборные отверстия в уличных шахтах следует располагать не ниже 2 м от поверхности пола. Для

удаления избытков теплоты, влаги и вредных газов вытяжной воздух следует удалять из верхней зоны помещения через отверстия, размещенные под потолком, но не ниже 2 м от пола до низа отверстий.



1 – выбросная шахта, 2 – вытяжной вентилятор; 3 – сборный вытяжной воздуховод; 4 – вытяжной воздуховод; 5 – вытяжная решетка; 6 – приточная решетка; 7 – приточный воздуховод; 8 – приточный вентилятор; 9 – калорифер; 10 – воздушный фильтр; 11 – многостворчатый утепленный клапан; 12 – воздухозаборная шахта

Рисунок 53 – Общеобменная приточно-вытяжная система механической вентиляции жилого дома

Температура приточного воздуха не должна превышать 45 °С. Минимальный расход приточного воздуха для воздушного отопления должен быть принят по большей величине потребности на нужды отопления и вентиляции, с корректировкой (при необходимости) температуры приточного воздуха.

11.5.3 Аэрация промышленных зданий

Под **аэрацией** понимают организованный естественный воздухообмен, в результате которого можно достигнуть параметров воздуха в помещении, отвечающих санитарно-гигиеническим нормам [28, 32].

Аэрация является общеобменной вентиляцией, осуществляемой за счет естественных сил: гравитационного и ветрового давления. Наружный воздух при аэрации поступает в помещение через открытые проемы. Отработавший воздух, уносящий с собой теплоту, влагу, вредные вещества, уходит из производственного помещения через верхние проемы или специальные устройства – фонари.

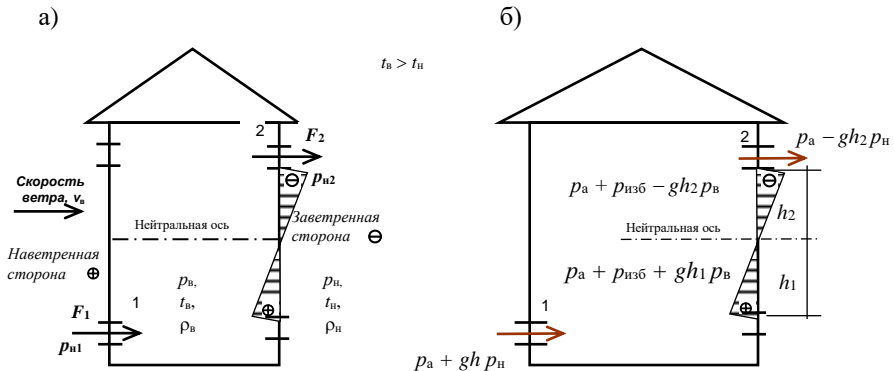
Аэрацию рекомендуется применять: в производствах, где не требуется предварительной обработки приточного наружного воздуха. Применение аэрации, т. е. организация воздухообмена без затраты механической энергии, имеет большое народнохозяйственное значение.

Аэрация за счет **ветрового давления** происходит при возникновении разности давлений с наветренной и заветренной сторон здания (рисунок 54, а). При динамическом воздействии ветра с наветренной стороны здания создается повышенное давление, а с заветренной – разрежение. При устройстве отверстий в наружных вертикальных ограждениях можно организовать приток с наветренной стороны, а для удаления воздуха – с заветренной. При этом количество воздуха приточного и вытяжного будет зависеть от многих факторов, а именно, – от направления и скорости ветра, температуры, от конфигурации здания и расположения его среди других строений.

Давление воздуха помещений, подверженного воздействию ветра, но при отсутствии гравитационного давления ($\rho_v = \rho_n$), как с наветренной, так и с заветренной сторон по всей высоте помещения является одинаковым. Перед открыто стоящим зданием при воздействии на него ветра образуется область повышенных по сравнению с атмосферным давлений (подпор), имеющая ширину

около пяти высот здания при длине, равной длине здания. Одновременно за зданием образуется аэродинамическая тень – область пониженных давлений (разряжение), имеющая ширину около шести высот здания. Здание, окруженное другими строениями, может оказаться в аэродинамической тени, т.е. в зоне разряжения.

Аэрация под действием гравитационного (теплого) давления образуется при наличии разности температур и, следовательно, разности плотностей воздуха внутри и снаружи помещения (см. рисунок 54, б).



1, 2 – нижний и верхний проемы соответственно

Рисунок 54 – Аэрация здания: а – за счет ветрового давления; б – под действием гравитационного (теплого) давления

Из-за разности температур воздуха помещения и наружного воздуха ($t_b > t_n$ или $t_b < t_n$) по обе стороны вертикальных ограждений помещения возникает разность давлений ($p_b < p_n$ или $p_b > p_n$). Разность давлений и отсутствие герметичности помещения (здания) вызывает перемещение воздуха или в одном направлении (при $t_b > t_n$), или в другом (при $t_b < t_n$). Чаще наружный воздух имеет температуру ниже, а значит и плотность выше, чем внутренний воздух помещения ($t_n < t_b$; $\rho_n > \rho_b$),

а поэтому характерным является перепад давлений $\Delta p = (p_n - p_b) > 0$ и, как следствие, – движение наружного воздуха в нижнюю зону помещения. А так как нагретый более легкий воздух стремится занять верхнее положение, возникает естественное гравитационное

движение воздуха помещения здания – снизу вверх. Вследствие этого давление воздуха в зоне пола получается ниже, а в зоне потолка – выше наружного давления. Из-за циркуляции воздуха помещения возникает область (плоскость) равных давлений, называемая нейтральной зоной. Ниже области равных давлений в помещении образуется зона разряжения (зона инфильтрации наружного воздуха), а выше – зона подпора (зона эксфильтрации внутреннего воздуха помещения). При увеличении разряжения область равных давлений смещается вверх, а при увеличении подпора – вниз.

Устройство проемов (форточек, фрамуг, фонарей, окон и дверей) в ограждениях нижних и верхних зон способствует гравитационному движению, а устройство проемов в плоскости равных давлений не влияет на движение. Отработавший воздух уходит из цеха через верхние проемы или специальные устройства – аэрационные фонари. Невозможность очистки вытяжного воздуха является недостатком аэрации.

Поступление наружного воздуха в цех в холодный и переходный периоды года выполняют с таким расчетом, чтобы холодный воздух не попадал в рабочую зону. Для этого наружный воздух подается в помещение через проемы, расположенные не ниже 4 м от пола до нижнего среза проема. В теплый период года для повышения эффективности воздухообмена приточный воздух следует подавать на возможно минимальной отметке 0.000 на уровне 0,3–1,8 м от пола или через подпольные каналы.

11.6 Воздушно-тепловые завесы

Воздушная или воздушно-тепловая завеса (с подогревом воздуха) – вентиляционное устройство, предотвращающее резкое проникновение (врывание) наружного воздуха в помещение через открытые проемы (двери, ворота).

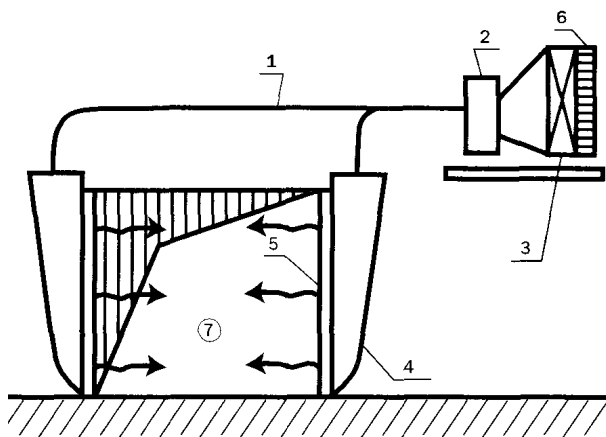
Завесы применяются также для защиты от перетекания воздуха из одного помещения в другое. В последнем случае завеса обеспечивает разделение зон с различными параметрами воздушной среды: температурой, влажностью, уровнем загрязнения вредными веществами. Воздушно-тепловые завесы могут использоваться также для дополнительного отопления помещений. Наиболее часто воздушно-тепловые завесы устанавливаются на входах во встроенно-пристроенные помещения и у ворот въезда автотранспорта (например,

у дебаркадера магазина). Основные элементы воздушно-тепловой завесы показаны на рисунке 55 [35].

Принцип действия завесы заключается в том, что за счет подачи высокоскоростного струйного воздушного потока создается невидимая «преграда», препятствующая перемещению воздушных масс, но не мешающая движению людей и транспортных средств.

Классификация воздушных завес

По принципу действия воздушные завесы разделяются на *наружного и внутреннего действия*.



1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – воздухонагреватель (водяной или электрический); 4 – воздуховод равномерной раздачи; 5 – щелевой насадок; 6 – фильтр; 7 – проем в ограждении
 Рисунок 55 – Основные элементы воздушно-тепловой завесы

Воздушные завесы *наружного действия* устраиваются у проемов в наружных ограждениях (например, при входе во встроенные офисные помещения) и работают как отсечка.

В последнее время встречаются также проектные решения, в которых у проемов во внутренних ограждениях устанавливаются завесы *внутреннего действия*, которые препятствуют перемещению вредностей с воздушными потоками в «чистые» помещения (например, из помещений приготовления пищи в зал обслуживания посетителей ресторана).

По режиму работы воздушные завесы бывают *периодического и постоянного действия*.

Режим работы воздушных завес определяется требованиями, предъявляемыми к режиму помещений.

Воздушную завесу постоянного действия можно использовать не только по ее прямому назначению, но и для организации притока или вытяжки, а также в качестве воздушно-отопительного агрегата, компенсирующего дополнительные потери тепла.

По направлению струи воздушные завесы можно подразделить:

– на имеющие направление струи снизу вверх, с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную внизу проема;

– имеющие горизонтальное направление струи – одно- и двусторонние, с подачей воздуха через вертикальную щель, расположенную с одной или с двух сторон проема;

– имеющие направление струи сверху вниз, с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную вверху проема.

Для проемов в наружных ограждениях наиболее целесообразно устройство завес с подачей воздуха снизу вверх, при этом достаточно эффективно предотвращается врывание холодного воздуха в нижнюю часть помещения, где находятся люди.

По месту расположения воздухозабора и температуре подаваемого воздуха t_3 завесы можно классифицировать на следующие:

– имеющие внутренний (из помещения) забор воздуха с температурой t_b и подогрев подаваемого воздуха ($t_3 > t_b$). Такие завесы устраивают у проемов в наружных ограждениях помещений с постоянными рабочими местами, расположенными вблизи ворот или дверей, например в магазинах;

– имеющие внутренний воздухозабор без подогрева подаваемого воздуха ($t_3 < t_b$). Обычно применяются у проемов в наружных ограждениях, когда допускается некоторое периодическое понижение температуры помещения;

– имеющие наружный воздухозабор и подогрев подаваемого воздуха до температуры помещения ($t_3 = t_b$). Таким образом устраивают завесы постоянного действия, используемые в качестве приточных вентиляционных установок.

По источнику нагревания воздуха, подаваемого в помещение завесой, они делятся на *водяные (калориферные)* и *электрические*.

По принципу действия завесы могут быть *шиберующего (отсечного)* и *смесительного типа*.

В первом случае воздушная струя завесы, уменьшая количество проходящего через проем воздуха, частично шиберует проем (отсекает). Значение коэффициента расхода воздуха через проем при работе завесы снижается. Во втором – обеспечивается смешивание наружного воздуха, поступающего через открытый проем с воздухом завесы.

Особенности проектирования воздушных завес

Основными параметрами, характеризующими конкретные модели тепловых завес, являются: мощность обогрева, кВт; производительность по воздуху, м³/ч; длина завесы; тип используемого подогревателя (с электрокалорифером или с водяным калорифером).

При подборе тепловой завесы рекомендуется, чтобы длина завесы была не меньше высоты (ширины) проема.

Воздушные завесы проектируются при условии возможности поддержания в холодный период года (при расчетных параметрах B наружного воздуха) во время открывания ворот и дверей температуры воздуха в помещениях на постоянных рабочих местах не ниже 14 °С при легкой работе, 12 °С – при работе средней тяжести и 8 °С – при тяжелой работе.

При установке воздушных завес температура воздуха на рабочих местах должна удовлетворять санитарным нормам согласно СНБ 4.02.01–03. Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, следует принимать не выше 50 °С у наружных дверей и не выше 70 °С у наружных ворот и проемов. Скорость выпуска воздуха из щелей или отверстий завес рекомендуется не более 8 м/с у наружных дверей и до 25 м/с у въездных ворот.

11.7 Вентиляционные каналы

Распределение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования осуществляется сетью воздуховодов (каналов), которые могут быть различной конструкции (рисунок 56) и должны отвечать определенным требованиям [35]:

- обеспечивать пропускную способность для прохождения необходимого объема воздуха;
- иметь минимальное сопротивление и потери;
- обеспечивать по скоростному режиму нормативные шумовые характеристики;
- занимать минимальное пространство.

При необходимости на воздуховоды наносится тепло-, звуко- или пароизоляция, а также огнезащитные покрытия.

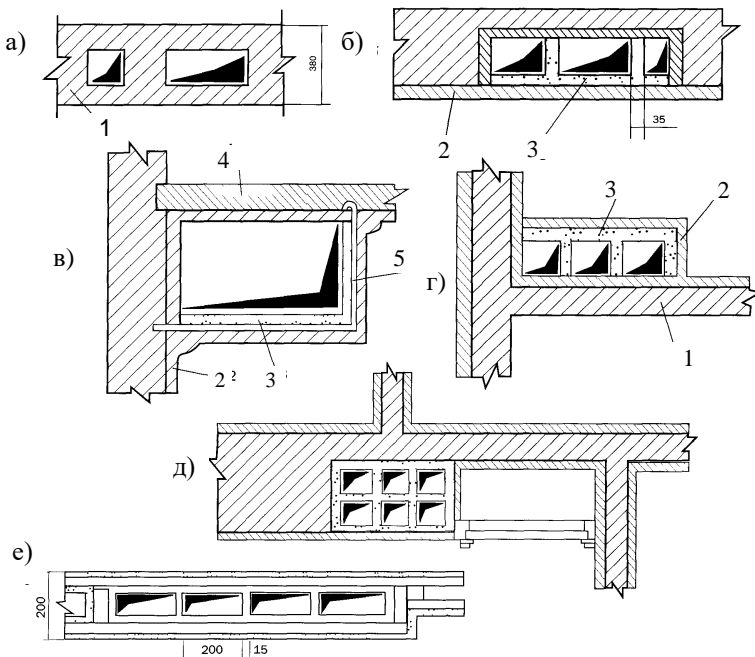
Классификация вентиляционных каналов и воздуховодов:

- **по плотности** – *плотные* (класс П) и *нормальные* (класс Н);

– по скорости потока воздуха системы сети воздушных коммуникаций подразделяются на *низкоскоростные* ($v < 13$ м/с) и *высокоскоростные* ($13 < v < 25$ м/с);

– по рабочему давлению – на *низкого давления* (до 900 Па, т. е. около 100 мм вод. ст.), *среднего* (900–1700 Па или 100–170 мм вод. ст.) и *высокого* (1700–3000 Па или 170–300 мм вод. ст.). Для небольших встроенно-пристроенных помещений, расположенных обычно на уровне 1–2-го этажей жилых зданий, применяются низкоскоростные воздуховоды низкого давления. Рекомендуемые максимальные скорости воздуха в каналах (воздуховодах) находятся в пределах от 5 до 9 м/с;

– по конструкции – *встроенные* и *приставные* (см. рисунок 56), *круглые* и *прямоугольные*, *гибкие*;



1 – кирпичная стена; 2 – штукатурка; 3 – шлакогипсовые плиты; 4 – перекрытие;
5 – подвеска стальная, $d = 6$ мм

Рисунок 56 – Конструкции вентиляционных каналов:

a – в кирпичной стене; *b* – в борозде стены, заделываемой плитой; *в* – подвесного, горизонтального; *г, д* – приставных (пристенных) вертикальных; *е* – из сухой штукатурки в перегородке

– по материалу – кирпичные, бетонные, железобетонные, асбоцементные, металлические (оцинкованная или нержавеющая сталь), металлопластиковые), неметаллические (синтетические материалы: полиэтилен, стеклопластик, винилпласт, стеклоткань и др.), огнестойкие воздуховоды из негорючих материалов.

Вытяжные вентиляционные каналы могут устраиваться: в кирпичных стенах (изготавливаются из специальных вентиляционных блоков); в пустотах внутренних стен в виде приставных каналов у внутренних стен и перегородок (изготавливаются из блоков или плит – шлакогипсовых и шлакобетонных, бетонных, гипсоволокнистых, шлакобетонных пустотелых, пеноглинистых и пеносиликатных).

11.8 Аэродинамический расчет воздуховодов

Аэродинамический расчет воздуховодов – это вычисление значений поперечных участков сети воздуховодов, достаточных для передвижения запланированных объемов воздуха по всей системе воздуховодов при заданном располагаемом давлении на отдельных участках и в системе в целом. Можно определять расходы воздуха при заданных размерах воздуховодов и известном перепаде давления в системе.

Основной задачей при расчете воздуховодов является определение общего сопротивления, возникающего при движении воздушного потока по каналам системы вентиляции.

При аэродинамическом расчете воздуховодов систем вентиляции обычно пренебрегают сжимаемостью перемещаемого воздуха и пользуются значениями избыточных давлений, принимая за условный ноль атмосферное давление [28, 32, 46, 47].

При движении воздуха по воздуховоду в любом поперечном сечении потока различают три вида давления: *статическое, динамическое и полное.*

Статическое давление определяет потенциальную энергию 1 м³ воздуха в рассматриваемом сечении ($p_{ст}$ равно давлению на стенки воздуховода).

Динамическое давление – это кинетическая энергия потока, отнесенная к 1 м³ воздуха, определяется по формуле

$$P_d = \rho \frac{v^2}{2}, \quad (92)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

v – скорость движения воздуха в сечении, м/с.

Полное давление равно сумме статического и динамического давлений

$$P_{\Pi} = P_{ст} + P_d. \quad (93)$$

Традиционно при расчете сети воздуховодов применяется термин "потери давления" ("потери энергии потока").

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена в помещениях и решения по трассировке воздуховодов и каналов. Для проведения аэродинамического расчета на основе архитектурно-строительной и технологической (в случае необходимости) частей проекта вычерчивают *аксонометрическую схему* системы вентиляции в линиях с изображением внешних очертаний всех элементов системы. На схемах в кружке у выносной черты проставляется номер участка, над чертой указывается нагрузка участка, м³/ч, а под чертой – длина участка, м.

Пример аксонометрической схемы естественной вытяжной системы вентиляции показан на рисунке 57.

Схему разбивают на отдельные расчетные участки. *Расчетным участком* называется часть воздуховода с постоянным расходом воздуха. Участки сети, не входящие в магистраль, называются *ответвлениями*. Потери давления на участке зависят от скорости движения воздуха и складываются из потерь на трение и потерь в местных сопротивлениях.

Намечается основное расчетное направление, представляющее собой цепочку последовательно расположенных участков от начала системы до наиболее удаленного ответвления. За магистральное направление принимается

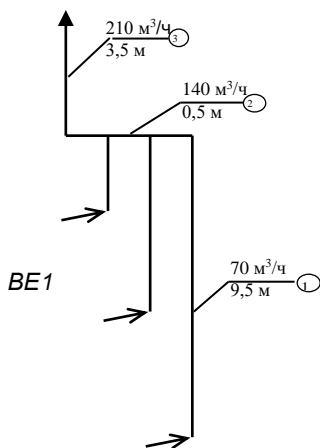


Рисунок 57 –
Аксонометрическая
схема системы
вентиляции

наиболее нагруженная (имеющая большой расход) протяженная цепочка последовательно расположенных расчетных участков.

Потери давления в системе равны потерям давления в основной расчетной цепи, складывающимся из потерь давления на всех последовательно расположенных участках, составляющих цепь, и потерь давления в вентиляционном оборудовании (калориферах, фильтрах и пр.).

В задачу аэродинамического расчета воздухопроводов входят определение поперечных сечений воздухопроводов и расчет потерь давления в сети. Площади поперечных сечений отдельных участков воздухопровода определяются по уравнению неразрывности, м²:

$$F = L/v, \quad (94)$$

где L – расход воздуха на участке, м³/с;

v – скорость воздуха, м/с.

Расчетная скорость воздуха для магистральных воздухопроводов принимается около 6–12 м/с, для ответвлений – не более 8 м/с.

По площади поперечного сечения определяются размеры стандартного воздухопровода, для круглого – диаметр d , для прямоугольного – размеры сторон $a \times b$.

При перемещении засоренного воздуха, а также в воздухопроводах пневматического транспорта скорость воздуха принимается больше скорости витания, чтобы не было оседания в воздухопроводах включенных в воздух частиц твердой фазы.

Для нормальной работы системы естественной вентиляции потеря давления в воздуховоде Δp_e , Па, должна быть равна сумме потерь давлений на преодоление сопротивлений $\Delta p_{тр}$ и местных сопротивлений $\Delta p_{м.с.}$:

$$\Delta p_e = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.с.} \quad (95)$$

Потеря на трение в круглом воздуховоде

$$\Delta p_{тр} = Rl, \quad (96)$$

где $R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v}{2} \rho$,

R – удельная потеря давления на трение, Па;

λ – коэффициент сопротивления;

d – диаметр, м;

l – длина воздуховода, м.

Для определения λ можно принять формулу А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (97)$$

где K – абсолютная шероховатость, мм (для технически гладких труб $K = 0,1$ мм);

Re – число Рейнольдса.

Потери давления на местные сопротивления

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \Sigma \zeta (v^2/2)\rho, \quad (98)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

В воздуховодах встречаются различные местные противления – отводы, тройники, запорно-регулирующие устройства, входные и выходные устройства и т.п., значения которых устанавливаются экспериментальным путем и приводятся в справочниках [25, 35].

В целях сокращения вычислительной работы для определения $\Delta p_{\text{тр}}$ и $\Delta p_{\text{м.с}}$ составлены таблицы и номограммы, в которых потери давления даются в функции расхода воздуха, скорости и других факторов [19].

Таблицы и номограммы обычно составлены для круглых воздухопроводов (приложение Е). Для воздухопроводов прямоугольной формы в формуле (97) вместо диаметра d , подставляется эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$, который определяется по формуле

$$d_{\text{экв}} = U/4F = 2(a \times b)/(a + b) \quad (99)$$

где U – периметр сечения воздуховода, м;

F – площадь воздуховода, м²;

$a \times b$ – стороны сечения воздуховода, м.

Существует несколько методов расчета воздухопроводов, чаще всего используется метод удельной потери давления, который проводится в такой последовательности.

1 На аксонометрической схеме системы вентиляции выбирают наиболее протяженную и нагруженную систему. Разбиваются на расчетные участки. Нумеруют, начиная с участка с наименьшим расходом. Проставляют значения расходов и длину каждого участка (см. рисунок 57). Определяют направление аэродинамического расчета – от наиболее удаленного и нагруженного участка до вентилятора или вытяжной шахты.

2 При заданных объемах воздуха, подлежащего перемещению по каждому участку каналов, принимают скорость его движения по номограмме (см. приложение Е). Скорость воздуха на участках выбирается таким образом, чтобы она увеличивалась по пути к вентилятору или выходной шахте (СНБ 4.02.01-03).

3 В таблицу заносятся расходы воздуха, длины участков и принятые значения скоростей. При предварительном определении площади сечений каналов естественной вентиляции можно задаваться следующими скоростями движения воздуха: в вертикальных каналах верхнего этажа 0,5–0,6 м/с, из каждого нижерасположенного этажа на 0,1 м/с больше, чем из предыдущего, но не выше 1 м/с; в сборных воздуховодах $v \geq 1$ м/с и в вытяжной шахте $v = 1 \dots 1,5$ м/с. Если при расчете воздуховодов задана площадь сечения каналов и известен часовой расход воздуха, то скорость определяется $v = L / 3600F$.

4 По расходу и скорости определяются сечения и размеры воздуховодов по номограмме (см. приложение Е).

5 По номограммам или таблицам находятся значения удельной потери на трение R , Па/м, и потери на трение по участкам Rl , Па.

6 Для каждого участка оценивается сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \zeta$ и определяются потери на местное сопротивление $Z = \Sigma \zeta \cdot \rho_d$. Местные сопротивления в системе вентиляции во многих случаях существенно зависят от соотношения фасонных частей и других вентиляционных элементов, а в тройниках, крестовинах – от соотношений соединяемых или делимых потоков [45–47].

7 Определяются суммарная потеря давления на всех участках магистрали, а также потери давления в отдельных узлах, в которых имеется разветвление воздуховодов. Данные заносятся в таблицу 17.

8 Рассчитываются ответвления.

9 По таблицам или характеристикам выбирается вентилятор для перемещения воздуха. Исходными данными для выбора вентилятора являются суммарный расход воздуха в сети L , м³/с; суммарная потеря давления Δp , Па, и температура воздуха t_b , °С. Выбор вентилятора производится на расчетный расход с учетом подсосов или утечек:

$$L_p = 1,1L . \quad (100)$$

Давление, создаваемое вентилятором, должно быть равно расчетному сопротивлению сети. Характеристики вентиляторов составлены при следующих условиях: плотность воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³,

атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 0,103$ МПа, температура $t = 20$ °С, влажность $\varphi = 50$ %.

11.9 Подбор оборудования для систем вентиляции

Оборудование для систем вентиляции: *вентиляторы, кондиционеры, приточные камеры, воздухонагреватели, теплоутилизаторы, пылеуловители, фильтры, клапаны, шумоглушители* и др. – следует выбирать исходя из расчетного расхода воздуха с учетом подсосов и потерь через неплотности в оборудовании – по данным завода-изготовителя (п. 7.72, СНБ 4.02.01-03).

Таблица 17 – Ведомость аэродинамического расчета воздуховодов системы вентиляции

Номер участка	Расход воздуха на участке L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Размеры канала, мм	Эквивалентный диаметр d , мм	Действительная скорость воздуха v , м/с	Потери давления на 1 м канала R_k , Па/м	Поправочный коэффициент m	Абсолютная шероховатость канала K_s	Коэффициент n	Потери давления на трение на участке $R_{\text{тр}} m l$, Па	Динамическое давление на участке p_d , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \zeta$	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Общие потери давления на участке $R_{\text{тр}} m l + Z$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Вентиляторы

Для перемещения приточного и вытяжного воздуха находят применение вентиляторы, которые по конструктивному решению подразделяются на осевые и радиальные (центробежные).



Рисунок 58 – Осевой вентилятор ВО-14-320

Осевые вентиляторы состоят из многолопастного колеса, расположенного непосредственно на валу электродвигателя, в цилиндрическом кожухе из листовой стали или пластмассы (рисунок 58). В последнее время применяют каналные вентиляторы в изолированном или неизолированном корпусе (по форме круглом,

квадратном или прямоугольном) из оцинкованной стали или алюминия.

Радиальные вентиляторы состоят из спирального кожуха, в котором расположено рабочее колесо. В кожухе имеется входное круглое и выходное прямоугольное отверстие. Рабочее колесо может быть насажено на вал электродвигателя (непосредственная схема присоединения кожуха с электродвигателем) или на вал, укрепленный на станине через подшипники (рисунок 59). Вентиляторы изготавливаются с одно или двухсторонним всасыванием воздуха, специальные, например, крышные (рисунок 60), противодымные и др.

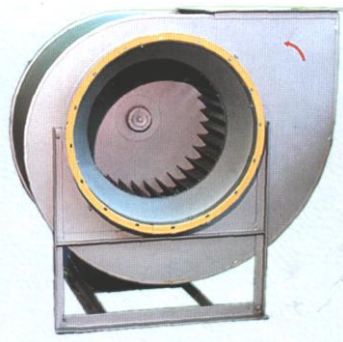


Рисунок 59 – Радиальный вентилятор

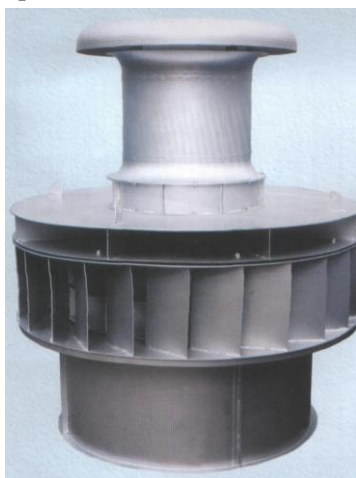


Рисунок 60 – Крышный вентилятор ВКРМ-8...12,5

Для подбора вентилятора по его аэродинамическим характеристикам следует определить количество приточного или удаляемого воздуха, давление, необходимое для перемещения воздуха по сети воздуховодов и состав (химический и пылевой) приточного и особенно удаляемого, загрязненного воздуха. По составу удаляемого, загрязненного воздуха определяют обычно материал вентилятора.

Воздухоочистные устройства

В практике приточной вентиляции и кондиционирования воздуха обычно используют фильтры, в которых пыль улавливается в слое пористого материала. К ним относят фильтры насыпные, набивные, сетчатые и бумажные. Конструктивно фильтры подразделяют на рулонные

(используется нетканый фильтрующий материал), ячейковые (используется сетка металлическая, виниловая, поролон, специальный материал типа ФПП). Тип фильтра зависит от количества пыли и требования к чистоте воздуха в помещении.

Для очистки загрязненного воздуха в производственных условиях (в зависимости от количества и вида пыли, вредных веществ) используются различные типы пылеуловителей: пылесосные камеры, пылеуловители инерционные (циклоны, скрубберы), ротационные и электрические.

Для уничтожения неприятных запахов в жилых помещениях применяют фильтры из материала с ультрамикроскопической структурой, что позволяет извлекать газы из воздуха. Наиболее распространенным поглотителем газов, паров и запахов является активированный уголь.

Нагреватели и охладители воздуха

Нагревание или охлаждение воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха осуществляется в теплообменных устройствах (калориферах). Они состоят из стальных или медных теплопередающих трубок для пропуска теплоносителя или хладагента, теплоотдающей алюминиевой ленты, нанесенной на наружную поверхность труб, коллектора для распределения и сбора теплоносителя и соединительных патрубков.

Необходимая поверхность нагревателя или охладителя воздуха определяется расчетом в зависимости от количества воздуха, начальной и конечной температуры воздуха и теплоносителя (горячая вода, пар, электроэнергия) или хладагента (холодная вода, фреон). Нагреватели и охладители воздуха применяются как центральные (в приточных установках или кондиционерах), так и сетевые, каналные перед подачей приточного воздуха в помещение.

Устройства для увлажнения воздуха

Для увлажнения и испарительного охлаждения приточного воздуха применяют блок-камеры форсуночного и сотового типа. В первых установках воздух увлажняется или охлаждается встречным потоком воды, распыливаемой из форсунок, во вторых – увлажняется за счет испарения воды в адиабатическом режиме со смоченной поверхности сотового увлажнителя. Кроме этого применяют блок-камеры увлажнения с помощью пара, получаемого в парогенераторе.

Устройства для шумоглушения

Для гашения аэродинамического и механического шума от работающего вентиляционного оборудования применяют шумоглушители центральные, которые могут устанавливаться как перед вентилятором или кондиционером (со стороны воздухозабора), так и после них (перед центральным воздуховодом), а также сетевые, канальные.

Воздухораспределители

Для обеспечения оптимальной организации воздухообмена применяют различные устройства для подачи приточного воздуха в помещение и удаления его из помещения. По конструктивному решению воздухораспределители подразделяются на решетки, регулируемые и нерегулируемые, перфорированные воздухораспределители потолочного, пристенного типа, воздухораспределители с выпускными насадками, диффузоры перфорированные, струйного типа и др.

Теплоутилизаторы

Теплоутилизаторы предназначены для частичного использования теплоты удаляемого воздуха для нагревания наружного приточного воздуха в холодный период года. Они подразделяются на утилизаторы *поверхностные* для теплопереноса через стенки теплообменника; с *вращающимся теплообменником*, за счет теплопереноса в результате непосредственного контакта теплообменника с удаляемым и приточным воздухом; с *промежуточным теплоносителем*, когда теплообмен происходит с помощью водных растворов гликоля или этиленгликоля различной концентрации.

Сетевые элементы

К сетевым элементам можно отнести:

- *заслонки* с ручным управлением или электроприводом, регулирующие количество воздуха;
- *клапаны обратные* для предотвращения перетекания воздуха через воздуховоды при остановленном вентиляторе;
- *воздуховоды алюминиевые гибкие* для соединения концевых воздуховодов с воздухораспределителями;
- *клапаны противопожарные: огнезадерживающие* – для автоматического и дистанционного блокирования распространения огня и дыма по вентиляционным воздуховодам и каналам при пожаре

в зданиях; *дымовые* – для применения в системах противодымной защиты зданий и сооружений различного назначения;

– *комбинированные* – огнезадерживающие и дымовые.

– *зонты вентиляционные* – для предотвращения попадания атмосферных осадков в вентиляционные каналы, воздуховоды;

– *дефлекторы* – для предотвращения попадания осадков и, самое главное, создания дополнительной тяги за счет ветрового напора (давления).

12 КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

12.1 Классификация систем кондиционирования

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры [27, 35].

Кондиционирование воздуха согласно п. 7 СНБ 4.02.01-03 подразделяется на три класса:

I – для обеспечения параметров микроклимата, требуемых для технологического процесса, при экономическом обосновании или в соответствии с требованиями нормативных документов;

II – для обеспечения параметров микроклимата в пределах оптимальных норм или требуемых для технологических процессов; допускается принимать скорость движения воздуха в обслуживаемой зоне, на постоянных и непостоянных рабочих местах, в пределах допустимых норм;

III – для обеспечения параметров микроклимата в пределах допустимых норм, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в тёплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха, или оптимальных норм – при экономическом обосновании или на основании задания на проектирование.

Оптимальные климатические параметры в помещениях общественного назначения применительно ко II климатическому поясу (например, Минск, Гомель и др.) составляют: в холодный период года минус 20–22 °С при относительной влажности 30–40 % и скорости движения воздуха 0,2 м/с; в тёплый период года плюс 20–22 °С при относительной влажности 30–60 % и скорости движения воздуха 0,2 м/с или 23–25 °С при той же влажности и скорости движения воздуха 0,3 м/с.

Кондиционирование воздуха подразделяется на *комфортное и технологическое*.

Комфортные системы кондиционирования предназначены для создания и автоматического поддержания температуры,

относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям.

Технологические системы кондиционирования предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства.

В зависимости от расположения кондиционеров по отношению к обслуживаемым помещениям системы кондиционирования делятся на *центральные* и *местные*, а по **типу кондиционеров** – на *автономные* и *неавтономные*.

По давлению, создаваемому вентиляторами кондиционеров, системы кондиционирования делятся на системы *низкого давления* (до 1000 Па), *среднего давления* (от 1000 до 3000 Па) и *высокого давления* (выше 3000 Па).

Системы кондиционирования, как правило, снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и ионосодержания воздуха; а также средствами дистанционного управления и контроля.

В зависимости от назначения помещения – жилые или производственные – существует несколько типов кондиционеров.

По типу эксплуатационной среды кондиционеры делятся на *бытовые*, *промышленные* и *полупромышленные*.

Бытовые кондиционеры применяются для охлаждения, как правило, жилых помещений площадью от пятнадцати до восьмидесяти квадратных метров.

Промышленные кондиционеры используются для охлаждения воздуха в нежилых производственных помещениях площадью от ста квадратных метров и более, кроме того, мощные промышленные кондиционеры применяются и для охлаждения целых зданий и корпусов.

Полупромышленные кондиционеры – среднее звено между бытовыми и промышленными, они могут применяться как для охлаждения коттеджей и многоквартирных квартир, так и для

производственных помещений небольших промышленных предприятий, складов, магазинов.

Мощность бытовых кондиционеров, как правило, ≤ 7 кВт; полупромышленных – лежит в интервале 7–25 кВт; к промышленным относится техника, мощность которой ≥ 40 кВт.

По конструктивному исполнению можно выделить два основных типа кондиционеров: *моноблочные* и *сплит-системы*. Моноблочные состоят из одного блока, а сплит-системы – из двух и более.

К **бытовым кондиционерам** относятся местные автономные системы комфортного кондиционирования холодопроизводительностью до 7 кВт.

Благодаря своим небольшим размерам, низкому уровню шума, большой конструктивной гибкости при установке, низких трудозатратах на монтаж, местные автономные системы кондиционирования получили очень широкое распространение при обустройстве жилых, офисных и производственно-складских помещений в существующих зданиях, в которых создаются комфортные условия в жилых помещениях, с обеспечением минимальных санитарно-гигиенических требований к температуре и влажности воздуха.

Оконные моноблоки. В соответствии с названием данные кондиционеры представляют собой *моноблочный аппарат*, в корпусе которого агрегированы холодильная машина (компрессор, конденсатор, испаритель), вентилятор, блок управления, воздушный фильтр, в ряде моделей – дополнительная электробатарея. Оконный кондиционер имеет прямое сообщение с наружным воздухом и может осуществлять частичный воздухообмен обслуживаемого помещения с улицей. Как осуществляется этот воздухообмен – притоком или вытяжкой, определяется конструктивными особенностями данной модели, а именно тем, в каком месте моноблока расположено окошко, связывающее внутреннюю и наружную части аппарата.

Как правило, в связи с ограниченными размерами, оконные кондиционеры ограничены по мощности (до 8 кВт) и по расходу воздуха (до 1200 м³/ч). Основное различие между моделями состоит в размерах моноблока и уровне производимого им при работе шума.

Оконные моноблоки – самый дешёвый, удобный и простой в установке и эксплуатации вид эффективного бытового кондиционера.

Следует помнить, что основным предназначением бытового кондиционера является создание и поддержание комфортных температурно-влажностных условий в обслуживаемом помещении в тёплый и переходный период года, а не отопление помещения при отрицательных температурах наружного воздуха. При температуре наружного воздуха ниже 0 °С бытовые кондиционеры работают неустойчиво и неэффективно.

Существует несколько классов **промышленных кондиционеров**: канальные кондиционеры высокой мощности, прецизионные, крышные, центральные и системы чиллер-фанкойл.

Канальные кондиционеры высокой мощности по конструктивному исполнению относятся к сплит-системам. Подобный класс кондиционеров применяется как в ресторанах, кафе, барах, магазинах, так и в производственных цехах крупных предприятий. Принцип действия канальных кондиционеров высокой мощности следующий: устройство поделено на два блока, внутренний и внешний. Внешний блок устанавливается на улице, внутренний – в отдельном помещении или монтируется под подвесным потолком. Специальные воздуховоды разводятся по комнатам или кабинетам, воздух поступает в помещение через диффузоры.

Прецизионные кондиционеры относятся к категории сплит-систем, они позволяют не только поддерживать необходимую вам температуру, но и с высокой точностью устанавливать влажность воздуха. Достигается это за счет внедрения в устройство кондиционера гигростата и специального увлажнителя воздуха. Возможность контроля влажности делает подобный класс кондиционеров незаменимым для помещений, в которых критично процентное содержание в воздухе водяного пара: для фармацевтических лабораторий, серверных помещений, компьютерных залов, производственных помещений предприятий, работающих в сфере высоких технологий.

Центральные системы кондиционирования воздуха, обслуживающие несколько или одно большое помещение. Разработаны различные типы центральных кондиционеров: типа PACKAGED,

секционные, автономные, мультizonные системы центрального кондиционирования.

Рассмотрим некоторые из них.

Системы кондиционирования воздуха *типа PACKAGED* с внутренними блоками шкафного типа (иногда называемые колоннами), используются для обработки воздуха в больших помещениях (концертные и конференцзалы, магазины, рестораны, производственные помещения, компьютерные комнаты, залы ожидания, кассовые залы).

По способу подачи обработанного воздуха установки данного типа разделяются:

- на кондиционеры, подающие обработанный воздух под давлением в воздуховоды системы вентиляции;
- кондиционеры, подающие обработанный воздух непосредственно в объём обслуживаемого помещения.

В начале 80-х годов ряд ведущих в области кондиционирования воздуха фирм (Daikin, HITACHI, Mitsubishi Electric, Mitsubishi Heavy Industries, Matsushita (Panasonic / National) и др.) разработали новинку в области комфортного кондиционирования воздуха – так называемые системы с *переменным расходом хладагента* (VRF), или *мультizonные* системы, удачно сочетающие в себе достоинства автономных местных и центральных систем кондиционирования.

Обработка воздуха в обслуживаемом помещении производится внутренним блоком, аналогичным по техническим возможностям и потребительским качествам внутреннему блоку бытовой или полупромышленной сплит-системы. Группа внутренних блоков (различных типов и мощностей) присоединяется к наружному блоку системой медных теплоизолированных трубопроводов. Система полностью герметична и не требует дозаправок хладагентом. В качестве хладагента стандартно используется хладон R-22. Контроль и регулирование температурно-влажностных параметров воздуха осуществляется индивидуально для каждого помещения.

Разработаны системы с возможностью работы как на охлаждение (осушение), так и в режиме теплового насоса (Heat Pump). Все внутренние блоки одной системы работают или в режиме охлаждения (осушения), или в режиме обогрева. Это исполнение является стандартным и наиболее распространенным для VRF-систем. Такие

системы часто называют двухтрубными, поскольку от наружного блока идут 2 трубы (газовая и жидкостная).

Созданы энергосберегающие системы с возможностью одновременной работы части внутренних блоков на охлаждение (осушение), а для других помещений – на обогрев в режиме теплового насоса. Благодаря переносу тепла из охлаждаемых помещений в обогреваемые, эти системы работают с рекуперацией и носят название Heat recovery. Конструктивно такие системы выглядят несколько иначе, по сравнению со стандартными 2-трубными. Здесь наружный блок соединяется с группой внутренних блоков не напрямую, а через специальные устройства переключения режима "тепло-холод". При этом соединение наружных блоков и устройств переключения режима осуществляется по 3 трубопроводам (жидкостный, газовый низкого давления и газовый высокого давления). Что и обусловило названия трехтрубных для систем с рекуперацией.

Внутренние блоки могут поддерживать в различных помещениях индивидуальные температурные режимы. В разных системах применены различные технические особенности, обеспечивающие подключение к одному наружному блоку от 2 до 24 внутренних, общая холодопроизводительность системы может достигать до 94 кВт, перепад высот между внутренними и наружным блоками может достигать 50 м.

Применяются различные энергосберегающие технологии:

- многоступенчатое или плавное регулирование производительности (абсолютное большинство систем имеют инверторный привод компрессоров);
- рекуперация тепла (для трехтрубных систем);
- энергоэффективный обогрев в режиме теплового насоса (для нашей страны это актуальнее всего для переходных периодов года).

Особо следует отметить то, что VRF-системы имеют широчайший диапазон успешного применения – как для нескольких помещений небольшого офиса или коттеджа, так и во многоэтажном здании. VRF-системы разработаны как альтернатива центральным системам кондиционирования. Обладая всеми достоинствами центральных кондиционеров, VRF-системы имеют целый ряд преимуществ перед ними, поскольку:

– для размещения оборудования не требуется специального машинного зала и венткамеры, что экономит полезную площадь здания и его полезный объём;

– нет необходимости в громоздких системах изолированных воздухопроводов и воздухораспределения, поскольку осуществляется подача только санитарных норм по кислороду;

– VRF-системы не требуют постоянного обслуживания и содержания для этой цели высококвалифицированной службы эксплуатации;

– управление системой может осуществляться как с обычного пульта управления отдельным пользователем, так и с центральной станции (по дополнительному заказу); по отдельному требованию система кондиционирования может контролироваться с персонального компьютера;

– эксплуатационные расходы всегда минимальны;

– обеспечивается максимальный уровень комфорта из-за точного поддержания температурных режимов.

VRF-системы стандартно оборудуются мощными высокоразвитыми системами самоконтроля и самодиагностики, что сокращает время на паспортизацию, а при необходимости – и для устранения неполадок.

Системы чиллер-фанкойл применяются как эффективный и сравнительно недорогой способ кондиционирования больших помещений со сложной планировкой. Теплоносителем в данном случае является вода или незамерзающая жидкость на основе гликоля. Первый случай приемлем, если все элементы системы монтированы внутри помещения или она работает исключительно в теплое время года (на охлаждение). Применение незамерзающих жидкостей позволяет выносить некоторые устройства наружу, например, на крышу коттеджа.

Центральным элементом такой системы является холодильная машина, или так называемый чиллер. Чиллеры доступны в весьма широком диапазоне мощностей (от 5 до 9000 кВт), что позволяет монтировать систему в разнообразнейших помещениях. По сути чиллер представляет собой кондиционер, но через его испаритель проходит не воздух, а вода (или другой жидкий теплоноситель).

Модельный ряд чиллеров достаточно широк и существует несколько видов классификации этих устройств. Во-первых,

холодильная машина может быть снабжена тепловым насосом, что обеспечивает наличие в системе режима обогрева. Во-вторых, по конструктивному исполнению чиллер может быть моноблочным или с выносным конденсатором. Наконец, сам конденсатор может иметь воздушное или водяное охлаждение.

Важным элементом системы является насосная станция (гидромодуль), обеспечивающая циркуляцию воды (или другой используемой жидкости) по системе трубопроводов. Мощность насосной станции также варьируется и требует отдельного расчета.

Конечным элементом этой системы является **фанкойл – вентиляторный доводчик**. Это устройство похоже на внутренние блоки сплит-систем и включает в себя радиатор (теплообменник), вентилятор с электродвигателем, поддон для сбора конденсата и систему управления, которая может быть дистанционной. Вентилятор обеспечивает рециркуляцию воздуха; попадающий в фанкойл воздух охлаждается или нагревается от внутреннего радиатора и снова возвращается в помещение. Кроме того, некоторые модели фанкойлов снабжаются электронагревателями для подогрева воздуха в помещении, а также воздушными фильтрами. Главное преимущество системы чиллер-фанкойл заключается в возможности обеспечить нужную температуру в каждой комнате большой квартиры или коттеджа, используя всего один центральный чиллер, управляемый с одного пульта. В случае необходимости их может быть несколько, причем объединенных в одну систему и управляемых с одного пульта.

12.2 Устройство кондиционера

Кондиционер – это специальное устройство для поддержания заданных параметров воздуха в помещениях.

Устройство кондиционера сходно с устройством обычного бытового холодильника – те же основные блоки выполняют сходные функции. Независимо от конструктивного решения (моноблок или сплит-система), в основу работы и холодильника, и кондиционера положено свойство жидкостей выделять тепло при переходе из газообразной фазы в жидкую (конденсация) и поглощать – при переходе из жидкой в газообразную (испарение).

Наиболее распространенными и удобными для рассмотрения являются сплит-системы – приборы, в которых основные блоки разделены на внешний и внутренний (рисунок 61).

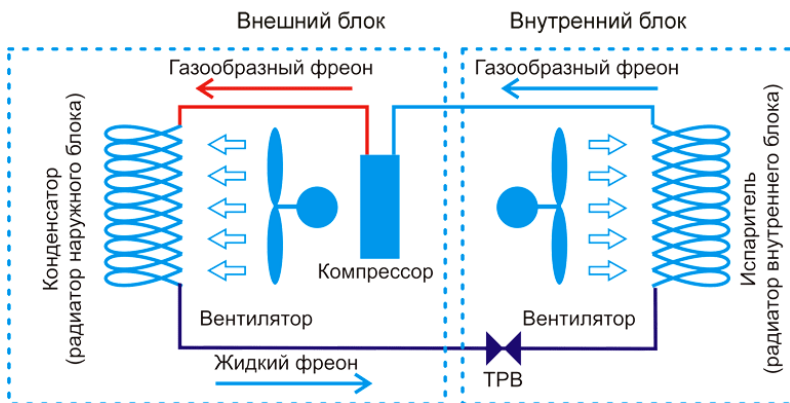


Рисунок 61 – Принципиальная схема работы кондиционера
<http://www.vozduhdome.ru/how.html>

Теплоносителем в кондиционерах обычно является газ фреон благодаря его сильной зависимости температуры кипения (испарения) от давления.

В компрессор из испарителя подается газообразный фреон под относительно невысоким давлением 0,3–0,5 МПа (3–5 атм) и при температуре около 10–20 °С. Компрессор повышает давление фреона до 1,5–2,5 МПа (15–25 атм) и направляет его в конденсатор (радиатор наружного блока). В результате сжатия фреон разогревается до температуры 70–90 °С. Конденсатор обдувается вентилятором, охлаждая фреон. Фреон остывает, переходит в жидкую фазу и нагревает воздух.

После выхода из конденсатора, жидкий фреон под высоким давлением и при температуре, выше окружающего воздуха на 10–20 °С, подается на терморегулирующий вентиль (ТРВ), который снижает температуру и давление фреона (при этом часть фреона может испариться). Выйдя из ТРВ, фреон поступает в испаритель, где испаряется с поглощением тепла. Холодный испаритель обдувается вентилятором внутреннего блока, охлаждая воздух в помещении.

После выхода из испарителя фреон вновь поступает в компрессор, и весь цикл повторяется.

Сплит-системы с другими типами внутренних блоков состоят из тех же узлов и отличаются только внешним видом.

Наружный (внешний) блок кондиционера (рисунок 62) состоит из следующих узлов.

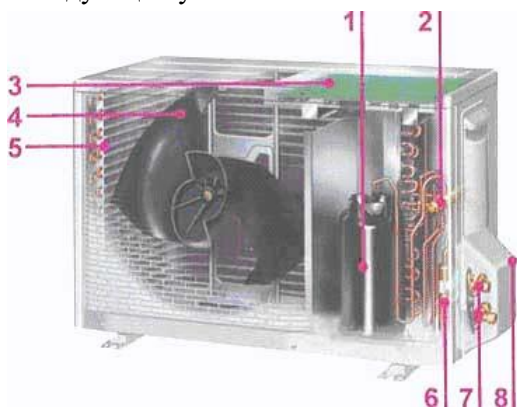


Рисунок 62 – Наружный блок кондиционера (<http://www.svoyclimat.ru>)

Компрессор 1 сжимает фреон и поддерживает его движение по холодильному контуру; бывает поршневого или спирального типа. Поршневые компрессоры дешевле, но менее надежны, чем спиральные, особенно в условиях низких температур наружного воздуха.

Четырехходовой клапан 2 устанавливается в реверсивных (тепло–холод) кондиционерах. В режиме обогрева этот клапан изменяет направление движения фреона. При этом внутренний и наружный блок как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный – на охлаждение.

Плата управления 3, как правило, устанавливается только на инверторных кондиционерах. В неинверторных моделях всю электронику стараются размещать во внутреннем блоке, поскольку перепады температуры и влажности снижают надежность электронных компонентов.

Вентилятор 4 создает поток воздуха, обдувающего конденсатор. В недорогих моделях кондиционеров вентилятор имеет только одну скорость вращения. Такой кондиционер может стабильно работать в небольшом диапазоне температур наружного воздуха. В моделях более высокого класса, рассчитанных на широкий температурный

диапазон, а также во всех полупромышленных кондиционерах, вентилятор имеет 2–3 фиксированные скорости вращения или же плавную регулировку.

Конденсатор 5 – радиатор, в котором происходит охлаждение и конденсация фреона. Продуваемый через конденсатор воздух, соответственно, нагревается.

Фильтр фреоновой системы 6 устанавливается перед входом компрессора и защищает его от медной крошки и других мелких частиц, которые могут попасть в систему при монтаже кондиционера. Разумеется, если монтаж выполнен с нарушением технологии и в систему попало большое количество мусора, то фильтр не сможет его задержать.

Штуцерные соединения 7 – к ним подключаются медные трубы, соединяющие наружный и внутренний блоки.

Защитная быстросъемная крышка 8 – закрывает штуцерные соединения и клеммник, используемый для подключения электрических кабелей.

Внутренний блок кондиционера (рисунок 63) состоит из следующих узлов.

Передняя панель 1 представляет собой пластиковую решетку, через которую внутрь блока поступает воздух. Панель легко снимается для обслуживания кондиционера (чистки фильтров и т.п.).

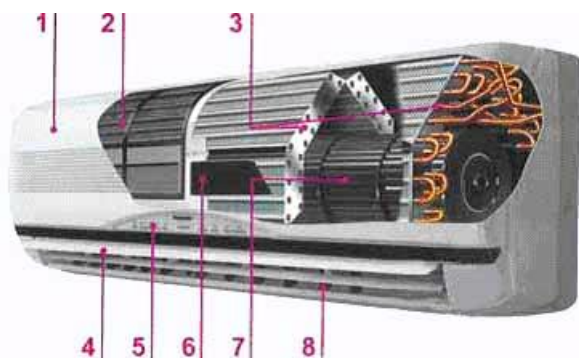


Рисунок 63 – Внутренний блок кондиционера

Фильтр грубой очистки 2 представляет собой пластиковую сетку и предназначен для задержки крупной пыли, шерсти животных и т.п.

Для нормальной работы кондиционера фильтр необходимо чистить не реже двух раз в месяц.

Испаритель 3 – радиатор, в котором происходит нагрев холодного фреона и его испарение. Продуваемый через радиатор воздух, соответственно, охлаждается.

Горизонтальные жалюзи 4 регулируют направление воздушного потока по вертикали. Эти жалюзи имеют электропривод и их положение может регулироваться с пульта дистанционного управления. Кроме этого, жалюзи могут автоматически совершать колебательные движения для равномерного распределения воздушного потока по помещению.

Индикаторная панель 5 – на передней панели кондиционера установлены индикаторы (светодиоды), показывающие режим работы кондиционера и сигнализирующие о возможных неисправностях.

Фильтр тонкой очистки 6 бывает различных типов: угольный (удаляет неприятные запахи), электростатический (задерживает мелкую пыль) и т.п. Наличие или отсутствие фильтров тонкой очистки никакого влияния на работу кондиционера не оказывает.

Вентилятор 7 обычно имеет 3–4 скорости вращения.

Вертикальные жалюзи 8 – служат для регулировки направления воздушного потока по горизонтали. В бытовых кондиционерах положение этих жалюзей можно регулировать только вручную.

Поддон для конденсата (на рисунке не показан) расположен под испарителем и служит для сбора конденсата (воды, образующейся на поверхности холодного испарителя). Из поддона вода выводится наружу через дренажный шланг.

Плата управления (на рисунке не показана) – обычно располагается с правой стороны внутреннего блока. На этой плате размещен блок электроники с центральным микропроцессором.

Штуцерные соединения (на рисунке не показаны) – расположены в нижней задней части внутреннего блока. К ним подключаются медные трубы, соединяющие наружный и внутренний блоки.

Имеется защита от обмерзания теплообменника наружного блока.

12.3 Подбор кондиционеров

Оборудование систем кондиционирования воздуха подбирается для крайних расчетных режимов, какими являются состояния наружного воздуха в теплый и холодный периоды года с учетом внутренних параметров воздуха и количества выделяющихся в

помещениях вредностей (СНБ 4.02.01-03). К ним относятся: вредные пары, газы, пыль и электрическое состояние воздушной среды.

В процессе эксплуатации эти условия изменяются, на что система кондиционирования должна отвечать изменениями режима своей работы, осуществляемыми системами автоматики.

В технике кондиционирования воздуха применяют качественное и количественное регулирование.

При *качественном* – изменяются параметры приточного воздуха при его неизменном расходе в системе.

При *количественном* – требуемое состояние воздушной среды в помещениях достигается изменением расхода воздуха при его неизменных параметрах.

Возможности количественного регулирования ограничены, поэтому широко применяют качественное регулирование или его сочетание с количественным (в многозональных системах).

Более подробно о расчетах систем кондиционирования воздуха можно ознакомиться в источниках [16, 19, 20] или в Интернете на специализированных сайтах по системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

13 ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

13.1 Общие сведения о видах топлива и его свойствах

Топливо – горючие вещества (основной частью которых является углерод), применяемые с целью получения при их сжигании тепловой энергии. В связи с развитием техники термин "топливо" стал применяться в более широком смысле и распространился на все материалы, служащие источником энергии (ракетное и ядерное топливо, водородная энергетика) [19].

Классификация топлива в зависимости от агрегатного состояния и происхождения приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Классификация различных видов топлива

Агрегатное состояние	Происхождение	
	естественное	искусственное
Твердое	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Древесный уголь, полукокс, кокс, термоантрацит, брикеты и др.
Жидкое	Нефть	Мазут, соляровое масло, дизельное и моторное топливо, керосин и др.
Газообразное	Газы природный и попутный	Газы коксовый, доменный, сланцевый, генераторный и др.

Топлива могут быть *природные (естественные)* и *искусственные*, причем природные делятся на *органические* и *неорганические*.

В зависимости от характера использования топливо условно подразделяется на *энергетическое* и *технологическое*. Энергетическое топливо используется в теплоэнергетических установках для получения тепловой и электрической энергии; технологическое топливо – в плавильных и нагревательных печах, топках, сушилках и других установках, а также для химической переработки в различные искусственные виды топлива (кокс, полукокс, генераторный газ и др.).

С развитием атомной энергетики все более широко используется ядерное топливо: ^{235}U , ^{238}U и ^{239}Pu . Ядра этих тяжелых элементов расщепляются под воздействием нейтронов и выделяют при этом значительную энергию в виде теплоты, используемой для производства пара в специальных устройствах – парогенераторах [38].

В настоящее время твердое и газообразное топливо используется, как правило, в естественном состоянии, жидкое топливо используется в качестве конечного продукта переработки исходного сырья – нефти.

Органическое ископаемое топливо является в настоящее время и по прогнозам до 2030 г. основным источником энергии (теплоты) для промышленного использования и транспортных двигателей [19].

Составляющими (компонентами) всякого органического топлива являются горючие элементы и негорючие примеси или балласт (рисунок 64).

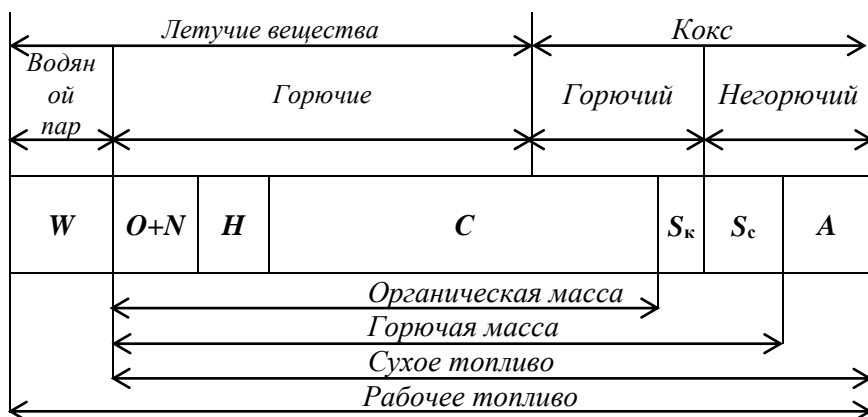


Рисунок 64 – Общий химический состав твердого топлива

Различают следующие составы топлива: *рабочий*, *сухой* (без влаги) и *горючий* (включающий только горючие элементы).

Рабочим называется состав, включающий все компоненты топлива, а именно горючие, балластные и влагу. Состав твердого и жидкого рабочего топлива выражается содержанием в нем отдельных химических элементов и веществ и указывается в весовых процентах по рабочей массе:

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100 \%, \quad (101)$$

где C^p – содержание углерода; H^p – водорода; S^p – летучей серы;

O^p – кислорода; N^p – азота; A^p – золы; W^p – влаги.

Состав газообразного топлива обычно задается в объемных процентах.

Ценность топлива определяется содержанием в нем горючих элементов, главным из которых являются углерод С и водород Н.

Содержание углерода в каменных углях достигает 40–70 %, мазуте – 84–87 %, антраците – до 90 %. Газообразное топливо (природный газ) почти целиком состоит из горючих компонентов метана CH_4 , углеводородов C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} .

Горючей является колчеданная часть серы S_k , однако, ее содержание во всех видах топлива невелико (1–3 %). Сера в виде сульфидов S_c входит в негорючую зольную массу. Негорючие составляющие образуют балласт, подразделяющийся на пассивный и активный. Пассивный балласт представлен компонентами, которые в процессе горения не выделяют теплоту – азотом N, кислородом O, негорючей частью серы S, а также золой A.

Активным балластом является влага W, которая в процессе горения требует затраты теплоты на переход из жидкого в парообразное состояние.

Важнейшей теплотехнической характеристикой топлива является *теплота сгорания*, т.е. количество теплоты, выделившееся при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ (при нормальных условиях) газообразного топлива.

В большинстве практических случаев продукты сгорания топлива и содержащийся в них водяной пар уходят из установки с температурой, при которой пар не конденсируется и, следовательно, теплота его парообразования теряется. Поэтому различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.

Высшей теплотой сгорания Q_v^p называют количество выделившейся теплоты, включая теплоту, затраченную на испарение влаги топлива.

Низшая теплота сгорания Q_n^p не учитывает теплоту парообразования.

Поэтому в расчетах используется не высшая, а низшая теплота сгорания топлива. Она определяется экспериментально, приближенно рассчитывается по формулам и приводится в справочниках. Например, теплота сгорания каменных углей составляет 18–30, бурых углей 7–18, мазута 39–40 МДж/кг; природного газа 33–42 МДж/м³.

Для сравнения различных видов топлива введено понятие "условное топливо", низшая теплота сгорания которого составляет 29300 кДж/кг или кДж/м³. В соответствии с этим каждому топливу свойственен свой тепловой эквивалент $\Theta_t = Q_n^p / 29300$.

13.2 Производство тепловой энергии

Система теплоснабжения состоит из трех основных элементов: источника теплоты (ТЭЦ или котельной), трубопроводов (тепловых сетей) и потребителей теплоты (гражданские и промышленные здания и сооружения).

По источнику приготовления тепла различают централизованные и автономные системы теплоснабжения. При централизованном теплоснабжении теплоисточник обслуживает несколько потребителей, а при автономном – источник находится у потребителя.

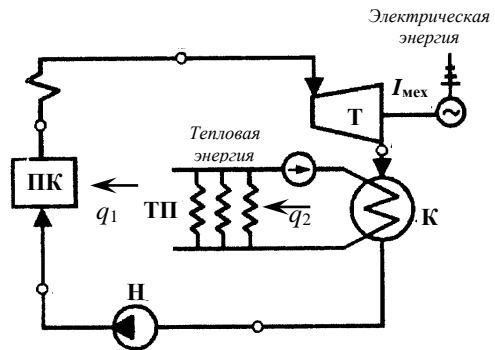
Высшей формой централизованного теплоснабжения является теплофикация, при которой тепловая энергия получается от теплоэлектростанций.

Теплоэлектростанция (ТЭЦ) – это тепловая станция, вырабатывающая одновременно электрическую энергию и теплоту для внешнего теплоснабжения. Они обеспечивают теплоснабжение промышленных предприятий и городов.

Принципиальная тепловая схема станции показана на рисунке 65. Согласно этой схеме электрическая и тепловая мощности (количество отпускаемой теплоты за единицу времени) не являются независимыми друг от друга [19].

ПК – паровой котел; Т – паровая турбина; К – конденсатор;
Н – насос; ТП – тепловой потребитель

Рисунок 65 – Схема установки для совместной выработки электрической энергии и теплоты без регулирования отбора пара из турбины



Характеристикой теплосиловых установок, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию (ТЭЦ), служит коэффициент использования теплоты

$$\eta_q = (l_s + q_2) / q_1, \quad (102)$$

где l_3 – работа цикла, используемая до получения электрической энергии;
 q_2 – теплота, отпускаемая потребителю;
 q_1 – подведенная теплота от источника.

Эффективность топлива, сжигаемого в паросиловой установке, можно повысить, если удаляемую теплоту (а она составляет не менее половины количества теплоты, подведенной от источника с более высокой температурой) использовать для отопления и горячего водоснабжения или для различных технологических процессов.

По роду теплоносителя различают паровые и водяные системы теплоснабжения.

Паровые системы используются в основном на промышленных предприятиях, где требуется высокотемпературная нагрузка.

Водяные системы применяются для теплоснабжения сезонных потребителей, в том числе для горячего водоснабжения.

По характеру тепловых нагрузок различают сезонных и постоянных потребителей.

К сезонным относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, тепловые нагрузки которых изменяются в соответствии с температурой наружного воздуха.

К постоянным потребителям относятся производственные, а также системы горячего водоснабжения жилых и общественных зданий.

Сезонные потребители имеют постоянную нагрузку в течение суток и переменную во времени года. Постоянные потребители характеризуются переменностью суточной нагрузки.

Как видим, графики тепловой и электрической энергии могут не совпадать во времени. Поэтому более рациональны в этом отношении ТЭЦ, на которых применяют конденсационные турбины с промежуточными регулируемыми отборами пара при давлениях, необходимых для потребителей теплоты. Система регулирования обеспечивает независимость параметров отбираемого пара от расхода пара через турбину. Одна из таких схем показана на рисунке 66.

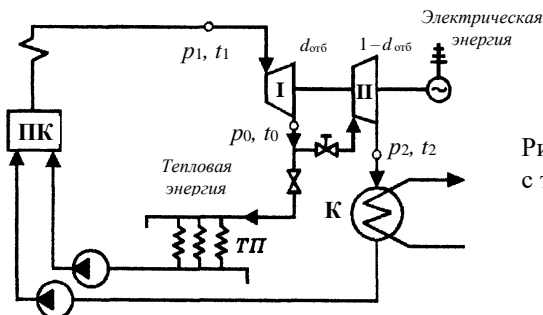


Рисунок 66 – Схема установки с турбиной (I, II) с

регулируемым
отбором пара (*обозначения*

см. на рисунке 65)

Часть пара $d_{отб}$ при давлении p_0 отбирается из промежуточных ступеней турбины I и направляется потребителям. Остальная часть пара $(1 - d_{отб})$ поступает в конденсатор. Отпускаемые потребителю теплота и электрическая энергия у турбин с регулируемым отбором пара могут изменяться независимо друг от друга. При этом, как правило, для технологических потребностей отбирается пар при более высоком давлении, а для систем отопления и горячего водоснабжения – при более низком.

13.3 Устройство и подвод тепловых сетей

Тепловая энергия в виде горячей воды или пара транспортируется от ТЭЦ или котельной к потребителям (к жилым домам, общественным зданиям и промышленным предприятиям) по специальным трубопроводам, называемым **тепловыми сетями**. Трасса тепловых сетей в городах и других населенных пунктах должна предусматриваться в отведенных для инженерных сетей технических полосах [14].

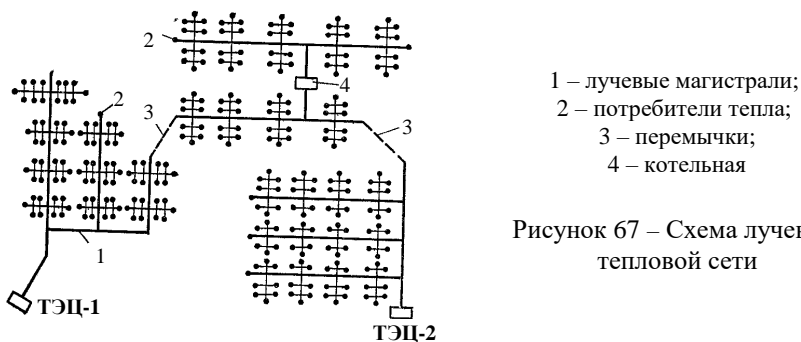
Тепловые сети в целом, особенно магистральные, являются серьезным и ответственным сооружением [14, 30]. Их стоимость по сравнению с затратами на строительство ТЭЦ составляет значительную часть.

Тепловые сети классифицируются [30]:

- на *магистральные*, прокладываемые от тепловой станции в направлениях к районам населенного пункта, *распределительные* – внутри квартала, микрорайона, и *ответвления* к отдельным зданиям;
- по *числу труб*: однотрубные, двухтрубные и четырехтрубные;
- по *способу обеспечения горячим водоснабжением*: закрытые и открытые;
- по *способу прокладки*: надземные и подземные;
- по *способу регулирования*: с качественным, количественным и качественно-количественным.

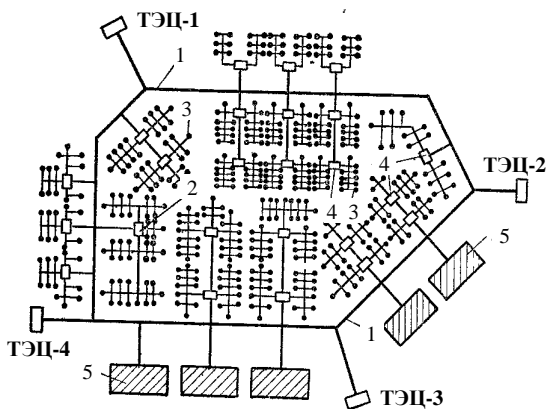
Схемы тепловых сетей применяют, как правило, *лучевые* (рисунок 67). Во избежание перерывов в снабжении теплом потребителя

предусматривают соединение отдельных магистральных сетей между собой, а также устройство перемычек между ответвлениями. Радиус действия водяных сетей во многих городах достигает значительной величины (15 км и более). В больших городах при наличии нескольких крупных источников тепла сооружают более сложные тепловые сети по *кольцевой схеме* (рисунок 68).



1 – кольцевая магистраль;
2 – котельная; 3 – потребители
тепла; 4 – центральный тепловой
пункт (ЦТП); 5 – промышленные
предприятия

Рисунок 68 – Схема
кольцевой тепловой сети



В зависимости от вида теплоносителя тепловые сети делятся на водяные и паровые.

Водяные сети разделяются на закрытые и открытые. В закрытых сетях вся вода возвращается к источнику теплоснабжения, в открытых вода разбирается потребителями на горячее водоснабжение. Качество воды в «открытой» тепловой сети должно отвечать требованиям СанПиН 10-13 РБ 99 «Вода питьевая».

Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества» [13].

Паровые сети устраивают преимущественно **двухтрубными**. Возврат конденсата осуществляется по отдельной трубе – конденсатопроводу. Пар от ТЭЦ по паропроводу со скоростью 40–50 м/с и более идет к месту потребления. В тех случаях, когда пар используется в теплообменниках, конденсат его собирается в конденсационных баках, откуда насосами по конденсатопроводу возвращается к источнику теплоты.

Надземная прокладка труб (на отдельно стоящих мачтах или эстакадах, на кронштейнах, заделываемых в стены здания) применяется на территориях промышленных предприятий, при сооружении тепловых сетей вне черты города, при пересечении оврагов и т.д.

Надземная прокладка тепловых сетей осуществляется в основном в пригородных застройках.

Преобладающим способом прокладки труб тепловых сетей является подземная прокладка: в проходных каналах и коллекторах совместно с другими коммуникациями; в полупроходных и непроходных каналах; бесканальная (в защитных оболочках различной формы и с засыпкой теплоизоляцией).

Прокладка нескольких теплопроводов больших диаметров по техническому обоснованию производится в *проходных каналах*.

Бесканальный способ прокладки теплопровода широко стали применять с конца XX века при реконструкции старых и строительстве новых тепловых сетей с использованием **предизолированных (ПИ) труб**.

Потери тепла в системах централизованного теплоснабжения на пространстве СНГ теоретически составляют от 7 до 12 %, однако фактически эта цифра в большинстве случаев достигает 20-30 %. В силу этого снижение потерь на теплотрассах становится одной из важнейших задач государства в области энергосбережения и позволяет резко повысить эффективность многих других мероприятий в области энергосбережения, проводимых в Беларуси, – как термореновация зданий и сооружений, замена устаревшего оборудования в котельных на более современное, установка приборов

учета и систем автоматического регулирования, окон со стеклопакетом.

Одним из самых эффективных и недорогих путей решения этой проблемы в Беларуси, по мнению специалистов, является широкое внедрение в практику строительства тепловых сетей трубопроводов с пенополиуретановой теплоизоляцией в полиэтиленовой оболочке типа "труба в трубе" [15, 36]. В Западной Европе предизолированные трубы, или ПИ-трубы, успешно применяются с середины 70-х годов. Такие трубы (при условии соблюдения технологии их прокладки) способны служить более 30 лет, не требуя особой профилактики.

ПИ-труба представляет собой конструкцию в виде «труба в трубе». Это трехслойная система, в которой внутренняя стальная труба (сталь 17Г1С или В-10) воспринимает давление и температуру транспортируемой воды (рисунок 69).

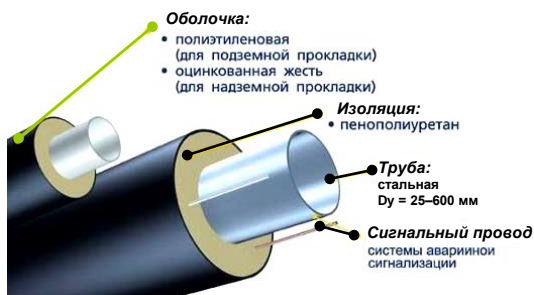


Рисунок 69 –
Конструкция
предизолированных труб
([http://www.fp-termo.ru/
prod-
ucts/predizolirovannye_truby/](http://www.fp-termo.ru/prod-ucts/predizolirovannye_truby/))

В качестве защитной наружной оболочки для *подземной прокладки* применяется полиэтиленовая труба, изготовленная из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) плотностью не менее 944 кг/м^3 , с коэффициентом теплопроводности λ не более $0,43 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Для *воздушной наземной прокладки* используется оболочка из оцинкованной стали толщиной $0,55\text{--}1,0 \text{ мм}$, поверх полиэтиленовой трубы, которая выполняет функцию гидрозашиты от грунтовых вод или атмосферной влаги. Защитная оболочка позволяет исключить наружную коррозию трубопроводов.

В качестве теплоизолирующего материала используется вспененный пенополиуретан (ППУ) плотностью не менее 60 кг/м^3 , с коэффициентом теплопроводности λ не более $0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. ППУ-изоляция на стальные трубы наносится в заводских условиях с

помощью специальных заливочных машин. Места стыков труб изолируются термоусаживающими манжетами с заливкой в них компонентов ППУ на месте монтажа [15, 24].

ПИ-теплопроводы оборудуются электронной системой аварийной сигнализации или системой оперативного дистанционного контроля (СОДК) [15], которая позволяет с точностью до 1 метра обнаруживать места с повышенной влажностью изоляции (нарушение герметичности) и утечек теплоносителя, и при необходимости принимать меры по своевременному устранению неисправностей и повреждений.

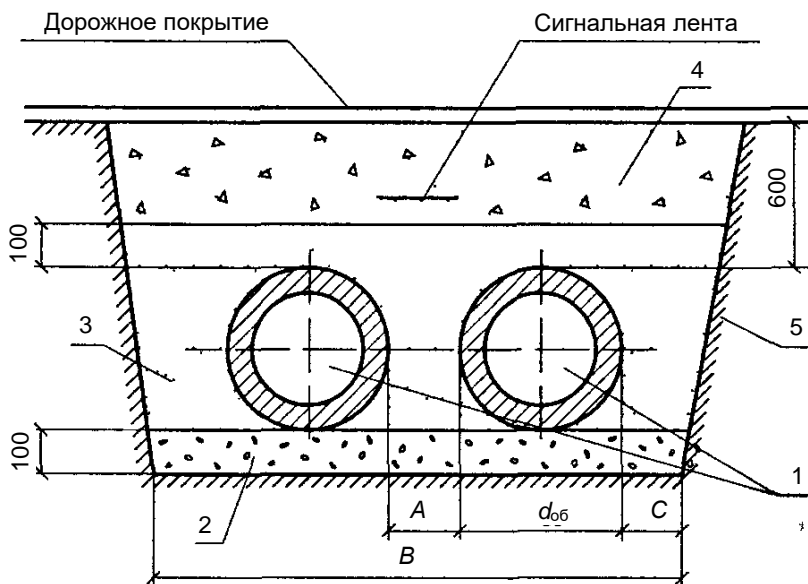
ПИ-трубы производятся диаметром от 25 до 1020 мм с полной комплектацией фасонными частями (СТБ 1295-2001).

При прокладке участков трубопроводов в непроходных каналах ПИ-трубы с диаметром стальной трубы до 400 мм рекомендуется укладывать на основание из песка с коэффициентом фильтрации 5 м/сут. Для ПИ-труб диаметром более 400 мм допускается прокладка трубопровода на скользящих опорах.

При прокладке участков трубопроводов в непроходных каналах необходимо выполнить проверку их на продольную устойчивость.

В проходных и полупроходных каналах длиной до 30 м допускается прокладка ПИ-труб на скользящих опорах. При обосновании (например, при прокладке под автомобильной дорогой) длина каналов может быть увеличена. Расчет теплотрасс производится аналогично расчетам теплопроводов, изолированных минеральной ватой или другими теплоизоляционными материалами.

При прокладке труб в траншее необходимо выдерживать минимальное расстояние между ними (рисунок 70) [47].



1 – ПИ-труба; 2 – песчаная подушка; 3 – засыпка песком;
4 – засыпка песчано-грунтовая; 5 – окружающий грунт

Рисунок 70 – Расположение труб в траншее

Производство предизолированных труб обеспечивает надежное сцепление между наружной поверхностью металлической трубы с пенополиуретановой изоляцией и внутренней поверхностью наружной полиэтиленовой оболочки. Таким образом, все элементы теплоизолированной трубы при изменении температуры теплоносителя перемещаются совместно. При бесканальной прокладке теплотрассы значительная часть возникающих при этом усилий погашается за счет трения между наружной оболочкой трубы и грунтом.

13.4 Строительные работы, выполняемые при прокладке тепловых сетей

При строительстве новых и реконструкции действующих тепловых сетей следует руководствоваться порядком, предусмотренным ТКП 45-4.02-89-2007, СНиП 3.01.01, СНиП 3.05.03 и СНиП 3.05.05 и требованиями других действующих технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства.

Монтаж тепловых сетей включает следующие основные этапы [15]:

- разбивку трассы;
- транспортирование ПИ-труб и их хранение;
- земляные работы;
- раскладку ПИ-труб;
- сборку и сварку стальных труб и деталей;
- устройство неподвижных опор;
- монтаж компенсационных устройств;
- устройство соединительных швов;
- монтаж запорной арматуры трубопровода;
- монтаж СОДК;
- контроль качества выполненных работ;
- предварительный нагрев трубопровода;
- подачу теплоносителя, комплексное опробование и приемку сети.

Строительные работы должны осуществляться в соответствии с технологическими картами (с использованием типовой документации) на выполнение видов работ с включением схем операционного контроля качества, описанием методов производства работ, с

указанием трудозатрат и потребности в материалах, машинах, оснастке, приспособлениях и средствах защиты работающих.

13.5 Присоединение потребителей к тепловым сетям

Присоединение новых потребителей тепловой энергии к тепловым сетям энергоснабжающей организации, подключение реконструируемых и ранее отключенных объектов, теплопроводов и систем теплоснабжения, изменение количества потребляемой тепловой энергии или параметров теплоносителей допускается только с разрешения энергоснабжающей организации после выполнения технических условий и заключения договора на пользование тепловой энергией (или внесения в него соответствующих изменений) [16].

Энергоснабжающая организация – организация Министерства топлива и энергетики, имеющая на своем балансе источники теплоты и тепловые сети и осуществляющая снабжение потребителей тепловой энергией. К ним относится юридическое лицо, теплоустановки и тепловые сети которого присоединены к системе теплоснабжения энергоснабжающей организации.

Теплоустановка – комплекс устройств, использующих теплоту для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических нужд.

Все потребители тепловой энергии для коммерческих расчетов с энергоснабжающей организацией должны быть обеспечены приборами учета, установленными на узлах учета.

Узел учета – комплект приборов и устройств, обеспечивающих учет тепловой энергии, контроль и регистрацию параметров теплоносителя.

Коммерческий прибор учета тепловой энергии – прибор учета, на основании показаний которого определяется расход тепловой энергии абонентом, подлежащий оплате.

Узлы учета тепловой энергии оборудуются приборами, зарегистрированными в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь, прошедшими метрологическую аттестацию и установленными в соответствии с требованиями Правил учета отпуска тепловой энергии и действующей нормативно-технической документацией.

Подключение к тепловым сетям энергоснабжающей организации потребителей, не имеющих приборов учета для расчетов за тепловую энергию, запрещается.

13.6 Схемы присоединения систем водяного отопления к сетям централизованного теплоснабжения

Теплоснабжение зданий может быть централизованным или автономным. Централизованное теплоснабжение осуществляется от тепловых электрических централей или районной котельной. Автономное теплоснабжение производится от автономного источника теплоснабжения (АИТ) или индивидуального теплогенератора квартирных систем отопления [16, 47].

В *независимой схеме* (рисунок 71, *з*) теплоснабжение здания осуществляется от индивидуальной котельной (для одного здания). Вода с помощью насоса циркулирует по контуру: водогрейный котел 1, подающие теплопроводы, нагревательные приборы 7, теплопровод обратной воды. В схему включается расширительный бак 3. Как вы уже знаете, расширительный бак служит для поддержания в системе определенного статического давления, для компенсации объема воды при изменении температуры и для удаления воздуха из системы.

Для жилых и общественных зданий в качестве теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения, как правило, используется высокотемпературная вода [14, 42, 47].

Системы централизованного теплоснабжения могут быть открытыми или закрытыми. В первом случае в системы отопления и горячего водоснабжения подается первичный теплоноситель (сетевая вода). В *закрытой системе* теплоснабжения вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как первичный теплоноситель для подогрева вторичного теплоносителя системы отопления и из сети *не отбирается* (см. рисунок 71).

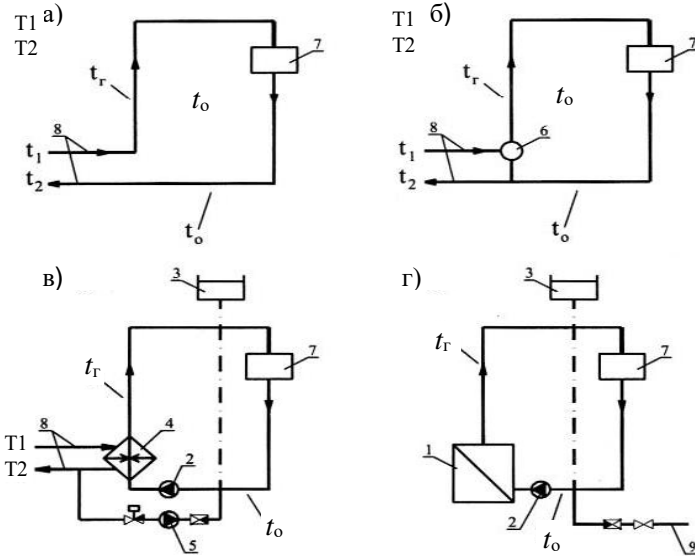
При централизованном теплоснабжении от районной котельной или ТЭЦ применяются схемы: **открытые** – *зависимая прямоточная, зависимая со смешением воды* и **закрытые** – *независимая*.

Зависимая прямоточная схема (см. рисунок 71, *а*) применяется в том случае, если $t_r = T_1$. Она проще других схем, однако, регулирование системы отопления определяется только температурным регулированием наружных тепловых сетей.

Зависимая система со смешением воды (см. рисунок 71, *б*) применяется в том случае, когда температура горячей воды в системе

отопления должна быть меньше температуры горячей воды в тепловой сети, т. е. при $t_r < T1$, и гидростатическое давление допускается равным давлению в обратном теплопроводе. Температура горячей воды в системе отопления t_r достигается смешением обратной воды с температурой t_o и горячей воды тепловой сети с температурой $T1$.

Смешение осуществляется при помощи t_r водоструйного t_r элеватора или смесительного насоса. t_r или



1 – котел; 2, 5 – насос; 3 – расширительный бак; 4 – пластинчатый теплообменник; 6 – элеватор или смесительный насос; 7 – нагревательные приборы; 8 – тепловые сети с подающим T1 и обратным T2 теплопроводами

Рисунок 71 – Схемы закрытой (а, б) и открытой (в, г) систем центрального отопления

В независимых схемах вместо водогрейного котла в настоящее время устанавливается пластинчатый теплообменник (см. рисунок 71, в), обогреваемый первичной водой из тепловой сети. Система пополняется деаэрированной водой из тепловой сети при помощи подпиточного насоса. Нагрев воды от температуры t_o до t_r осуществляется в теплообменнике путем подвода первичного теплоносителя (воды) с температурой $T1$. Первичная вода охлаждается в

теплообменнике до температуры t_0 и уходит в обратный теплопровод наружной тепловой сети.

К независимой схеме относится и *автономная* система отопления с индивидуальным котлом, в котором происходит подогрев теплоносителя (воды) (см. рисунок 71, з).

Внедрение систем отопления с автоматическим регулированием теплоотдачи нагревательных приборов с помощью термостатов приводит к постепенному отказу от присоединения систем отопления с помощью водоструйных элеваторов, так как последние нормально работают лишь при постоянном перепаде давлений на вводе трубопроводов теплосети.

13.7 Тепловой пункт системы водяного отопления

Наиболее популярной схемой присоединения систем отопления жилых зданий является схема через центральный тепловой пункт (ЦТП), который обслуживает группу жилых и общественных зданий.

В последнее время получило распространение подсоединение жилых зданий к теплосетям через индивидуальный тепловой пункт (ИТП) [31]. В ИТП вода на нужды отопления и горячего водоснабжения приготавливается в пластинчатых теплообменниках (рисунок 72), установленных непосредственно в здании. Теплообменники (ТО) пластинчатые (ТУ РБ 100120963.009-2001) *предназначены* для осуществления процессов теплообмена между различными средами с разными температурами в системах отопления и горячего водоснабжения жилых, административных и промышленных зданий, а также могут быть использованы в различных технологических процессах.

Теплообменники собираются из унифицированных узлов и деталей и по компоновке пластин (секций) могут быть следующих исполнений: **1х** – одноходовой; **2х** – двухходовой; **3хЦ** – трехходовой для ГВС с циркуляционной линией; **2хБГВ** – двухходовой для ГВС, подсоединенной к тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме.

Блочные тепловые пункты (БТП) предназначены для присоединения к тепловым сетям систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий различного назначения. БТП представляют собой комплекс, состоящий из оборудования, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов, арматуры,

средств автоматизации и электротехнических изделий. БТП поставляются в полностью законченном виде укрупненными монтажными узлами, которые могут быть собраны на месте монтажа в течение 1–2 рабочих смен (рисунок 73).

В комплект поставки БТП входит сопроводительная документация, необходимая для монтажа, наладки и сдачи теплового пункта.

Внедрение БТП позволяет в сравнении с традиционным решением уменьшить: площадь помещения для размещения БТП в 5 раз; срок монтажа и наладки теплового пункта – в 4 раза, стоимость теплового пункта – на 20 %.

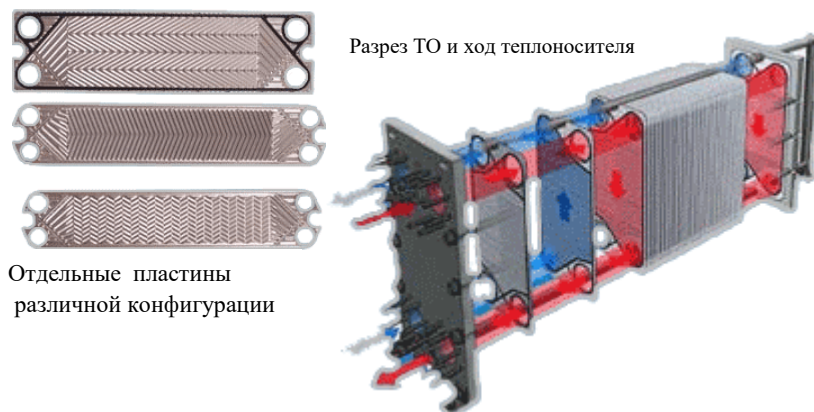


Рисунок 72 – Сборка пластинчатого теплообменника

Методика и примеры теплотехнического расчета пластинчатых теплообменников подробно описаны в [31].

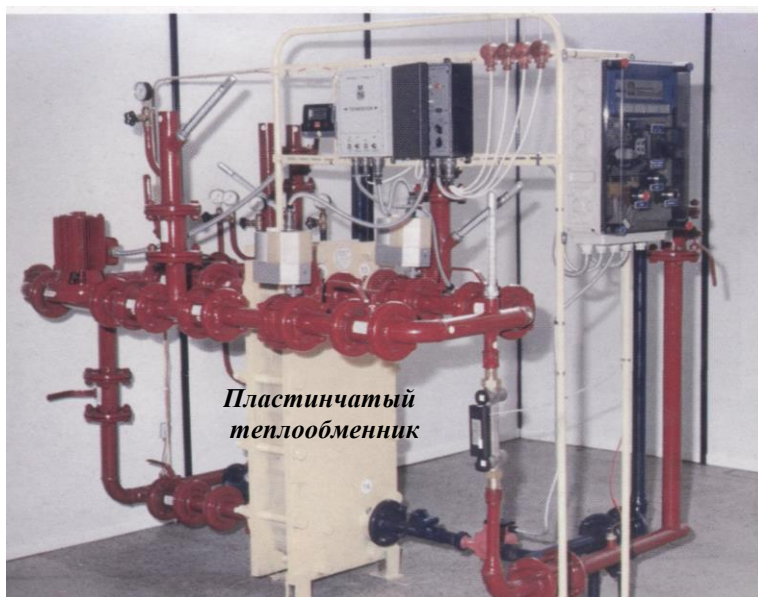


Рисунок 73 – Общий вид блочного теплового пункта

Для обеспечения циркуляции воды в системах отопления и горячего водоснабжения в настоящее время используют насос циркуляционный (например МНЦ 6,3/7,1 по ТУ РБ 100120963.004-2000, рисунок 74, таблица 19).

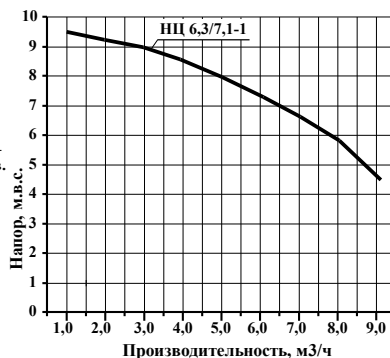
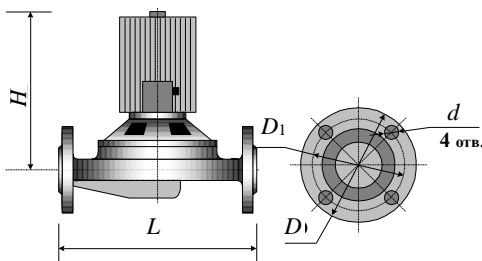


Рисунок 74 – Габаритные размеры насоса и график подбора

Таблица 19 – Техническая характеристика циркуляционного насоса

Наименование		НЦ 6,3/7,1
Диаметр номинальный D_N , мм		40
Давление номинальное p_N , МПа		1,0
Температура рабочей среды, °С		90
Уровень шума, дБ		До 50
Электропривод	мощность, Вт	370
	напряжение, В	220 или 380
	частота вращения, об/мин	1320
Габаритные и присоединительные размеры, мм	L	320
	H	285
	D	145
	D_1	110
	d	18
Масса, кг		24,0
Установочное положение на трубопроводах		Любое, кроме положения двигателем вниз

Циркуляционные насосы при независимой системе теплоснабжения устанавливаются на обратном трубопроводе перед теплообменником.

Смесительные насосы для системы отопления устанавливаются:

а) на *перемычке* между подающим и обратным трубопроводами при располагаемом напоре перед узлом смешения, достаточным для преодоления гидравлического сопротивления СО и тепловых сетей после ЦТП, и при давлении в обратном трубопроводе тепловой сети после теплового пункта не менее чем на 0,05 МПа выше статического давления в СО;

б) *обратном трубопроводе* перед узлом смешения для понижения давления в обратном трубопроводе;

в) *подающем трубопроводе* для повышения давления в системе отопления.

Грязевики в тепловых пунктах следует предусматривать на подающем трубопроводе при вводе в тепловой пункт непосредственно после первой запорной арматуры и на обратном трубопроводе перед

регулирующими устройствами, насосами, приборами учета расхода воды.

Средства автоматизации и контроля должны обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала и выполнять следующие функции:

- поддерживать заданную температуру воды, поступающую в систему отопления и систему горячего водоснабжения;

- регулировать подачу теплоты в систему отопления в зависимости от изменения параметров наружного воздуха с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

- поддерживать требуемый перепад давлений воды в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей на вводе ЦТП и ИТП при превышении фактического перепада давлений над требуемым более чем на 200 кПа;

- минимальное заданное давление в обратном трубопроводе системы отопления при возможном снижении давления;

- включать и выключать подпиточные устройств для поддержания статического давления в системах теплоснабжения при их независимом присоединении;

- защищать систему отопления от опорожнения.

Системы централизованного теплоснабжения от ТЭЦ в крупных городах в некоторых случаях стали нецелесообразными: большая протяженность сетей приводит к значительным потерям теплоты, увеличению расхода на транспортировку теплоносителя, запаздываниям по температурному графику (теплоноситель доходит к потребителю через несколько часов после приготовления, а за это время может значительно измениться температура наружного воздуха). Кроме того, крупные ТЭЦ своими выбросами ухудшают экологию районов, в которых они расположены.

Теплосети требуют проведения плановых ремонтов. При проектировании нового строительства следует также учитывать, что в некоторых случаях прокладка теплосети с устройством прокола под транспортной магистралью может стоить дороже строительства индивидуальной (автономной) котельной, предназначенной для теплоснабжения одного здания или сооружения.

Поэтому в последние годы все чаще строят **индивидуальные крышные котельные**, располагаемые на покрытии здания непосредственно, на специально устроенном основании на покрытии или в верхнем техническом этаже (чердачном помещении) строящегося здания с легким малошумным полностью автоматизированным экологическим оборудованием. Они, в отличие от индивидуальных котельных, расположенных в подвалах, не нуждаются в высоких трубах, уродующих архитектурный облик города.

Крышные котельные установки предназначены для выработки горячей воды, используемой в качестве теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения отдельных жилых домов, административных и промышленных зданий. Котельная работает без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Тепловая мощность котельной не должна превышать потребности в теплоте того здания, для теплоснабжения которого она предназначена. Проектирование и строительство здания и котельной одностадийное. Все технологическое оборудование монтируется на раме. Вспомогательное оборудование установлено в подвальном помещении.

Котельная укомплектована коммерческими узлами учета электроэнергии, газа, холодной и горячей воды, вырабатываемого тепла, в ней предусматривается размещение оборудования, арматуры, приборов контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- изменение и контроль параметров теплоносителя для отопления и горячего водоснабжения;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;
- защита местных систем при аварийном повышении параметров теплоносителя;
- соблюдение норм пожарной безопасности Республики Беларусь НПБ РБ 2-97 при устройстве крышных котельных

13.8 Регулирование тепла в системе отопления

Отопление жилых зданий следует проектировать, обеспечивая *регулирование и учет расхода теплоты на отопление* каждой

квартиры, групп помещений общественного и другого назначения, расположенных в доме, а также здания в целом.

Для определения расхода теплоты каждой квартирой (с учетом показаний общего счетчика) в жилых зданиях следует предусматривать:

- установку счетчика расхода теплоты для каждой квартиры при устройстве поквартирных систем отопления с горизонтальной (лучевой) разводкой труб;

- устройство поквартирного учета теплоты индикаторами расхода теплоты на каждом отопительном приборе в системе отопления с общими стояками для нескольких квартир, в том числе в системе поквартирного отопления;

- установку общего счетчика расхода теплоты для здания в целом с организацией поквартирного учета теплоты пропорционально отапливаемой площади квартир или другим показателям.

Одним из эффективных энергосберегающих мероприятий является регулирование температуры воды, подаваемой в системы отопления, в соответствии с температурой наружного воздуха.

Например, регулятор расхода тепла «Рацион-Комфорт» предназначен для автоматического регулирования *расхода тепла в системах отопления* по заданному отопительному графику в зависимости от температуры t_n , автоматического поддержания температуры воды в системах горячего водоснабжения и температуры воздуха в системах вентиляции.

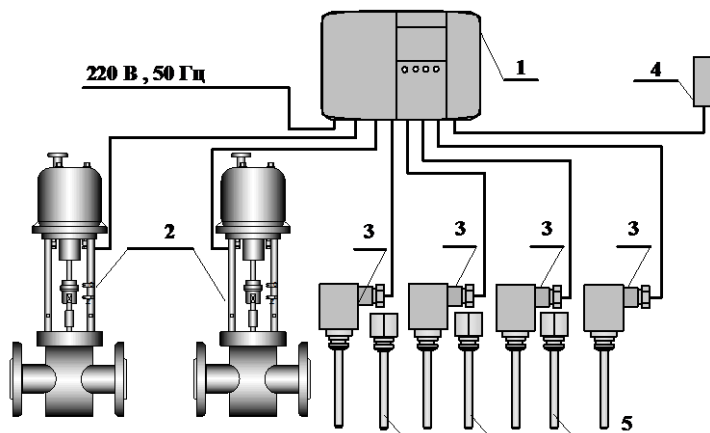
Регулятор может работать автономно или в составе многоуровневых систем управления, с которыми связывается через последовательный интерфейс RS 232 (рисунок 73).

Регулятор рассчитан на эксплуатацию в закрытых взрывобезопасных помещениях с температурой окружающей среды от 0 до +50 °С, относительная влажность воздуха не должна превышать 80 % при температуре +35 °С. Регулятор состоит из микропроцессорного блока управления производства фирмы «Danfoss» (Дания), датчиков температуры производства фирмы «Danfoss» (Дания) или НПО «Энергоприбор» (Республика Беларусь), а также одного или двух клапанов регулирующих седельных (d_y 15, 20, 25, 32, 40, 50, 80) производства ПО «Термоблок». В зависимости от количества

автоматизируемых систем регулятор может быть одно- или двухконтурным.

Маркировка регулятора зависит от его назначения, цифры «1» или «2» указывают на количество контуров, буква «Н» указывают на наличие функции управления насосами, буквы «О», «В» или «ГВ» указывают на сокращенное название систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения для каждого контура.

Регулятор имеет сертификат соответствия Госстандарта РФ № ВУ/112 03.1.1. АА 18146 от 23.10.2003 г.



1 – блок управления регулятором; 2 – клапан регулирующий седельный с электроприводом; 3 – датчик температуры погружной; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 5 – гильза защитная

Рисунок 75 – Общий вид регулятора «Рацион-Комфорт» 2 для отопления и горячего водоснабжения

Принцип работы регулятора для контура отопления заключается в следующем. Блок управления с помощью датчиков температуры определяет температуру теплоносителя, поступающего в систему отопления и температуру наружного воздуха. На основании графика зависимости температуры теплоносителя (рисунок 76), поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха t_n , блок управления (рисунок 77), определяет требуемое значение температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления t_r .

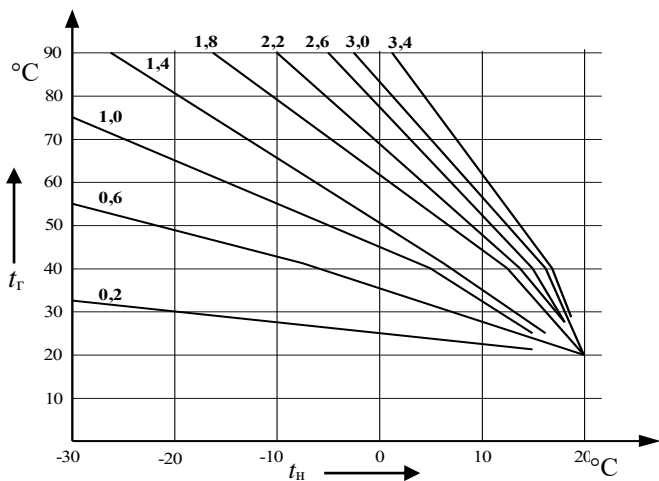


Рисунок 76 – График зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха
рацион-комфорт 1.0

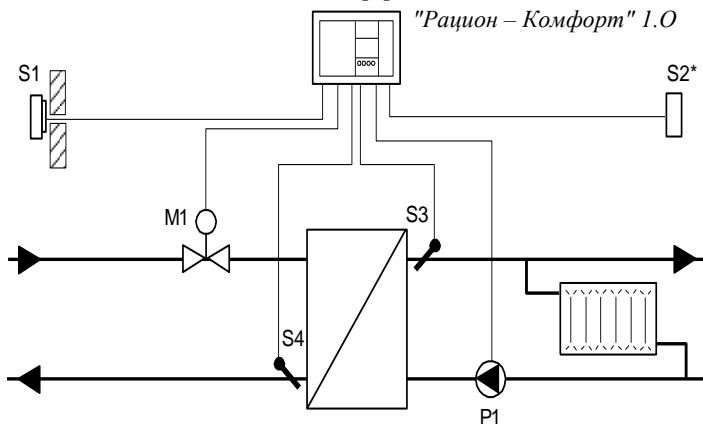


Рисунок 77 – Схема установки регулятора "Рацион – Комфорт" 1.0 для одной системы отопления с независимым присоединением к тепловой сети через пластинчатый теплообменник

Блок управления формирует управляющий сигнал на открытие регулирующего клапана, когда значение температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, ниже требуемого значения. Блок управления формирует управляющий сигнал на закрытие регулирующего клапана, когда значение температуры теплоносителя,

поступающего в систему отопления выше требуемого значения. Блок управления имеет возможность чередовать режимы поддержания комфортной и пониженной температуры теплоносителя в системе отопления по заранее установленной недельной программе.

Принцип работы регулятора для системы вентиляции заключается в следующем. Блок управления с помощью датчика температуры определяет температуру воздуха в помещении или воздуховоде и сравнивает ее с заданным значением. Блок управления формирует управляющий сигнал *на открытие* регулирующего клапана, когда значение температуры воздуха ниже требуемого значения. Блок управления формирует управляющий сигнал *на закрытие* регулирующего клапана, когда значение температуры воздуха выше требуемого значения. Блок управления *имеет возможность чередовать режимы* поддержания комфортной и пониженной температуры воздуха в помещении по заранее установленной недельной программе.

13.9 Теплоснабжение строительных площадок

Строительное производство нуждается в тепле в основном в зимнее время года для технологических нужд (нагревание бетона, оттаивание грунта и др.), отопления и сушки строящихся объектов, отопления и горячего водоснабжения, временных мобильных инвентарных санитарно-бытовых и административно-хозяйственных помещений, используемых для нужд строительства постоянных зданий.

Источниками временного теплоснабжения строительной площадки могут быть существующие или проектируемые теплосети, калориферы и воздухонагреватели различных типов и мощностей, ТЭНы, газобаллонные установки, передвижные теплогенераторы, мобильные котельные.

Последовательный расчет теплоснабжения строительной площадки включает: определение потребителей и расчет потребности в тепле, выбор теплоносителя, выбор источника теплоснабжения, составление рабочей схемы теплоснабжения строительной площадки (рисунок 76).

Расчет потребности в тепле производится отдельно для каждой группы зданий по максимальному часовому расходу в отопительный период.

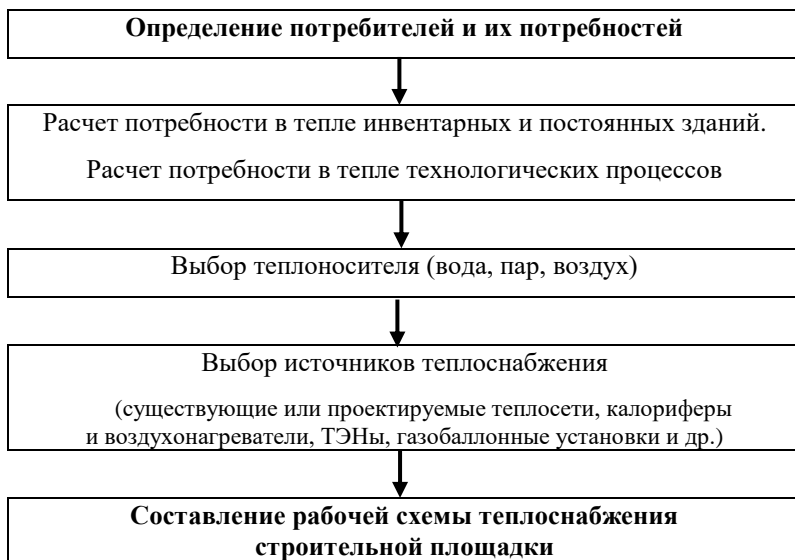


Рисунок 78 – Блок-схема теплоснабжения строительной площадки

Температуру воздуха внутри здания следует принимать в соответствии с СНБ.

Потребность тепла для технологических процессов определяется теплотехническим расчетом или берется из справочников.

Общая потребность в тепле определяется как сумма теплопотребностей на производственные и технологические нужды.

Определение вида теплоносителя (вода, пар, воздух) производится в зависимости от наличия постоянных теплопроводов, производственной необходимости и затрат на эксплуатацию источников.

В городских условиях, как правило, используется тепло от существующей теплосети или центральных котельных. В этом случае ставится блочный автоматизированный тепловой пункт (БАТП), который временно снабжает теплом и горячей водой строящееся здание (рисунок 79). БАТП обеспечивает учет потреблений тепловой энергии, качественную регулировку теплоносителя, даже в том

случае, если используются тепловые пушки, а при их отключении нет завышения температуры обратной воды.

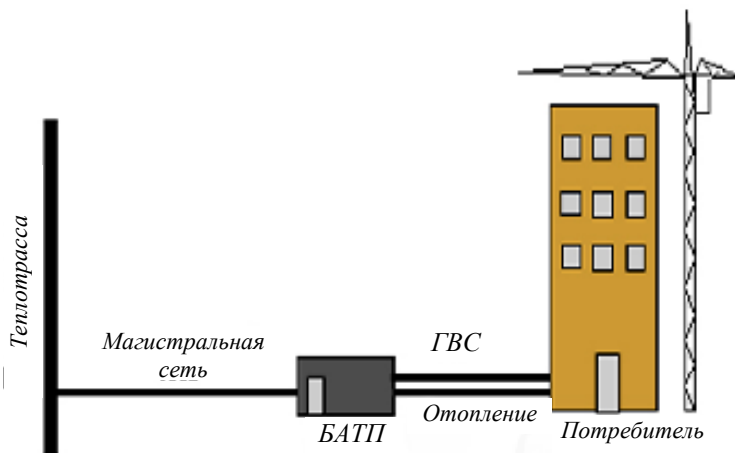


Рисунок 79 – Схема временного обеспечения теплом вновь строящегося здания от теплотрассы с использованием БАТП

При отсутствии такой возможности рекомендуется применять различные инвентарные котельные, котлы и электробойлерные. Для сушки помещений могут быть использованы воздушно-отопительные аппараты, газовые горелки инфракрасного излучения.

13.10 Нетрадиционные способы теплоснабжения жилых зданий

Основным путем экономии энергии в строительстве является возведение зданий с эффективным использованием энергии, в котором предусмотрены оптимальные на перспективу инженерные методы и средства по эффективному использованию и экономии энергии, применению нетрадиционных теплоисточников.

Для рационального использования энергии при положительной технико-экономической оценке предлагаются проектировать системы отопления зданий с применением низкотемпературного, солнечного, геотермального источников, а также сбросной теплоты [22]. Наиболее актуальны такие системы теплоснабжения для усадебных жилых домов [11].

Источником теплоты для *тепловых насосов* является окружающая среда, энергетический уровень которой различен в зависимости от места расположения объекта и времени суток и года. Так, температура грунта в течение года постоянна и имеет значение около 10 °С, в качестве возможного источника энергии можно использовать грунтовые воды, температура которых не ниже 8 °С. Поэтому низкотемпературные системы отопления являются особенно подходящими объектами для использования тепловой насосной установки.

Эффективность работы тепловых насосов увеличивается с понижением температуры воды в подающем трубопроводе, поэтому наиболее приемлемыми для них являются низкотемпературные системы теплоснабжения, в том числе системы подогрева пола.

В качестве примера в приложение Ж приведена схема теплонасосной установки "грунт-вода" из ТКП 45-4.02-74-2007. Также можно использовать схемы:

- «грунт-вода» с теплообменником в земле в виде скважины;
- «вода-вода» с подъемным и приемным колодцами;
- «воздух-воздух» с теплообменником-воздухоохладителем.

В качестве теплоисточника низкотемпературных систем отопления может использоваться теплота подземных нагретых вод. Такое отопление называют *геотермальным*. Однако в Беларуси из-за отсутствия геотермальных источников этот вид отопления не находит применения.

Системы отопления с использованием *сбросной теплоты* требуют капитальных вложений и оригинальных решений по утилизации теплоты, отводимой в настоящее время в атмосферу или водоемы от различных технологических установок.

В системах *солнечного отопления* используется гелиосистема, которая позволяет улавливать солнечную радиацию и преобразовывать ее в тепловую энергию.

Наиболее рациональным решением предлагается схема квартирной системы теплоснабжения с *комплексным использованием источников энергии* при мощности системы отопления до 40 кВт. В качестве основного источника теплоты используется водогрейный дровяной камин мощностью до 30 кВт с естественной циркуляцией теплоносителя. Ограничитель температуры прямого действия изменяет расход воды таким образом, чтобы температура на выходе из камина была не ниже 70 °С. Газовый котел подключается к

нагреванию воды автоматически при недостаточной теплопроизводительности бака-аккумулятора. Тепловыделения и солнечная энергия (через окна) используются за счет индивидуальных терморегуляторов. Годовая величина замещения основных источников теплоты составляет от 25 до 60 %.

14 ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

14.1 Свойства газа. Устройство и подвод газовых сетей

Природные газы, добываемые из недр земли, представляют собой смесь, состоящую из горючих газов, балластных газов и примесей.

Горючие газы состоят из метана (CH_4), предельных углеводородов ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) и непредельных углеводородов (C_nH_{2n}). В сумме предельные и непредельные углеводороды называются тяжелыми углеводородами. Водород (H_2) и оксид углерода (CO) в природных газах отсутствуют.

Балластные газы состоят из азота N_2 , углекислого газа – CO_2 и кислорода – O_2 . Примеси, входящие в состав природных газов, состоят в основном из водяных паров (H_2O), сероводородов (H_2S) и пыли.

Природные газы лишены цвета, запаха, вкуса. Горючий газ в своем составе имеет горючие и негорючие вещества. Углекислый газ, кислород, азот и водяной пар относят к негорючим газам, а углеводороды, водород, сероводород – к горючим. При получении газа из него извлекают токсичный газ – сероводород, количеством на тот момент не более $0,02 \text{ г/м}^3$.

Горючие газы, которые используются в котельных, имеют ряд показателей, к которым можно отнести: состав, теплоту сгорания, плотность, температуру горения и воспламенения, границы взрываемости и давление при взрыве.

Низшая теплота сгорания метана $Q_n = 35840 \text{ кДж/м}^3$, плотность – $0,717 \text{ кг/м}^3$. Плотность природного газа полностью зависит от его состава и находится в пределах от $0,73$ до $0,85 \text{ кг/м}^3$.

По сравнению с твердым и жидким топливом природный газ выигрывает благодаря своим особенностям:

- легкий способ добывания и транспортировки, соответственно, относительная дешевизна;
- высокая теплота сгорания;
- облегчаются условия автоматизации рабочих процессов;
- не требуется подготовки топлива к сжиганию;

- облегчается труд обслуживающих работников и улучшение санитарно-гигиенических условий его работы;
- отсутствие пыли и выноса твердых частичек в атмосферу.

Использование природного газа требует особой внимательности и осторожности, по причине возможных утечек в местах присоединения арматуры и через неплотности в соединениях газопровода.

Важно знать, что наличие в помещении более 20 % газа приводит к удушью, а при его скоплении в закрытом объеме от 5 до 15 % может вызвать взрыв газозвушной смеси. Неполное сгорание несет за собой образование токсичного угарного газа CO, который даже при небольших концентрациях приводит к отравлению.

Система газоснабжения города природным газом включает в себя газовый промысел, магистральный газопровод (МГ), компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС) и газопроводы города: высокого давления (ГВД), среднего давления (ГСД) и низкого давления (ГНД), а также газораспределительные пункты [17, 23].

Газопровод – инженерное сооружение, предназначенное для доставки природного газа с помощью трубопровода.

Магистральные газопроводы предназначены для транспортировки газа на большие расстояния. Через определённые интервалы на магистрали установлены *газокомпрессорные станции*, поддерживающие давление в трубопроводе. В конечном пункте магистрального газопровода расположены *газораспределительные станции*, на которых давление понижается до уровня, необходимого для снабжения потребителей.

Газопроводы распределительных сетей предназначены для доставки газа от газораспределительных станций к конечному потребителю.

Газ по газовым сетям подаётся под определённым избыточным давлением, в зависимости от которого различают:

- газовые сети низкого давления, p до 0,05 МПа;
- среднего давления, $0,05 \text{ МПа} < p < 0,3 \text{ МПа}$;
- высокого давления, $0,3 < p < 0,6 \text{ МПа}$;
- сверхвысокого $0,6 < p < 1,2 \text{ МПа}$.

Газопроводы низкого давления используются для газоснабжения жилых домов, общественных зданий и мелких коммунально-бытовых предприятий [23].

Газопроводы среднего и высокого давления служат для питания: средних промышленных предприятий, коммунально-бытовых предприятий (бани, механические прачечные, хлебозаводы и др.). Газопроводы сверхвысокого давления снабжают газом в основном ТЭЦ, ГРЭС, крупные промышленные предприятия. Полная классификация газопроводов, входящих в систему газоснабжения, приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Классификация газопроводов, входящих в систему газоснабжения [8]

Классификационные показатели	Газопроводы
1 Местоположение относительно планировки населенных пунктов	Наружные (уличные, внутриквартальные, межцеховые) и внутренние (расположенные внутри зданий и помещений)
2 Местоположение относительно поверхности земли	Подземные (подводные), надземные (надводные), наземные
3 Назначение в системе газоснабжения	Распределительные , газопроводы-вводы, продувочные, сбросные, импульсные, а также межпоселковые
4 Давление газа	Высокого , среднего и низкого давления
5 Материал труб	Металлические (стальные, медные и др.) и неметаллические (полиэтиленовые и др.)
6 Вид транспортируемого газа	Природного газа, попутного газа и сжиженного углеводородного газа

Распределительными следует считать наружные газопроводы, которые начинают свое расположение от населенных пунктов ГРП, обеспечивающих газоснабжение до вводов. Ввод – это участок газопровода, проходящий от места присоединения к распределительному газопроводу до здания, включая отключающее устройство на вводе в здание, или до вводного газопровода.

Газопроводом-вводом следует считать газопровод от места присоединения к распределительному газопроводу до отключающего

устройства на вводе. Вводы бывают уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые и др.

Межпоселковыми газопроводами следует считать распределительные газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов.

При проектировании газоснабжения городов и населенных пунктов используют следующие системы распределения газа по давлению:

- одноступенчатая с подачей потребителям газа одного давления;
- двухступенчатая с подачей потребителям газа по газопроводам двух давлений;
- трехступенчатая с подачей потребителям газа по газопроводам трех давлений (рисунок 80).

Связь между газопроводами, имеющими разное давление и входящими в систему газоснабжения, устанавливается через ГРП и газорегуляторные установки (ГРУ).

Городское газовое хозяйство начинается с кольца высокого давления 1,2 МПа, которое питается от нескольких контрольно-регуляторных пунктов (см. рисунок 80).

- 1 – магистральные газопроводы;
- 2 – ГРС; 3 – КРП; 4 – газопроводы низкого давления 0,12 МПа; 5 – ГРП;
- 6 – кольцо газопроводов высокого давления (2 МПа); 7 – кольцо газопроводов высокого давления (1,2 МПа);
- 8 – газопроводы высокого давления 0,6 МПа; 9 – кольцо газопроводов среднего давления 0,3 МПа;
- 10 – перемычка;
- 11 – подземное хранилище газа

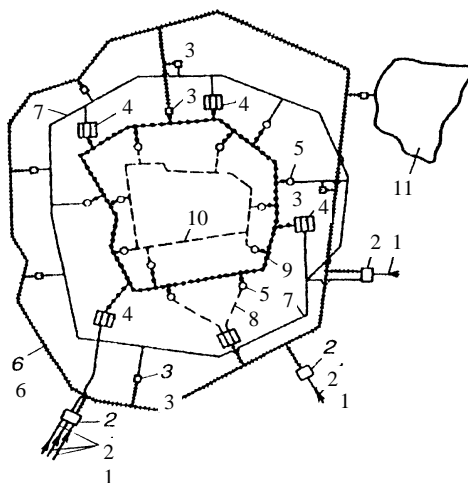


Рисунок 80 – Принципиальная схема газоснабжения большого города

Затем через газорегуляторные пункты газ последовательно поступает в газопроводы с более низким давлением, и, наконец, от сети низкого давления поступает в жилые дома, общественные здания и коммунальные бытовые предприятия. ГРС устанавливают на конечном участке магистрального газопровода на входе в город. После ГРС давление газа может снижаться до величины, необходимой городу.

Газопроводы могут прокладывать *надземным и подземным* способами. Как правило, на территории города и населенных пунктов газопроводы прокладывают в земле. Исключение составляют территории

промышленных предприятий, где их можно прокладывать по эстакадам и различным переходам сверху проезжей части заводской автотрассы.

Наземные газопроводы прокладывают с учетом компенсации температурных удлинений, которые зависят от расчетной температуры воздуха.

Подземные газопроводы прокладывают, главным образом, по городским проездам, а также в зоне зеленых насаждений. Расположение газопроводов по глубине должно быть более 0,8 м до верха газопровода или футляра, а при отсутствии транспорта в месте его прохождения возможно уменьшение до 0,6 м.

Расстояние по горизонтали между подземными газопроводами и другими сооружениями должно находиться в пределах от 1 до 10 м в зависимости от вида коммуникаций и типа газопровода.

По высоте установка газопровода в местах скопления людей допускается от 2,2 м, в местах проезда автотранспорта от 5 м. А на территории полного отсутствия прохода людей и проезда автотранспорта, допускается размещение газопроводов на низких опорах от 0,35 м в высоту от земли до низа трубы. Газопроводы помещаются в футляр в местах входа и выхода из земли. Расстояния между опорами надземных газопроводов, возможность общей прокладки газопроводов с электрокабелями и проводами, прокладка газопроводов по железнодорожным и автомобильным мостам в обязательном порядке принимаются проектной организацией строго в соответствии с действующими нормативными документами.

Для выключения отдельных участков газопровода или отключения потребителей устанавливается запорная арматура, размещаемая в колодцах.

14.2 Прокладка внутридомовых газопроводов

Внутренними газопроводами называются газопроводы, прокладываемые внутри здания от вводного газопровода или ввода до места подключения прибора.

Максимальное давление газа в газопроводах, прокладываемых внутри зданий, используется:

- для производственных зданий промышленных предприятий и для отдельно стоящих котельных – 0,6 МПа;
- предприятий бытового обслуживания производственного характера – 0,3 МПа;

- предприятий бытового обслуживания непромышленного характера и общественных зданий – 5000 Па;
- жилых зданий – 3000 Па.

Основными элементами системы газоснабжения дома является ответвления от городских (уличных) газопроводов, дворовые газопроводы, вводы, стояки, квартирные газопроводы.

Ответвления служат для подачи газа из уличного газопровода к дому. Газовые стояки служат для подачи газа в квартирные разводки. Прокладка стояков в жилых домах производится в кухнях и проходит через все этажи вертикально. Выполняются из стальных труб на сварке.

Квартирная разводка служит для подачи газа от стояков к газовым приборам. Все разводящие линии прокладываются с уклоном не менее 0,001 к стояку и приборам. Перед каждым газовым прибором на опуске должен быть установлен кран. При открытой прокладке должны соблюдаться определенные расстояния от строительных конструкций.

Газопроводы не должны пересекать оконные и дверные проемы. В жилых зданиях газопроводы крепят к стенам с помощью крюков, вбитых в стену.

14.3 Бытовое и промышленное газовое оборудование

Устройства, использующие тепловую энергию, получаемую от сжигания газа для получения горячей воды для хозяйственных нужд и отопления помещений, называют **газовыми приборами**, которые подразделяют:

- *на устройства для приготовления пищи* – многорелочные напольные, настольные; туристические;
- *устройства для нагрева воды* – проточные и емкостные водонагреватели;
- *отопительные приборы* с использованием воздуха или воды в качестве теплоносителя.

Для приготовления пищи наиболее совершенными являются *газовые плиты*.

Основным элементом любой газовой плиты является газовая горелка – устройство, в котором происходит смешивание воздуха и горючего газа. Горелки оборудованы поворотными регуляторами подачи газа, с помощью которых задается необходимая интенсивность нагрева. Ручки-регуляторы выведены на переднюю

или (реже) верхнюю панель плиты. Количество конфорок может варьироваться от двух (настольные и переносные плиты) до шести.

Варочные панели различаются не только по числу горелок, но и по вырабатываемой каждой горелкой мощности. Большинство имеет мощность 1,5–2 кВт; существуют также горелки пониженной (порядка 1 кВт) и повышенной (свыше 3 кВт) мощности.

Многие импортные газовые плиты оснащаются четырьмя конфорками, две из которых со стандартными горелками, одна – повышенной мощности, одна – пониженной. Реже встречаются другие варианты комплектации варочных поверхностей: с двумя стандартными горелками и двумя горелками повышенной мощности или же с пятью конфорками.

Многие производители не ограничиваются конфорками мощностью 1–3,5 кВт. Сравнительно недавно в мире газовых плит появились двухконтурные и даже трехконтурные конфорки. В таких конфорках можно получать не один контур пламени (так называется кольцо из язычков огня), а два или три, расположенных один внутри другого. Благодаря этому производится более интенсивный нагрев не по периферии конфорки, как обычно, а по всей ее площади. Управление всеми контурами осуществляется с помощью одной ручки. Многоконтурные конфорки отличаются широким диапазоном вырабатываемой мощности.

Среди других полезных приспособлений в газовых плитах встречаются системы электроподжига (электрозажигания) и газ-контроля. Электроподжиг может быть ручным и автоматическим: в первом случае после поворота переключателя мощности конфорки необходимо нажать на кнопку поджига, а при ручном типе электроподжига напряжение подается на все свечи одновременно, поэтому конфорки перепутать невозможно. Чаще встречается автоматический электроподжиг, когда воспламенение газа происходит при повороте ручки переключателя мощности конфорки (такой системой оборудованы практически все современные импортные и большинство плит российских, белорусских производителей).

Газ-контролем называется специальная термоэлектрическая система, которая блокирует подачу газа, если огонь случайно погаснет или газ изначально не подождли (не сработал электроподжиг).

Газовые плиты различаются по своим габаритным размерам, конструкции духовки (электрическая или газовая) и материалу, из которого изготовлена варочная панель.

Приготовление горячей воды для хозяйственных целей осуществляется *газовыми водонагревателями* (быстродействующими и емкостными). В последнее время чаще всего используют комбинированные нагреватели (рисунок 81), поскольку они обеспечивают и отопление дома, и подачу горячей воды. Наиболее популярным прибором подобного типа является АГВ (автоматический газовый нагреватель).

По принципу устройства все комбинированные системы можно отнести к ёмкостным, или накопительным: нагретая вода для системы отопления находится в расширительном баке, где проходит также теплообменник системы ГВС (горячего водоснабжения).

Таким образом, нагревая воду для одного контура, емкостный газовый котел одновременно обеспечивает нагрев воды для другого. В ряде моделей котлов предусмотрен также отдельный нагрев того или иного контура.

Комбинированные устройства имеют сложную инженерную конструкцию с несколькими степенями защиты. Для них обязательно присоединение к вентиляционному отверстию или дымоходу, через который выводятся продукты сгорания.

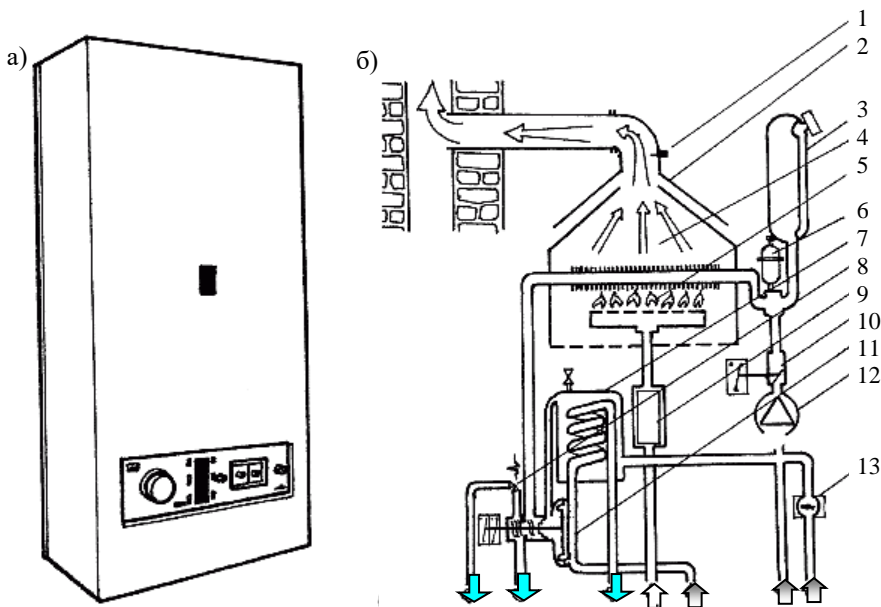


Рисунок 81 – Современный газовый котел:

a – внешний вид; *b* – схема работы

Существуют и более сложные конструкции, в которых возможен отвод продуктов сгорания через наружную стену, в таких котлах применяется специальный вытяжной вентилятор, который одновременно ускоряет теплообмен. В некоторых моделях котлов, рассчитанных на большой разбор горячей воды, проточный нагрев имеет отопительная вода, которая нагревается, проходя через накопительный бак горячего водоснабжения.

Каждый газовый прибор или установка должны удовлетворять техническим требованиям, наиболее важными из которых являются полезная теплопроизводительность $Q_{\text{пол}}$, кДж/ч, которая характеризуется коэффициентом полезного действия, %,

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{BQ_{\text{н}}} \cdot 100, \quad (103)$$

где B – расход газа, м³/ч;

$Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания газа, кДж/м³.

В практике использования газа различают номинальные и предельные технические показатели газовых бытовых установок.

Паспортные данные установки всегда указываются при номинальной нагрузке. Предельная нагрузка обычно не превышает номинальную более чем на 15–20 %.

К промышленному газовому оборудованию и трубопроводной арматуре относятся: регуляторы давления, предохранительные клапаны, газовые фильтры, газорегуляторные пункты, транспортабельные котельные установки, системы автоматического контроля загазованности, подогреватели газа для магистрального газопровода, счетчики газа, пункты газорегуляторные блочной конструкции и др.

Выделим **основные группы**:

Зажорные устройства. К ним относятся задвижки, краны и вентили. Функциональное назначение – перекрытие потока среды в трубопроводе для технологических нужд. Традиционно применяемые задвижки постепенно вытесняются шаровыми кранами.

Устройства ограничения расхода. К ним относятся заслонки, дисковые затворы. Функциональное назначение – частичное или

полное ограничение расхода газа путем изменения проходного сечения трубопровода. Ставятся обычно перед горелками промышленных котлов, управляются исполнительным механизмом или вручную.

Регуляторы давления газа. Функциональное назначение – поддержание требуемого давления в газораспределительных сетях независимо от интенсивности потребления газа. При регулировании давления происходит снижение начального, или входного (более высокого), давления на конечное, или выходное (более низкое).

Клапаны предохранительные служат для предотвращения недопустимого понижения или повышения давления в газораспределительных сетях. Предохранительные клапаны делятся на запорные и сбросные.

Фильтры газовые необходимы для очистки газа от механических примесей. Применение фильтров позволяет повысить герметичность запорных устройств, работоспособность регуляторов давления и предохранительных клапанов, счетчиков и измерительных диафрагм.

Устройства учета. Счетчики газа, расходомеры. Функциональное назначение – определение объема природного газа, прошедшего через участников системы газораспределения для проведения взаимных расчетов. Счетчики газа по пропускной способности делятся на бытовые (до 10 м³/ч), коммунально-бытовые (от 10 до 40 м³/ч) и промышленные (свыше 40 м³/ч).

Самым распространенным оборудованием в газораспределительных сетях являются технологические линии, собранные из вышеописанной арматуры – *газорегуляторные пункты и пункты учета расхода газа.*

Газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ) – это полностью готовое изделие заводской сборки, где собрана технологическая линия из запорных устройств, фильтра, регулятора давления и предохранительных клапанов, помещенная в металлический шкаф. Предназначение ГРПШ – поддержание требуемого давления в газораспределительных сетях. Гамма выпускаемых промышленностью газорегуляторных пунктов весьма широка – от домовых ГРПШ-6 пропускной способностью 6 м³/ч и массой 3 кг до блочных ГРП пропускной способностью 35 000 м³/ч и массой до 9 т.

Пункты учета расхода газа (ПУРГ) – это технологическая линия, содержащая устройство учета расхода. В простейшем виде это счетчик газа и три задвижки. Имеются более сложные модификации ПУРГ, а также существуют комбинации ГРПШ и ПУРГ.

15 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа на тему «Отопление и вентиляция жилого здания» предназначена для закрепления теоретических знаний по курсу «Инженерные сети и оборудование» [33].

В состав курсовой работы входит расчетно-пояснительная записка с теплотехническим расчетом основных ограждающих конструкций, описанием конструкции и расчетом систем отопления и вентиляции здания объемом до 10 тыс. м³ при централизованном теплоснабжении и графическая часть с планами здания, схемами систем отопления и вентиляции.

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена в соответствии с нормами, предъявляемыми к технической документации (ГОСТ 7.32-2001, ГОСТ 21.205-93)), и включать в себя основные разделы в указанной ниже последовательности:

- введение;
- теплотехнический расчет ограждающих конструкций;
- расчет системы отопления здания;
- расчет системы вентиляции здания;
- заключение;
- список литературы.

Рекомендуемый объем – не менее 25 страниц.

В разделе «*Введение*» приводятся:

- назначение систем отопления и вентиляции для жизнедеятельности человека;
- краткое описание проектируемого здания (назначение, число этажей, характеристика основных конструкций, наличие подвала и чердака, строительный объем);
- краткая характеристика запроектированных устройств (источник теплоснабжения, теплоноситель и вид системы центрального отопления, тип отопительных приборов, вид системы вентиляции);
- климатологические данные местности строительства (расчетные температуры и скорость ветра);
- метеорологические условия в помещениях (расчетные температуры и относительная влажность воздуха).

В разделе «*Теплотехнический расчет ограждающих конструкций*» приводятся расчеты термического сопротивления наружной стены, чердачного и подвального перекрытий и толщины

теплоизоляционного слоя для этих ограждений.

В разделе «*Отопление здания*»:

- расчет теплотерь помещений;
- определение удельной тепловой характеристики здания;
- описание системы отопления и ее основных конструктивных элементов;
- расчет нагревательных приборов;
- гидравлический расчет трубопроводов.
- В разделе «*Вентиляция здания*»:
- определение воздухообмена в помещениях;
- выбор системы вентиляции и ее конструирование;
- аэродинамический расчет одной из систем вентиляции.

В «*Заключении*» приводятся расчетные данные, полученные в курсовой работе и делается вывод об энергоэффективности систем отопления и вентиляции.

Список литературы должен содержать только литературу, которая непосредственно использована студентом и на которую имеются ссылки в тексте курсовой работы. Список должен быть составлен по правилам библиографии.

Графическая часть должна быть оформлена в соответствии с правилами, изложенными в [25] и содержать:

- план подвала (технического подполья) или подпольных каналов с размещением теплового пункта, теплопроводов и оборудования отопительно-вентиляционных систем;
- план первого этажа с размещением отопительных приборов, теплопроводов, вентиляционных каналов;
- план чердака с размещением теплопроводов, вентиляционных каналов и оборудования отопительно-вентиляционных систем;
- характерный разрез с нанесением элементов отопления и вентиляции;
- аксонометрические схемы систем отопления и вентиляции.

Графическая часть выполняется, как правило, **в масштабе 1:100**, чертежи отдельных узлов и деталей – в масштабе 1:20, 1:50.

Все контуры строительных конструкций выполняются линией одинаковой толщины. Контуры оборудования систем отопления и вентиляции выполняются основной жирной линией. На листе, где размещаются планы здания, **должна быть указана ориентация главного фасада здания** по отношению к странам света.

Планы с системами отопления и вентиляции этажа изображаются в виде разреза горизонтальной плоскостью, проходящей под перекрытием или покрытием данного этажа.

На планы, разрезы и узлы наносят: разбивочные оси здания и расстояния между ними; размер здания по периметру; отметки чистых полов этажей и основных площадок; диаметры теплопроводов систем отопления; обозначения стояков систем отопления; привязку к разбивочным осям здания отопительно-вентиляционных установок; диаметры (сечения) воздухопроводов и каналов и их привязку к разбивочным осям здания.

Теплопроводы, расположенные друг над другом, на планах систем условно изображают параллельными линиями.

Элементы систем отопления, вентиляции и теплоснабжения на планах и разрезах указывают условными графическими обозначениями или в виде упрощенных графических изображений.

Все помещения нумеруются слева направо по часовой стрелке. Номерные знаки проставляются в середине помещения, под чертой его теплопотери. Помещения подвала нумеруются на планах начиная с 1, помещения первого этажа – со 101, второго – с 201 и т. д., лестничные клетки – ЛК.

На основании размещения элементов систем отопления и вентиляции на планах этажей, подвала, чердака, строятся аксонометрические схемы проектируемых систем.

Схемы систем выполняются в аксонометрической фронтальной изометрической проекции в масштабе 1:100. На схемах систем отопления условными графическими обозначениями показывают: трубопроводы и их диаметры; отметки уровня осей трубопроводов; уклоны трубопроводов; запорно-регулирующую арматуру; подающие и обратные стояки систем отопления; нагревательные приборы; контрольно-измерительные приборы и другие элементы систем.

На схемах системы вентиляции нумеруются, например: «ВЕ-1», «ВЕ-2» и т. д. и указывают: воздухопроводы, их диаметры (сечения) и количество проходящего воздуха, м³/ч; отметки уровня оси круглых и низа прямоугольных воздухопроводов; оборудование вентиляционных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-техническая

- 1 **ТКП 45-2.04-43-2006** Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2006–29–10. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 32 с.
- 2 **СНБ 2.04.02-2000** Строительная климатология. – Введ. 2000–08–12. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 37 с.
- 3 **П1-04 к СНБ 2.04.01-97** Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий : пособие к строительным нормам. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004. – 32 с.
- 4 **СНБ 4.02.01-03** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2003–16–10. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 78 с.
- 5 **П1-03 к СНБ 4.02.01-03** Проектирование и устройство систем отопления из полимерных труб. – Введ. 2003–12–30. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2005. – 54 с.
- 6 **СТБ 1293-2001** Трубы полимерные для систем отопления и горячего водоснабжения. Технические условия. – Введ. 2001–10–29. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. – 17 с.
- 7 **СТБ 1281-2001** Конвекторы отопительные : Технические условия. – Введ. 2001–09–19. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь – 12 с.
- 8 **ГОСТ 10944-75** Краны регулирующие для нагревательных приборов систем водяного отопления зданий. – Введ. 1976–07–01. – Переизд. апрель 1995 г. – М. : Гос. Страндарт СССР, 1976. – 15 с.
- 9 **ТКП 45-1.04-14-2005** Техническая эксплуатация жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок проведения. – Введ. 2005–10–10. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006. – 40 с.
- 10 **ТКП 45-1.03-85-2007** Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Правила монтажа. – Введ. 2007–12–07. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 32 с.
- 11 **ТКП 45–4.02-74-2007** Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования. – Введ. 2007–11–08. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 17 с.
- 12 **СНБ 3.02.04-03**. Жилые здания. – Введ. 2003–21–12. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 35 с.
- 13 **СанПиН 10-13 РБ 99** Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. – Введ. 1999–10–19. – Минск : М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2000. – 132 с.
- 14 **СНиП 2.04.07-86** Тепловые сети. – М., 1986. – 35 с.

15 **ТКП 45–4.02-89-2007** Тепловые сети бесканальной прокладки из стальных труб, предварительно термоизолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа. – Введ. 2007–12–21. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь. – 43 с.

16 **Положение** "О присоединении систем теплопотребления и теплоустановок потребителей теплоэнергии к тепловым сетям энергосистемы". – Мин-во топлива и энергетики Республики Беларусь, от 30 апреля 1996 г. № 28. – Зарегистрировано в Реестре государственной регистрации 3 июля 1996 г. № 1491/12.

17 **СНБ 4.03.01-98** Газоснабжение. – Введ. 1999–01–07. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1999. – 94 с.

18 **Закон** Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. "Об энергосбережении" // Ведамасці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь. – 1998. – № 31-32. – С. 470.

Учебно-справочная

19 **Амерханов, Л.Н.** Теплотехника : учеб. для вузов. – 2-е изд. / Л.Н. Амерханов, Б.Х. Драганов. – М. : Энергоиздат, 2006. – 432 с.

20 **Ахрамович, А.П.** Об инфракрасном обогреве помещений / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2005. – № 6. – С. 8–10

21 **Ахрамович, А.П.** Панели лучистого отопления / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2005. – № 9. – С. 8–9. – № 10. – С. 12–13.

22 **Богословский, В.Н.** Отопление : учеб. для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.

23 **Бухаркин, Е.Н.** Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: учеб. / Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов ; под ред. Ю.П. Соснина. – М. : Высшая школа, 2001. – 415 с.

24 **Варфоломеев, Ю.М.** Отопление и тепловые сети: учеб. / Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Какоркин. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 480 с.

25 Внутренние санитарно-технические устройства. (Справочник проектировщика). В 3 ч. Ч I. Отопление. / И.Г. Староверов, Ю.И. Шиллер. – М. : Стройиздат, 1990. – 350 с.

26 Водяное отопление / авт.-сост. В.И. Назаров. – М. : Спектр-Трейддинг: Траст-Пресс, 2000. – 221 с.

27 **Голубков, Б.Н.** Кондиционирование воздуха, отопление и вентиляция : учеб. для вузов / Б.Н. Голубков, Б.И. Пятачков, Т.М. Романова. – М. : Энергоиздат, 1982. – 232 с.

28 **Гусев, В.М.** Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учеб. для вузов / В.М. Гусев [и др.] ; под ред. В.М.Гусева. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 343 с.

- 29 **Еремкин А.И.** Тепловой режим зданий : учеб. пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 363 с.
- 30 **Ионин, А.А.** Надежность систем тепловых сетей / **А.А. Ионин.** – М. : Стандарт, 1989. – 268 с.
- 31 **Копко, В.М.** Пластинчатые теплообменники в системах централизованного теплоснабжения. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие/ В.М. Копко, М.Г. Пшоник. – Минск. : БНТУ, 2005. – 197 с.
- 32 **Михневич, Н.Н.** Вентиляция и кондиционирование воздуха / Н.Н. Михневич. – Минск : БНТУ, 2006. – 56 с.
- 33 **Невзорова, А.Б.** Инженерные сети и оборудование (отопление и вентиляция жилого здания) : учеб.- метод. пособие по курсовому проектированию / А.Б. Невзорова; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 58 с.
- 34 **Озерская, А.Р.** О необходимости и возможностях поквартирного учета и регулирования тепла / А.Р. Озерская // Энергоэффективность. – № 5. – 2006. – С. 11–12.
- 35 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : справочное пособие. – М. : Пантори, 2003. – 308 с.
- 36 Пи-труба: вниманию строителей и специалистов ЖКХ // PRO электричество. – 2005. – № 1(13). – С. 9.
- 37 **Покотиллов, В.В.** Пособие по расчету систем отопления / В.В. Покотиллов. – Минск, Вена : HERZ Armaturen, 2006. – 144 с.
- 38 Политехнический словарь / гл. ред. акад. А. Ю. Ишлинский. – 2-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1980. – 656 с.
- 39 **Рыженко, В.И.** Современные печи : справочник/ В.И. Рыженко. – М. : Оникс XXI век, 2006. – 192 с.
- 40 **Синицын, В.Н.** Тепло вашего дома / В.Н. Синицын. – Мир климата. – 2005. – № 13. – <http://www.mir-klimata.apic.ru>
- 41 Система индивидуального (поквартирного) расчета за тепло. – Минск : ИП «Витерра Энергосервис», 2005. – 2 с.
- 42 **Сканави, А.Н.** Отопление : учеб. для вузов/ А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.
- 43 **Соколовский, Л.** Энергосбережение в строительстве / Л. Соколовский // Строительство и недвижимость. – 2005. – № 14. – С. 2.
- 44 Стремление к совершенству : Каталог выпускаемой продукции на 2008 год. – Минск : ЗАО "Стройэнерго", 2008. – 46 с.
- 45 **Тихомиров, К.В.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учеб. для вузов / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеев. – М. : Стройиздат, 1991. – 272 с.
- 46 **Хрусталева, Б.М.** Вентиляция. / Б.М. Хрусталева, В.П. Пилощенко. – Минск : Технопринт, 1997. – 162 с.

47 **Хрусталеv, Б.М.** Теплоснабжение, отопление и вентиляция : учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования./ Б.М. Хрусталеv [и др.]. – М. : Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.

48 **Яковлев, Б.В.** Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.

49 **Яромский, В.Н.** Инженерно-техническое оборудование зданий : учеб. пособие / В.Н. Яромский, В.С. Северянин, Н.И. Кирилук. – Минск : Ураджай, 2000. – 128 с.

Интернет ресурсы

<http://www.abok.ru>

<http://www.alternative-climate.ru>

<http://www.climatexpo.ru>

<http://www.teplo-com.ru>

<http://www.zavodpsi.com/ru/products/>

<http://www.vogez.by/teploobmennik.html>

<http://www.nestor.minsk.by/sn/2004/22/sn42208.html>

<http://www.pns.by/products>

<http://www.terem-teremok.by/construction/heating>

<http://www.maxaero.by>

<http://www.hvac.at.tut.by/princip.html>

<http://www.otdelka.belstroy.by>

<http://www.villa.by/uslugi/techworks>

<http://www.belgiss.org.by>

<http://vahdom.at.tut.by>

<http://www.heating-systems.ru>

<http://www.besthome.ru>

<http://www.s-pribor.ru>

<http://www.teletherm.ru/kotelnye/krysh.php>

<http://www.vashdom.ru>

<http://www.str-st.ru>

<http://www.sarmat.by/content/view/103/691/>

<http://www.gaz-dom.ru/infogaz22.html>

<http://www.gazovik-gaz.ru/about/articles/10/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Контрольные вопросы

- 1 Назовите способы переноса теплоты в пространстве и теплообмена между телами?
- 2 Что представляет собой процесс теплопроводности?
- 3 Какой процесс теплообмена называется теплопередачей?
- 4 Что понимают под первым и вторым условием комфортности?
- 5 Какими параметрами характеризуется микроклимат помещения?
- 6 Чем отличаются оптимальные метеорологические условия от допустимых ?
- 7 Какие инженерные системы служат для создания микроклимата?
- 8 Какой основной параметр характеризует холодный период года, теплый?
- 9 Запишите формулу для требуемого термического сопротивления теплопередаче наружного ограждения и поясните входящие в нее величины.
- 10 Как влияет влажность воздуха в помещении на теплозащитные качества ограждений?
- 11 По какой формуле рассчитываются теплопотери помещений?
- 12 Что понимают под добавочными теплопотерями и как они учитываются?
- 13 Что такое инфильтрация воздуха?
- 14 Какие могут быть теплопоступления в помещения и как они учитываются в тепловом балансе помещения?
- 15 Запишите выражение для определения тепловой мощности системы отопления.
- 16 В чем смысл удельной тепловой характеристики здания и как она определяется?
- 17 Какие требования предъявляются к системам отопления?
- 18 По каким признакам разделяются системы отопления?
- 19 Какие теплоносители используются для систем отопления? Их достоинства и недостатки.
- 20 По каким признакам классифицируются системы водяного отопления?
- 21 Почему теплопроводы необходимо прокладывать с уклонами?
- 22 Какая запорно-регулирующая арматура используется в системах водяного отопления?
- 23 Как определяется естественное циркуляционное давление?
- 24 Цель гидравлического расчета теплопроводов систем водяного отопления, порядок расчета.
- 25 Какие основные требования предъявляются к отопительным приборам?
- 26 Где размещают и как устанавливают отопительные приборы?
- 27 Назовите методы регулирования теплоотдачи отопительных приборов?
- 28 В каких случаях применяются системы парового отопления и почему?
- 29 Назовите преимущества и недостатки систем воздушного отопления.
- 30 В каких случаях следует применять системы воздушного отопления?
- 31 Что понимают под воздухообменом и под кратностью воздухообмена?
- 32 В чем преимущества и в каких случаях применяют рециркуляционные воздухогреватели?
- 33 В каких случаях необходимо устройство воздушно-тепловых завес у наружных входов в здание и каково их назначение?
- 34 Какие достоинства и недостатки имеет печное, электрическое и газовое отопление?
- 35 Какой может быть вентиляция по способу организации воздухообмена?
- 36 Каким образом можно устроить естественную вентиляцию?
- 37 Какие этапы включает в себя аэродинамический расчет воздухопроводов?
- 38 Какие типы вентиляторов и нагревательных устройств применяют в системах вентиляции?
- 39 Что понимают под местной и приточной вентиляцией?
- 40 Для чего служат системы кондиционирования воздуха, их разновидности?
- 41 Из каких основных звеньев состоят системы централизованного теплоснабжения?
- 42 Какие необходимо соблюдать условия для экономии теплоты?
- 43 Классификация, устройство и подвод тепловых сетей.
- 44 Как осуществляется теплоснабжение строительных площадок?

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

**Расчетная температура воздуха и кратность воздухообмена
в помещениях жилых зданий (по СНБ 3.02.04-03)**

Помещение	Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С	Кратность воздухообмена или количество удаляемого воздуха из помещения	
		приток	вытяжка
1 Жилая комната в квартире или в общежитии	18(20)	По расчету для компенсации удаляемого	3 м ³ /ч на 1 м ² жилых комнат
2 Кухня в квартире или в общежитии: с электроплитами	18	По расчету для приточно-вытяжной механической вентиляции	Не менее 60 м ³ /ч
с газовыми плитами			Не менее: 60 м ³ /ч – при двухконфорочных плитах; 75 м ³ /ч – при трёхконфорочных плитах; 90 м ³ /ч – при четырёхконфорочных плитах;
4 Ванная	25	–	25 м ³ /ч
5 Уборная индивидуальная	18	–	25 м ³ /ч
6 Совмещенный санитарный узел	25	–	50 м ³ /ч
7 Совмещенный санитарный узел с индивидуальным	18	–	50 м ³ /ч
8 Вестибюль, общий коридор, лестничная клетка в квартирном доме	16	–	–
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В угловых помещениях квартир и общежитий расчетную температуру воздуха следует принимать на 2 °С выше указанной в таблице.</p> <p>2 Значение в скобках относится к квартирам для престарелых и инвалидов.</p> <p>3 В лестничных клетках домов с поквартирным отоплением температура воздуха не нормируется.</p> <p>4 Расчетная производительность вытяжной вентиляции, определяемая по норме для кухонь и санитарных узлов, не должна быть ниже расчетного воздухообмена квартиры (жилой ячейки общежитий), определяемого по норме для жилых комнат.</p>			

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

**Нормативные удельные расходы тепловой энергии
на отопление и вентиляцию жилых зданий (по СНБ 4.02.01-03)**

Объекты нормирования	Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию	
	q_A , Вт·ч/(м ² ·°С·сут)	q_V , Вт·ч/(м ³ ·°С·сут)
Жилые дома (9 этажей и более) с наружными стенами:		
– из многослойных панелей	21,7	7,8
– монолитного бетона	22,2	7,9
– штучных материалов	22,9	8,2
Жилые дома (6–8 этажей) с наружными стенами:		
– из многослойных панелей	23,0	8,2
– штучных материалов	24,4	8,7
Жилые дома (4–5 этажей) с наружными стенами:		
– из многослойных панелей	22,5	8,0
– штучных материалов	24,0	8,6
Жилые дома (2–3 этажа) с наружными стенами из штучных материалов	29,6	10,6
Коттеджи, жилые дома усадебного типа, в том числе с мансардами	35,4	12,6

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

**Данные для гидравлического расчета трубопроводов
систем водяного отопления**

Удельные потери давления на трение R , Па/м	Количество проходящей воды G , кг/ч (над чертой), и скорость движения воды w , м/с (под чертой), по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262-75*) условным проходом d , мм						
	15	20	25	32	40	50	70
1	<u>16,5</u>	<u>36</u>	<u>69</u>	<u>148</u>	<u>210</u>	<u>409</u>	<u>788</u>
	0,023	0,028	0,034	0,041	0,045	0,052	0,06
1,4	<u>19</u>	<u>44</u>	<u>84</u>	<u>180</u>	<u>249</u>	<u>496</u>	<u>948</u>
	0,027	0,034	0,041	0,049	0,052	0,064	0,073
1,8	<u>22</u>	<u>50</u>	<u>108</u>	<u>197</u>	<u>287</u>	<u>571</u>	<u>1077</u>
	0,031	0,039	0,051	0,054	0,06	0,073	0,082
2	<u>24</u>	<u>53</u>	<u>111</u>	<u>203</u>	<u>304</u>	<u>606</u>	<u>1137</u>
	0,033	0,042	0,054	0,057	0,064	0,078	0,087
2,4	<u>26</u>	<u>59</u>	<u>120</u>	<u>223</u>	<u>338</u>	<u>671</u>	<u>1258</u>
	0,037	0,046	0,057	0,062	0,071	0,087	0,096
2,8	<u>28</u>	<u>64</u>	<u>130</u>	<u>244</u>	<u>368</u>	<u>729</u>	<u>1377</u>
	0,041	0,05	0,064	0,068	0,077	0,096	0,106
3,2	<u>31</u>	<u>72</u>	<u>140</u>	<u>263</u>	<u>396</u>	<u>774</u>	<u>1438</u>
	0,044	0,058	0,068	0,073	0,083	0,102	0,114
3,6	<u>33</u>	<u>80</u>	<u>143</u>	<u>281</u>	<u>422</u>	<u>818</u>	<u>1576</u>
	0,047	0,062	0,071	0,078	0,089	0,108	0,121
4	<u>35</u>	<u>85</u>	<u>146</u>	<u>299</u>	<u>448</u>	<u>861</u>	<u>1667</u>
	0,05	0,065	0,073	0,082	0,094	0,115	0,128
6	<u>44</u>	<u>103</u>	<u>169</u>	<u>373</u>	<u>559</u>	<u>1081</u>	<u>2090</u>
	0,063	0,08	0,082	0,103	0,118	0,144	0,16
8	<u>55</u>	<u>113</u>	<u>199</u>	<u>424</u>	<u>642</u>	<u>1236</u>	<u>2470</u>
	0,082	0,088	0,097	0,112	0,135	0,161	0,178
10	<u>59</u>	<u>126</u>	<u>225</u>	<u>490</u>	<u>726</u>	<u>1445</u>	<u>2744</u>
	0,087	0,097	0,109	0,136	0,151	0,182	0,21
12	<u>63</u>	<u>140</u>	<u>248</u>	<u>567</u>	<u>809</u>	<u>1583</u>	<u>3011</u>
	0,093	0,108	0,12	0,149	0,17	0,201	0,23
14	<u>67</u>	<u>151</u>	<u>269</u>	<u>579</u>	<u>876</u>	<u>1720</u>	<u>3246</u>
	0,098	0,117	0,131	0,16	0,184	0,218	0,248
16	<u>70</u>	<u>163</u>	<u>289</u>	<u>621</u>	<u>937</u>	<u>1858</u>	<u>3428</u>
	0,103	0,126	0,141	0,172	0,197	0,236	0,266
18	<u>74</u>	<u>174</u>	<u>309</u>	<u>663</u>	<u>997</u>	<u>1974</u>	<u>3718</u>
	0,108	0,135	0,15	0,184	0,21	0,251	0,284
20	<u>77</u>	<u>184</u>	<u>332</u>	<u>705</u>	<u>1058</u>	<u>2090</u>	<u>3953</u>
	0,114	0,142	0,161	0,195	0,222	0,265	0,302
24	<u>84</u>	<u>204</u>	<u>360</u>	<u>778</u>	<u>1106</u>	<u>2291</u>	<u>4327</u>
	0,124	0,157	0,175	0,215	0,245	0,291	0,331
28	<u>91</u>	<u>221</u>	<u>391</u>	<u>840</u>	<u>1261</u>	<u>2645</u>	<u>4702</u>
	0,135	0,171	0,19	0,233	0,265	0,312	0,35

Продолжение приложения Г

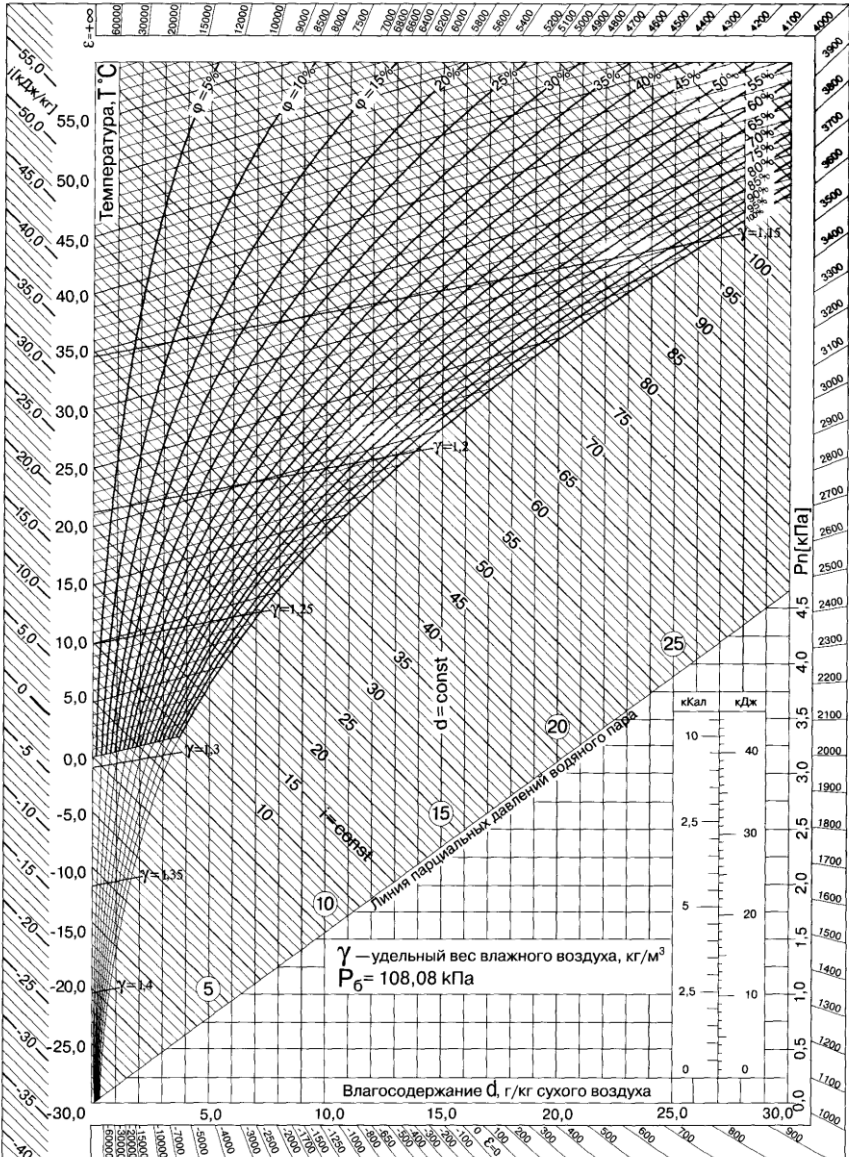
Удельные потери давления на трение R , Па/м	Количество проходящей воды G , кг/ч (над чертой), и скорость движения воды w , м/с (под чертой), по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262-75*) условным проходом d , мм						
	15	20	25	32	40	50	70
32	<u>98</u> 0,145	<u>237</u> 0,183	<u>416</u> 0,202	<u>902</u> 0,25	<u>1357</u> 0,284	<u>2740</u> 0,334	<u>5043</u> 0,383
36	<u>106</u> 0,156	<u>256</u> 0,195	<u>441</u> 0,214	<u>964</u> 0,267	<u>1444</u> 0,304	<u>2814</u> 0,356	<u>5350</u> 0,409
40	<u>112</u> 0,164	<u>267</u> 0,206	<u>467</u> 0,226	<u>1026</u> 0,284	<u>1525</u> 0,321	<u>2973</u> 0,376	<u>5657</u> 0,433
50	<u>126</u> 0,186	<u>297</u> 0,23	<u>530</u> 0,257	<u>1146</u> 0,318	<u>1710</u> 0,36	<u>3336</u> 0,422	<u>6339</u> 0,485
60	<u>139</u> 0,205	<u>324</u> 0,25	<u>593</u> 0,288	<u>1270</u> 0,35	<u>1866</u> 0,393	<u>3699</u> 0,468	<u>6971</u> 0,533
70	<u>151</u> 0,223	<u>351</u> 0,271	<u>635</u> 0,308	<u>1369</u> 0,379	<u>2022</u> 0,426	<u>3988</u> 0,504	<u>7534</u> 0,576
80	<u>162</u> 0,239	<u>388</u> 0,291	<u>677</u> 0,328	<u>1467</u> 0,406	<u>2178</u> 0,458	<u>4276</u> 0,54	<u>8066</u> 0,618
90	<u>173</u> 0,255	<u>404</u> 0,312	<u>719</u> 0,348	<u>1554</u> 0,43	<u>2309</u> 0,486	<u>4543</u> 0,574	<u>8567</u> 0,655
100	<u>183</u> 0,269	<u>430</u> 0,332	<u>759</u> 0,369	<u>1632</u> 0,452	<u>2431</u> 0,512	<u>4788</u> 0,605	<u>9035</u> 0,691
120	<u>201</u> 0,295	<u>469</u> 0,362	<u>835</u> 0,405	<u>1786</u> 0,494	<u>2674</u> 0,563	<u>5250</u> 0,664	<u>9899</u> 0,757
140	<u>216</u> 0,318	<u>507</u> 0,392	<u>904</u> 0,438	<u>1939</u> 0,537	<u>2855</u> 0,609	<u>5686</u> 0,719	<u>10584</u> 0,81
160	<u>229</u> 0,338	<u>546</u> 0,422	<u>972</u> 0,471	<u>2079</u> 0,575	<u>3095</u> 0,651	<u>6093</u> 0,77	<u>11269</u> 0,862
180	<u>243</u> 0,358	<u>584</u> 0,451	<u>1028</u> 0,499	<u>2201</u> 0,609	<u>3294</u> 0,693	<u>6473</u> 0,818	<u>11953</u> 0,914
200	<u>256</u> 0,377	<u>614</u> 0,474	<u>1084</u> 0,526	<u>2325</u> 0,643	<u>3513</u> 0,739	<u>6823</u> 0,862	<u>12638</u> 0,967
220	<u>270</u> 0,397	<u>643</u> 0,497	<u>1141</u> 0,553	<u>2448</u> 0,678	<u>3684</u> 0,775	<u>7159</u> 0,904	<u>13323</u> 1,01
240	<u>283</u> 0,417	<u>673</u> 0,52	<u>1197</u> 0,591	<u>2572</u> 0,712	<u>3808</u> 0,801	<u>7476</u> 0,944	<u>14008</u> 1,07
260	<u>296</u> 0,436	<u>702</u> 0,542	<u>1240</u> 0,602	<u>2671</u> 0,739	<u>3955</u> 0,834	<u>7782</u> 0,983	<u>14693</u> 1,12
280	<u>310</u> 0,456	<u>732</u> 0,565	<u>1284</u> 0,623	<u>2720</u> 0,767	<u>4113</u> 0,865	<u>8076</u> 1,02	<u>15215</u> 1,16
300	<u>319</u> 0,47	<u>756</u> 0,584	<u>1327</u> 0,644	<u>2869</u> 0,794	<u>4260</u> 0,896	<u>8359</u> 1,05	<u>15749</u> 1,2
320	<u>329</u> 0,484	<u>780</u> 0,602	<u>1372</u> 0,655	<u>2969</u> 0,821	<u>4408</u> 0,928	<u>8634</u> 1,08	<u>16266</u> 1,2

Окончание приложения Г

Удельные потери давления на трение R , Па/м	Количество проходящей воды G , кг/ч (над чертой), и скорость движения воды ω , м/с (под чертой), по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262-75*) условным проходом d , мм						
	15	20	25	32	40	50	70
340	<u>338</u> 0,499	<u>804</u> 0,621	<u>1415</u> 0,686	<u>3067</u> 0,849	<u>4546</u> 0,957	<u>8900</u> 1,1	<u>16768</u> 1,2
360	<u>348</u> 0,513	<u>828</u> 0,64	<u>1458</u> 0,708	<u>3153</u> 0,873	<u>4684</u> 0,986	<u>9157</u> 1,15	<u>17252</u> 1,3
380	<u>358</u> 0,527	<u>852</u> 0,658	<u>1502</u> 0,729	<u>3239</u> 0,896	<u>4822</u> 1,0	<u>9409</u> 1,2	<u>17726</u> 1,3
400	<u>367</u> 0,541	<u>876</u> 0,677	<u>1545</u> 0,754	<u>3325</u> 0,92	<u>4960</u> 1,0	<u>9652</u> 1,3	<u>18186</u> 1,4
450	<u>391</u> 0,577	<u>924</u> 0,714	<u>1588</u> 0,8	<u>3539</u> 0,97	<u>5092</u> 1,1	<u>10239</u> 1,3	<u>19285</u> 1,5
500	<u>415</u> 0,612	<u>972</u> 0,75	<u>17305</u> 0,84	<u>3707</u> 1,0	<u>5541</u> 1,1	<u>10791</u> 1,3	<u>20333</u> 1,5
550	<u>434</u> 0,64	<u>1019</u> 0,78	<u>1812</u> 0,88	<u>3889</u> 1,1	<u>5811</u> 1,2	<u>11318</u> 1,4	<u>21326</u> 1,6
600	<u>453</u> 0,67	<u>1067</u> 0,82	<u>1893</u> 0,92	<u>4061</u> 1,1	<u>6070</u> 1,3	<u>11822</u> 1,5	<u>22275</u> 1,7
650	<u>472</u> 0,69	<u>1115</u> 0,86	<u>1970</u> 0,96	<u>4227</u> 1,2	<u>6318</u> 1,3	<u>12305</u> 1,6	<u>23183</u> 1,8
700	<u>490</u> 0,72	<u>1163</u> 0,89	<u>2065</u> 0,99	<u>4387</u> 1,2	<u>6556</u> 1,4	<u>12768</u> 1,6	<u>24058</u> 1,8
750	<u>509</u> 0,75	<u>1205</u> 0,93	<u>2116</u> 1,0	<u>4511</u> 1,3	<u>6786</u> 1,4	<u>13130</u> 1,6	<u>24904</u> 1,9
800	<u>525</u> 0,77	<u>1244</u> 0,96	<u>2185</u> 1,1	<u>4689</u> 1,3	<u>7009</u> 1,5	<u>13561</u> 1,7	<u>25745</u> 1,9
850	<u>541</u> 0,79	<u>1283</u> 0,99	<u>2253</u> 1,1	<u>4833</u> 1,3	<u>7224</u> 1,5	<u>13978</u> 1,8	<u>26536</u> 2,0
900	<u>557</u> 0,82	<u>1320</u> 1,0	<u>2320</u> 1,1	<u>4974</u> 1,4	<u>7434</u> 1,6	<u>14374</u> 1,8	<u>27306</u> 2,1
950	<u>572</u> 0,84	<u>1356</u> 1,0	<u>2381</u> 1,1	<u>5111</u> 1,4	<u>7633</u> 1,6	<u>14777</u> 1,9	<u>28053</u> 2,1
1000	<u>587</u> 0,86	<u>1391</u> 1,1	<u>2444</u> 1,2	<u>5244</u> 1,5	<u>7836</u> 1,6	<u>15161</u> 1,9	<u>28783</u> 2,2
1100	<u>616</u> 0,91	<u>1459</u> 1,1	<u>2563</u> 1,3	<u>5500</u> 1,5	<u>8218</u> 1,7	<u>15901</u> 2,0	<u>30187</u> 2,3
1200	<u>643</u> 0,95	<u>1524</u> 1,2	<u>2677</u> 1,3	<u>5574</u> 1,6	<u>8584</u> 1,8	<u>16609</u> 2,1	<u>31541</u> 2,4

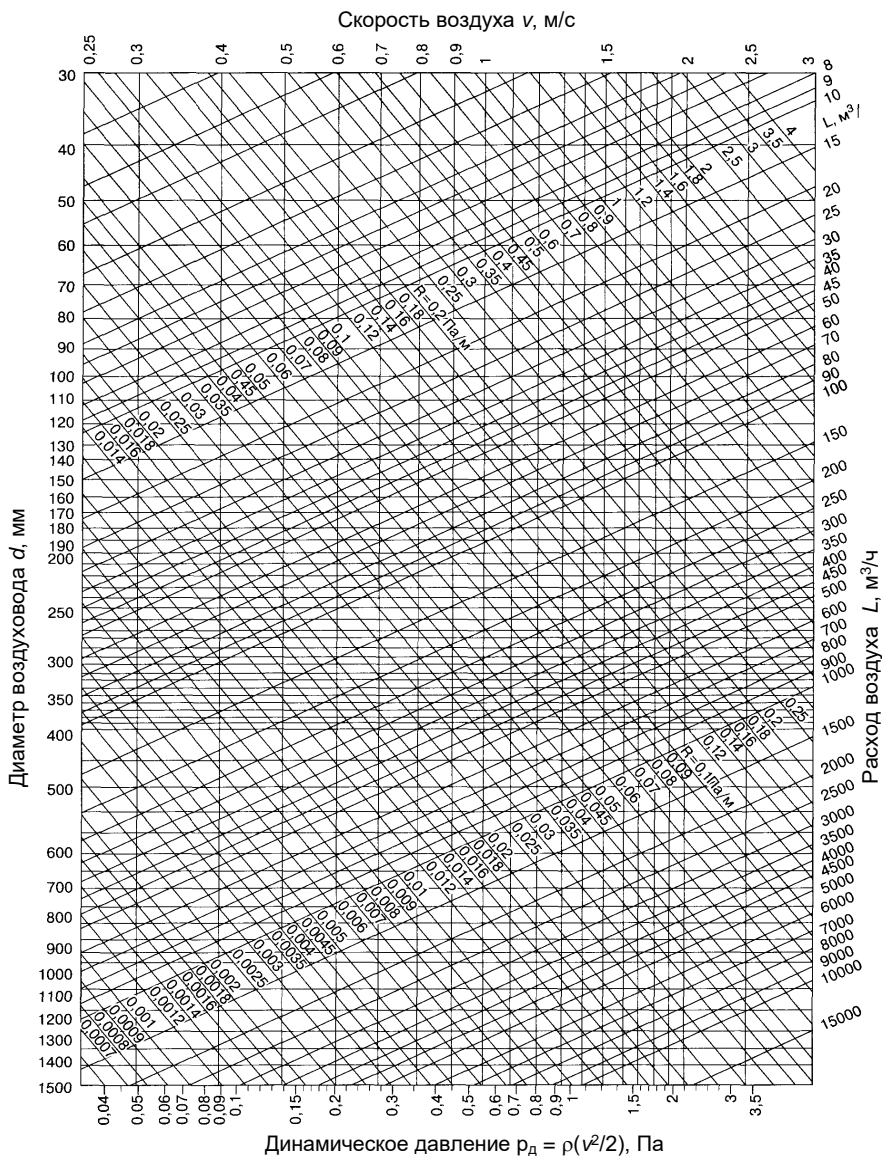
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное)

J-d диаграмма влажного воздуха



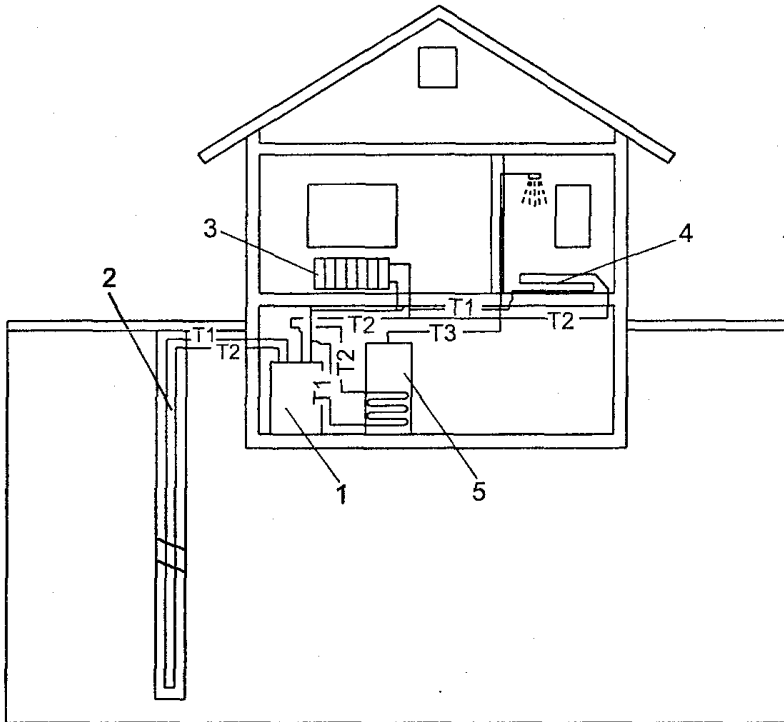
ПРИЛОЖЕНИЕ E
(справочное)

**Номограмма для определения потерь давления на трение
в круглых воздуховодах естественной вентиляции**



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(справочное)

Схема теплонасосной установки



- 1 – тепловой насос; 2 – теплообменник – источник теплоты в скважине;
потребители теплоты: 3 – радиаторное отопление;
4 – система подогрева пола; 5 – бойлер горячего теплоснабжения

**Рисунок Ж1 – Теплообменная установка «грунт – вода»
с теплообменником в земле в виде скважины**

Учебное издание

НЕВЗОРОВА Алла Брониславовна

**Инженерные сети и оборудование
(отопление и вентиляция жилого здания)**

Учебное пособие

Редактор

Технический редактор

Компьютерный набор и верстка – А.Б. Невзорова

Подписано в печать 2009 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 600 экз.
Зак. № . Изд. №

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта
ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.
ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34