

ТЕМА15. ПАРОВОЕ ОТОПЛЕНИЕ

15.1. Классификация систем парового отопления

Системы парового отопления классифицируются по ряду специфических признаков:

1. в зависимости от величины давления пара в начале паровой магистрали p_1 на системы:
 - субатмосферные при $p_1 < 0,1$ МПа;
 - вакуум–паровые при $0,1 \leq p_1 < 0,105$ МПа;
 - низкого давления при $0,105 \leq p_1 \leq 0,12$ МПа;
 - низкого (повышенного) давления при $0,12 < p_1 \leq 0,17$ МПа;
 - высокого давления при $p_1 > 0,17$ МПа.
2. в зависимости от сообщаемости с атмосферой на системы:
 - открытые – сообщающиеся с атмосферой;
 - закрытые – не сообщающиеся с атмосферой.
3. в зависимости от способа возврата конденсата в котел или на тепловой центр на системы:
 - замкнутые, в которых конденсат возвращается в котел или тепловой центр самотеком или за счет специально предусматриваемого остаточного давления пара;
 - разомкнутые, в которых конденсат возвращается на тепловой центр насосом, в этих системах имеется бак для сбора конденсата.

15.2 Основные принципиальные схемы систем парового отопления

Рассмотрим принципиальную схему системы парового отопления низкого давления (рис. 15.1).

В начале отопительного сезона система заполняется водой до уровня I-I и осуществляется растопка котла 1. Образовавшийся пар собирается в паросборнике 2. За счет давления пара уровень расположения конденсата в системе повышается (уровень II-II). Давление столба конденсата высотой h уравнивает давление пара в котле. Пар по паровой магистрали 3, паровому стояку 4, паровой подводке 5 поступает в отопительный прибор 6, где конденсируется, выделяя теплоту конденсации, которая передается отапливаемому помещению через стенку отопительного прибора.

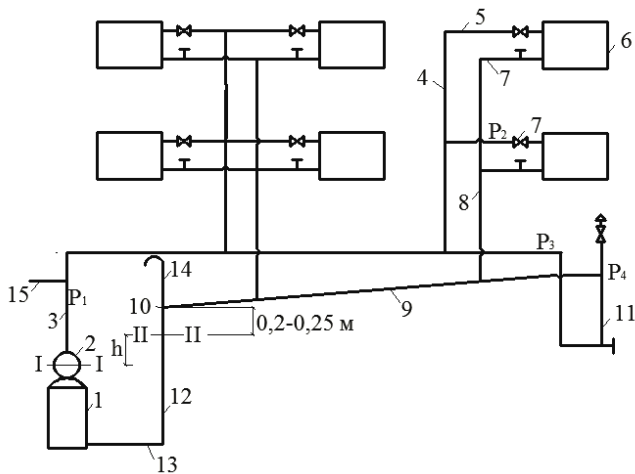


Рис 15.1. Принципиальная схема системы парового отопления низкого давления открытой замкнутой

Образовавшийся конденсат по подводке для отведения конденсата 7 и стояку 8 стекает в сухой горизонтальный (проложенный с уклоном) конденсатопровод 9 и по участку сухого вертикального конденсатопровода 10, мокрого вертикального конденсатопровода 12, мокрого горизонтального конденсатопровода 13 поступает в котел. На паровых подводках обычно устанавливаются вентили, а на подводках для отведения конденсата – тройники с пробками. Воздух из системы отводится через воздушную трубку 14, которая присоединяется к сухому конденсатопроводу на расстоянии 0,2-0,25 м выше наиболее высокого уровня стояния конденсата в системе отопления (уровень II-II). В конце паровой магистрали устанавливается гидравлический затвор 11 (петля из труб) для отведения попутного конденсата и предотвращения попадания пара в конденсатопровод.

Под попутным конденсатом понимается конденсат, образовавшийся в паропроводе вследствие конденсации части насыщенного водяного пара при охлаждении паропровода.

Сухим называется конденсатопровод, сечение которого не полностью заполнено конденсатом при работе, **мокрым** – конденсатопровод, сечение которого полностью заполнено конденсатом при работе, соответствующее заполнение сечения конденсатопровода обеспечивается при подборе или расчете диаметра конденсатопровода.

Для предотвращения повышения давления пара в котле выше допустимого значения к паровой магистрали посредством трубопровода 15 присоединяется гидравлическое предохранительное устройство. P_1, P_2, P_3 и P_4 – давления, соответственно, в начале паровой магистрали, перед вентиляем рассматриваемого отопительного прибора, перед гидравлическим затвором и после него.

Рассмотрим принципиальную схему системы парового отопления высокого давления (рис. 15.2).

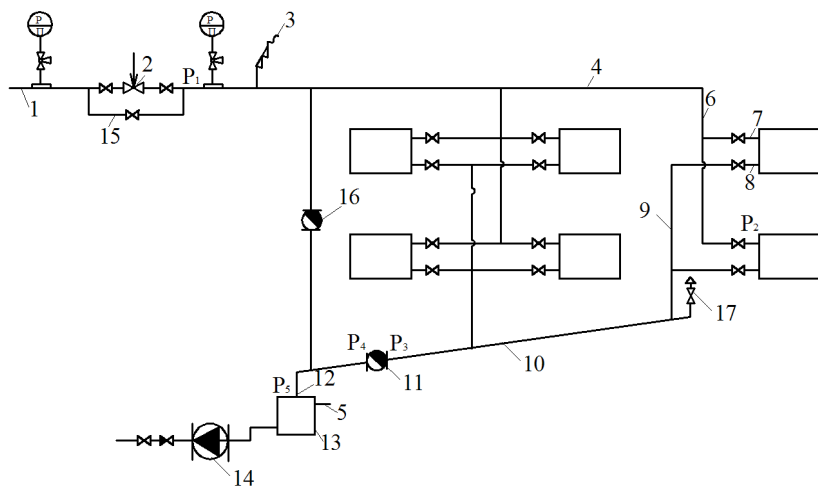


Рис 15.2. Принципиальная схема системы парового отопления высокого давления закрытой разомкнутой

Из теплового центра по трубопроводу 1 поступает пар более высокого давления, чем требуется для системы отопления, поэтому на вводе в здание предусматривается установка редукционного клапана 2 для снижения давления пара до величины давления в начале паровой магистрали P_1 . Для контроля давления пара в соответствующих точках устанавливаются манометры. Для предотвращения случайного повышения давления пара после редукционного клапана устанавливается предохранительный клапан 3. Пар по паровой магистрали 4, паровому стояку 6 и паровой подводке 7 поступает в отопительный прибор, где конденсируется, выделяя теплоту конденсации, которая передается отапливаемому помещению через стенку отопительного прибора. Образовавшийся конденсат по подводке для отве-

дения конденсата 8 и стояку 9 поступает в напорный конденсатопровод 10 и через конденсатоотводчик 11 в двухфазный конденсатопровод 12 собирается в баке для сбора конденсата 13. из бака 13 конденсат насосом для перекачки конденсата 14 подается на тепловой центр. Насос 14 устанавливается ниже бака для сбора конденсата с таким расчетом, чтобы конденсат поступал к насосу самотеком. Для обеспечения подачи пара в систему при отключении редукционного клапана (например на ремонт) предусматривается обводная линия 15. для отвода попутного конденсата из паровой магистрали предусматривается установка конденсатоотводчика 16. воздух из системы отводится через воздушную трубку 17. Конденсатопровод 10 называется **напорным**, потому что конденсат по нему перемещается за счет предусматриваемого специально для этой цели остаточного давления пара. Конденсатопровод 12 называется **двухфазным**, потому что в нем возможно течение двухфазной среды (конденсат + пар вторичного вскипания). Пар с высокой температурой (в момент конденсации пара температура конденсата равна температуре пара) проходит через конденсатоотводчик, размеры которого незначительны и поэтому температура конденсата почти не меняется, а давление изменяется, сравнительно, значительно (из-за потерь давления в конденсатоотводчике). В баке для сбора конденсата 13 с помощью гидравлического затвора обычно поддерживается небольшое избыточное давление P_3 для предотвращения подсоса воздуха. Бак соединяется с гидравлическим затвором с помощью трубопровода 5.

15.3. Расчет паропроводов низкого давления

Расчет производится по способу удельной потери давления. Расчет паропроводов принципиально ничем не отличается от расчета трубопроводов систем водяного отопления.

При прохождении пара по трубопроводам изменяется его количество (вследствие попутной конденсации) и плотность (вследствие изменения давления). Обычно этими явлениями при расчете паропроводов низкого давления пренебрегают и считают расход пара, его плотность на каждом расчетном участке постоянными.

Расчет начинают с наиболее неблагоприятно расположенного отопительного прибора (прибор наиболее удаленный от котла). Ориентировочную среднюю величину удельной потери давления на трение R_{cp} , Па/м, определяют по формуле

$$R_{cp} = \frac{(0,9P_1 - P_2)K}{\sum l}, \quad (15.1)$$

где 0,9 – коэффициент, учитывающий запас в принятом располагаемом давлении;

P_1 - давление пара в начале паровой магистрали, Па;

P_2 - давление пара перед вентилем рассматриваемого отопительного прибора, Па;

K - доля потерь давления на трение от общих потерь давления в паропроводе, принимается равной 0,65;

$\sum l$ - сумма длин расчетных участков в рассматриваемом паропроводе, м.

Давление пара P_1 , МПа, в начале паровой магистрали обычно принимают в зависимости от длины l , м, паропровода от ввода или котла до наиболее удаленного отопительного прибора:

- при $l < 100$ м – $0,105 \leq P_1 \leq 0,11$;

- при $100 < l \leq 200$ м – $0,11 \leq P_1 \leq 0,12$;

- при $200 < l \leq 300$ м – $0,12 \leq P_1 \leq 0,13$.

Давление пара более 0,13 МПа принимают при наличии теплообменников отличных от обычных отопительных приборов (например, калориферов).

Давление пара P_2 перед вентилем рассматриваемого отопительного прибора обычно принимается равным 2000 Па.

По величине ориентировочной средней удельной потери давления на трение R_{cp} и тепловой нагрузке на рассматриваемый участок по таблицам для расчета трубопроводов парового отопления низкого давления производится подбор ориентировочных диаметров трубопроводов. По значению тепловых нагрузок определяются (с интерполяцией, если это потребуется) действительные величины скорости движения теплоносителя и удельной потери давления от трения R , Па/м. Эти величины записываются в расчетную таблицу 15.1. Затем вычисляются потери давления от трения на всех участках Rl , Па, путем умножения полученных величин R , Па/м, на соответствующие длины участков l , м.

Таблица 15.1

Гидравлический расчет паропроводов

Номер участка	Тепловая нагрузка участка Q , Вт	Длина участка l , м	Диаметр трубопровода d , мм	Скорость движения пара w , м/с	Потери давления от трения на 1 погонный метр R , Па/м	Потери давления от трения по длине участка Rl , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \zeta$	Динамическое давление P_{ϕ} , Па	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Сумма потерь давления по длине и местных сопротивлениях участка, $Rl+Z$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Для определения динамического давления P_{ϕ} , Па, при заполнении графы 9 расчетной таблицы можно воспользоваться формулой

$$P_{\phi} = \frac{w^2}{2} \rho, \quad (15.2)$$

где w - скорость движения пара, м/с;
 ρ - плотность пара, кг/м³.

Таблицы для расчета паропроводов низкого давления составлены для давления 0,11 МПа (абсолютное), которому соответствует плотность пара 0,6349 кг/м³. Прежде чем заполнять графу 10 расчетной таблицы выписываются виды местных сопротивлений каждого участка и по таблицам П.10÷ П.20 приложения II [8] значения коэффициентов местных сопротивлений. Коэффициенты местных сопротивлений тройников и крестовин, находящихся на границе двух участков, относятся к участку с меньшей тепловой нагрузкой. Потери давления в местных сопротивлениях получаются путем перемножения данных граф 8 и 9 расчетной таблицы 15.1. Суммируя потерю давления на трение (графа 7) и потерю в местных сопротивлениях Z , Па, (графа 10) получают общую потерю давления на расчетном участке. Общие потери давления в рассматриваемом паропроводе получают путем суммирования величин потерь давления в отдельных участках (графа 11 расчетной таблицы). Величина этих потерь не должна превышать величину давления пара в начале паровой магистрали P_1 . Так как при монтаже системы отопления неизбежны некоторые незначительные отклонения от составления расчетной схемы, то общие потери давления $\sum (Rl + Z)$, Па, в рассматриваемом паропроводе должны быть меньше давления P_1 на 10%. Другими словами, при расчете неблагоприятной паровой

ветки следует оставлять запас в размере 10 % на неучтенные потери давления, т.е. должно выдерживаться равенство

$$\sum(Rl + Z) \approx 0,9 \cdot P_1. \quad (15.3)$$

Запас по давлению в начале паровой магистрали вычисляется по выражению

$$\frac{P_1 - \sum(Rl + Z)}{P_1} \cdot 100\%. \quad (15.4)$$

Если указанный процент запаса (10%) не достигнут, то следует изменить диаметры отдельных участков паропровода таким образом, чтобы общие потери давления увеличились (при уменьшении диаметров труб) или уменьшились (при увеличении диаметров). После расчета неблагоприятной паровой ветви выполняются расчеты остальных паропроводов. Расчет остальных паропроводов сводится к выбору диаметров труб, чтобы была обеспечена увязка потерь давления в параллельно соединенных группах участков. Невязка расчетных потерь давления в параллельно соединенных группах участков не должна превышать 15 %. Скорости движения пара в трубопроводах следует принимать не более 30 м/с при попутном движении пара и конденсата и 20 м/с – при встречном.

15.4. Подбор диаметров безнапорных конденсатопроводов

Диаметры безнапорных (самотечных) конденсатопроводов не рассчитываются, а подбираются по табл.11.4 [8] в зависимости от тепловой нагрузки на рассматриваемый участок, вида конденсатопровода (сухой, мокрый, горизонтальный, вертикальный) и длины.

Тепловая нагрузка на участке определяется аналогично определению тепловой нагрузки на рассматриваемом участке паропровода. Вид конденсатопровода определяется по схеме системы отопления.

При определении диаметров безнапорных конденсатопроводов принимают не геометрическую длину участков трубопровода, а расчетную их длину L_p , м, рассчитываемую по формуле

$$L_p = K \cdot L, \quad (15.5)$$

где K – коэффициент учета местных сопротивлений: $K=1,1$ – для участков магистралей и $K=1,5$ – для прочих участков;

L – геометрическая длина рассматриваемого участка конденсатопровода, м.

15.5. Конденсатоотводчики

Конденсатоотводчики служат для тех же целей, что и гидравлические затворы. Рассмотрим принципиальную схему и работу термодинамического конденсатоотводчика (рис. 15.3).

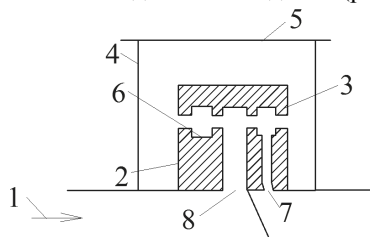


Рис.15.3. Принципиальная схема конденсатоотводчика: 1 – поступление конденсата; 2 – седло; 3 – диск; 4 – корпус; 5 – крышка; 6 – кольцевой паз в седле; 7 – выходное отверстие; 8 – входное отверстие

При поступлении конденсата через отверстие 8 диск приподнимается над седлом, и конденсат протекает по кольцевому пазу в седле к выходному отверстию. Если вместе с конденсатом проходит пар, то он заполняет камеру между крышкой и диском. Так как площадь диска значительно больше площади входного отверстия, то возникающая сила, действующая на диск сверху, преодолевая силу, действующую на диск снизу, прижимает его к седлу, закрывая проход пара. При снижении давления над диском вследствие конденсации пара диск вновь получает возможность приподняться.

Для выбора термодинамического конденсатоотводчика определяется коэффициент пропускной способности K_v , т/ч

$$K_v = \frac{10 \cdot G_k}{A \sqrt{\Delta P \cdot \rho_k}}, \quad (15.6)$$

где G_k – максимальный расход конденсата, т/ч;

ρ_k – плотность конденсата при температуре перед конденсатоотводчиком, кг/м^3 ;

A - коэффициент, учитывающий температуру конденсата и перепад давлений на конденсатоотводчике;

ΔP - разность давлений до и после конденсатоотводчика, МПа.

Максимальный расход конденсата для конденсатоотводчиков, устанавливаемых :

- после теплообменников, определяется по формуле

$$G_{\kappa} = 1,2G_{\max.p}, \quad (15.7)$$

где $G_{\max.p}$ - максимальный расчетный расход пара, т/ч.

- для дренажа паропроводов, определяется по формуле

$$G_{\kappa} = 2G_{\max.\kappa}, \quad (15.8)$$

где $G_{\max.\kappa}$ - максимальное количество пара, конденсирующегося на дренаруемом участке трубопровода, т/ч.

Коэффициент A , учитывающий температуру конденсата и перепад давлений на конденсатоотводчике, принимается по рис.15.4.

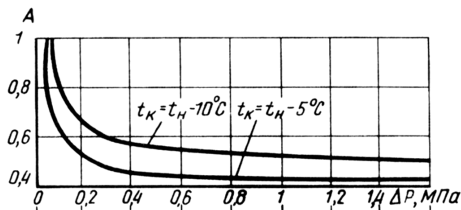


Рис. 15.4. Зависимость коэффициента A от перепада давлений на конденсатоотводчике при температуре конденсата t_{κ} на 5 и 10 °С ниже температуры насыщения пара t_H

Давление перед конденсатоотводчиком P_3 , МПа, как правило, следует принимать равным 95 % давления перед теплопотребляющим аппаратом P_2 , за которым устанавливается конденсатоотводчик, т.е. $P_3 = 0,95P_2$.

После конденсатоотводчика давление P_4 в трубопроводе принимается:

а) при выдавливании конденсата – не более 50% давления пара после теплопотребляющего аппарата, за которым установлен конденсатоотводчик, т.е. $P_4 = 0,5P_3$;

б) при свободном сливе конденсата на выходе из трубопровода $P_4 = 0,01$ МПа;

в) при сливе конденсата в открытый бак $P_4 = 0,02$ МПа.

Конденсатоотводчики следует размещать после теплотребляющих аппаратов ниже точек отбора конденсата и соединять с ними вертикальными или горизонтальными трубопроводами с уклоном не менее 0,01 в сторону конденсатоотводчика (рис.15.5)

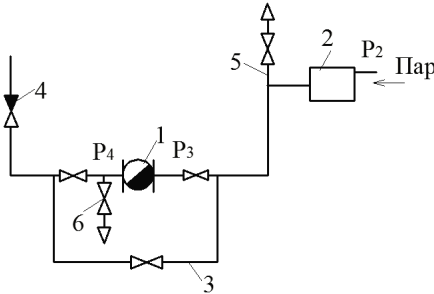


Рис.15.5. Схема установки конденсатоотводчика: 1 – конденсатоотводчик; 2 - теплотребляющий аппарат; 3 – обводная линия; 4 – обратный клапан; 5 – воздушный кран; 6 – контрольный спускник

Диаметры вентиля в обвязке конденсатоотводчика должны соответствовать диаметру входного отверстия конденсатоотводчика. Обратный клапан после обвязки конденсатоотводчика предусматривается при сбросе конденсата в общий конденсатопровод, когда в трубопроводе сброса конденсата имеется противодействие или при подъеме конденсата.

При давлении $P_3 > 0,2$ МПа (абсолютное) рекомендуется устанавливать термодинамические конденсатоотводчики, при давлении $P_3 \leq 0,2$ МПа – с опрокинутым поплавком.

Термодинамический конденсатоотводчик должен быть установлен строго вертикально.

15.6. Гидравлические затворы

Для удаления конденсата от потребителей применяются гидравлические затворы. Гидравлический затвор пропускает только конденсат и предупреждает утечку пара в конденсатопровод.

Гидравлические затворы обычно используют при избыточном давлении пара не более 0,05 МПа, при большем давлении устанавливают конденсатоотводчики. Гидравлические затворы изготавливают из труб в виде петли.

Рассмотрим принципиальную схему гидравлического затвора, устанавливаемого в конце паропровода для удаления попутного конденсата в системах парового отопления при нижней разводке паропроводов (рис.15.6).

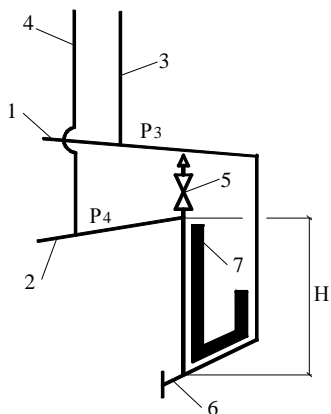


Рис.15.6. Принципиальная схема гидравлического затвора: 1 – паровая магистраль; 2 – конденсатопровод; 3–паровой стояк; 4 – стояк для отвода конденсата; 5 – патрубок с краном для продувки; 6 – тройник с пробкой для спуска грязи; P_3 – давление в точке присоединения гидравлического затвора к паровой магистрали; P_4 – давление в точке присоединения гидравлического затвора к конденсатопроводу; 7 – пробка из конденсата.

Необходимую высоту гидравлического затвора H , м, можно найти из выражения

$$H = 100(P_3 - P_4) + 0,15, \quad (15.9)$$

где 0,15 м – запас по высоте гидравлического затвора,

P_3, P_4 – давления, соответственно, в паровой магистрали и конденсатопроводе, МПа.

Диаметр труб гидравлического затвора определяют исходя из условия пропуска максимального количества конденсата со скоростью $0,2 \div 0,3$ м/с.

Попутный конденсат, образующийся в паропроводе 1, стекает в гидравлический затвор и образует в нем пробку, препятствующую поступлению пара в конденсатопровод. Гидравлическое давление столба конденсата высотой h_1 (рис.15.7), уравновешивает давление P_3 . При поступлении в гидравлический затвор очередной порции конденсата высота h_1 уменьшается, равновесие нарушается, и часть конденсата поступает из гидрозатвора в конденсатопровод 2. При большой длине магистральных паропроводов гидравлические затворы устанавливают и в середине их по следующей схеме (рис. 15.8).

Преимуществами гидрозатворов перед конденсатоотводчиками являются: простота устройства и надежность в работе, а недостатками – большая высота.

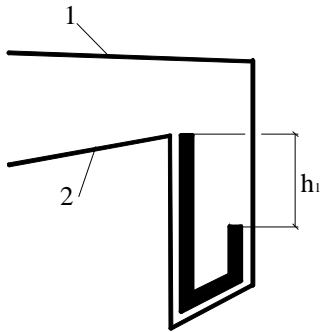


Рис.15.7. Установка гидравлического за-
твора на магистральном паропроводе: 1-
паропровод; 2-конденсатопровод

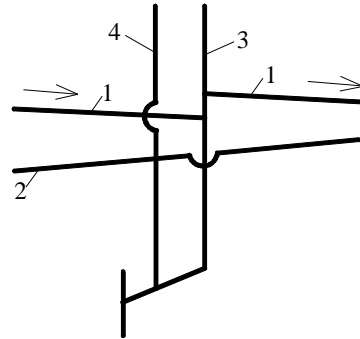


Рис.15.8. Установка гидравлического за-
твора в середине магистрального паропро-
вода: 1,2,3,4-то же, что на рис. 15.6.

15.7. Испытание систем парового отопления

Система парового отопления испытывается гидростатическим методом. В качестве пробной жидкости обычно принимается вода. Перед испытанием следует наполнить систему водой, однако до наполнения системы водой приходится проводить дополнительные мероприятия, необходимость которых вызывается конструктивными особенностями парового отопления.

Известно, что воздух из систем парового отопления удаляется из нижних точек и никаких устройств для выпуска воздуха их верхних точек системы не предусматривается. Если наполнить такую систему водой, то она заполнит только нижнюю часть системы. В верхних точках соберется воздух, который будет мешать испытанию гидростатическим методом, поэтому, чтобы заполнить систему водой, нужно удалить воздух из верхних трубопроводов и отопительных приборов.

Выпуск воздуха можно производить через ослабленные фланцевые или резьбовые соединения, расположенные на горизонтальных верхних трубопроводах. Вопрос выпуска воздуха из системы можно решить заранее и в процессе монтажа системы дать монтажнику рекомендации по количеству и местам установки дополнительных временных воздушных кранов.

При наполнении системы водой нужно решить вопрос о дополнительных временных креплениях трубопроводов большого диаметра. При проектировании крепления трубопроводов обычно учитывается только

масса трубопроводов и тепловой изоляции. Известно, что после заполнения водой трубопроводов при их диаметре 100 мм и более, их масса фактически удваивается. Предусмотренные крепления могут не выдержать давление от массы трубопроводов, заполненных водой. В соответствующих местах перед наполнением системы водой следует установить дополнительные крепления (подставки, подвески и т. п.).

Необходимо предусмотреть мероприятия для выпуска воды из системы по окончании испытания. Схема и способы для наполнения системы парового отопления водой аналогичны с системой водяного отопления.

Паровые системы с рабочими давлением 0,07 МПа испытывают пробным давлением равным 0,25 МПа в нижней точке системы, а с рабочим давлением больше 0,07 МПа равным рабочему давлению плюс 0,1 МПа в верхней точке системы, но не менее 0,3 МПа. Способы создания пробного давления такие же, как и при испытаниях систем водяного отопления. Система признается выдержавшей испытание, если в течение 5 минут нахождения ее под пробным давлением падение давления не превышает 0,02 МПа, будут отсутствовать течи в сварных швах в трубах, резьбовых и фланцевых соединениях, арматуре и отопительных приборах.

После испытания гидростатическим методом система парового отопления дополнительно проверяется путем пуска пара в нее при давлении равном рабочему. При этом утечки пара не допускаются.

15.8. Достоинства и недостатки, область применения систем парового отопления

К преимуществам систем парового отопления относят:

- меньшая чем у систем водяного отопления тепловая инерция (при выключении системы парового отопления из работы происходит сравнительно быстрое прекращение отопления помещения, а при включении в работу начинается сравнительно быстрое отопление помещения);

- меньшее, чем в системах водяного отопления гидростатическое давление, что открывает перспективу применения систем с теплоносителем паром для отопления высотных зданий;

- меньшая, чем в системах водяного отопления опасность замерзания теплоносителя при отрицательных температурах воздуха в помещениях (при отключении системы отопления последняя быстро освобождается от конденсата).

К недостаткам систем парового отопления относят:

- отсутствие возможности осуществления центрального качественного регулирования системы отопления;
- низкие санитарно-гигиенические показатели систем отопления из-за сравнительно высоких температур на теплоотдающих поверхностях;
- повышенные бесполезные потери теплоты при транспорте теплоносителя (из-за более высоких температур теплоносителя, чем в системах водяного отопления);
- повышенная внутренняя коррозия материалов (стали и чугуна) из-за поочередного заполнения элементов некоторых систем парового отопления (в основном открытых низкого давления с самотечными конденсатопроводами паром, конденсатом или воздухом);
- наличие шумов, тресков, щелчков при работе системы отопления из-за неярко выраженных явлений гидравлических ударов.

Область применения систем парового отопления определена в приложении Л [1]. Анализ этого приложения показывает, что паровое отопление рекомендуется применять для отопления производственных помещений и для торговых залов. Вследствие развития водяного централизованного теплоснабжения, паровое отопление вытеснялось водяным. Это позволили улучшить микроклимат в отапливаемых помещениях при значительной экономии тепловой энергии. В настоящее время в Республике Беларусь пар применяется для отопления только в производственных помещениях, где он необходим для технологических нужд. Например, для отопления остывочных помещений сушильных отделений цехов по переработке древесины.