

## **Часть 6. Системы парового, воздушного и местного отопления**

### **6. 1. Система парового отопления**

В системе парового отопления зданий и сооружений используется водяной пар, свойства которого как теплоносителя для отопления рассмотрены ранее. Водяной пар в системе состоит из смеси сухого насыщенного пара и капелек воды, т. е. находится во влажном состоянии. Влажное состояние изменяется при движении пара по трубам. По пути движения пара происходит, как ее называют, попутная конденсация части пара вследствие теплопередачи через стенки труб в окружающую среду. Поэтому, строго говоря, по паропроводам системы перемещается пароконденсатная смесь, плотность которой должна вычисляться по плотности сухого насыщенного пара с учетом его доли в смеси (степени сухости пара) при данном содержании влаги. Практически же при расчетах паропроводов исходят из плотности сухого пара.

Общая классификация и характеристика системы парового отопления рассмотрены ранее. Напомним, что система парового отопления обладает по сравнению с системой водяного отопления некоторыми преимуществами, к которым относятся:

- 1) возможность быстрого нагревания помещений при подаче пара в отопительные приборы и столь же быстрого прекращения их отопления при отключении подачи пара;
- 2) сокращение капитальных вложений и расхода металла вследствие уменьшения размеров отопительных приборов и конденсатопроводов;
- 3) возможность отопления зданий любой этажности, так как столб пара не создает повышенного гидростатического давления в нижней части системы.

Видно, что система парового отопления более пригодна, чем система водяного отопления, для периодического обогрева помещений (например, для дежурного отопления).

Однако эксплуатационные недостатки системы парового отопления настолько существенны, что значительно ограничивают область ее применения. К недостаткам системы парового отопления принадлежат:

- 1) невозможность регулирования теплоотдачи отопительных приборов путем изменения температуры теплоносителя, т. е. невозможность качественного регулирования;
- 2) постоянно высокая температура (100 °С и выше) поверхности теплопроводов и отопительных приборов, что вызывает разложение оседающей органической пыли, а также вынуждает устраивать перерывы в подаче пара, что приводит к колебанию температуры воздуха в помещениях, т. е. к понижению уровня теплового комфорта;
- 3) увеличение бесполезных теплопотерь паропроводами, когда они проложены в необогреваемых помещениях;
- 4) шум при действии систем, особенно при возобновлении работы после перерыва;
- 5) сокращение срока службы теплопроводов: при перерывах в подаче пара теплопроводы заполняются воздухом, что усиливает коррозию их внутренней поверхности.

Вследствие этих недостатков система парового отопления не допускается к применению в жилых, общественных и административно-бытовых зданиях, а также в производственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха.

Паровое отопление может устраиваться в производственных помещениях без выделения пыли и аэрозолей или с выделением негорючей и неядовитой пыли, негорючих и не поддерживающих горение газов и паров, со значительными влаговыведениями, а также для обогрева лестничных клеток, пешеходных переходов, вестибюлей зданий.

Паровое отопление основано на передаче в помещения скрытой теплоты парообразования, выделяющейся при конденсации насыщенного пара. Для

отопления может быть использован перегретый пар, но специальное перегревание пара экономически не оправдано, так как дополнительно получаемое количество теплоты невелико (мала теплоемкость пара) сравнительно с тепловым эффектом фазового превращения пара в воду.

Расчеты в системах парового отопления проводят, как уже сказано, по показателям сухого насыщенного пара, давлению которого всегда соответствует определенная температура.

Удельная энтальпия сухого насыщенного пара  $i_{п}$ , кДж/кг, зависящая от давления, под которым находится пар, определяется по формуле:

$$i_{п} = i_{ж} + r, \quad (6.1)$$

где  $i_{ж}$  - удельная энтальпия кипящей воды, полученная при нагревании 1 кг воды от температуры замерзания (обычно от 0 °С) до температуры кипения, кДж/кг;  $r$  - удельная теплота парообразования, полученная в результате превращения 1 кг воды в пар при температуре кипения, кДж/кг.

В системе парового отопления применяются те же отопительные приборы, что и в системе водяного отопления. Вода, охлаждаясь в приборе, передает в современных расчетных условиях в отапливаемое помещение от 84 до 335 кДж/кг. Пар, конденсируясь в приборе, выделяет в расчете на 1 кг значительно большее количество теплоты (по примеру 6.1 выделяется удельная теплота парообразования  $r = 2245$  кДж/кг). При превращении пара в воду температура его, как известно, не изменяется, т. е. температура конденсата должна быть равна температуре насыщенного пара ( $t_{к} = t_{нас}$ ). Объем пара уменьшается в среднем в 1000 раз: 1 кг пара до превращения в 1 кг воды занимает объем около 1 м<sup>3</sup>.

Если в отопительный прибор поступает расчетное количество пара и обеспечено свободное удаление конденсата, прибор целиком заполняется паром. Конденсат в виде пленки стекает по стенкам прибора вниз (рис. 6.1, а). Когда количество поступающего пара уменьшается, в нижней части прибора остается не вытесненный воздух (рис. 6.1, б). Если же при этом еще затруднен

отвод конденсата, то он задерживается в приборе (рис. 6.1, в) и, соприкасаясь с более холодными поверхностями, “переохлаждается”, т. е. его температура становится ниже температуры пара ( $t_k < t_{нас}$ ).

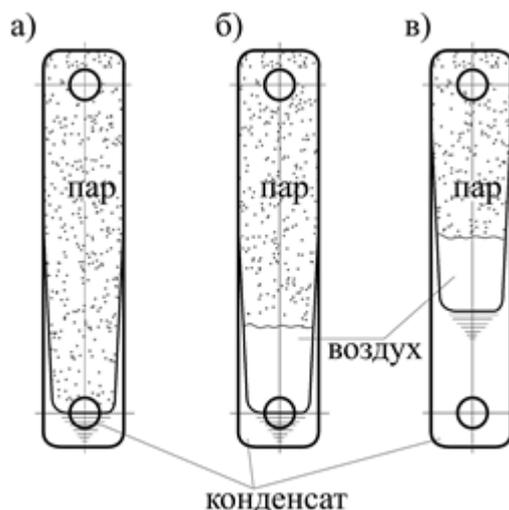


Рисунок 6.1. Распределение пара, конденсата и воздуха в отопительном приборе:

а) при подаче пара в расчетном количестве; б), в) то же в уменьшенном

Следовательно, при количественном регулировании (уменьшении расчетного расхода пара) теплопоступление в помещение от каждого килограмма пара, поступающего в прибор, увеличивается до:

$$q = r + c(t_{нас} - t_k), \quad (6.2)$$

однако в целом теплопередача прибора уменьшается.

Расширяя классификацию систем, отнесем к системам **низкого давления** системы при избыточном давлении пара 0,005...0,02 МПа, а системы при давлении пара 0,02...0,07 МПа назовем системами **повышенного давления**. Системы низкого давления, как правило, устраивают замкнутыми, а системы повышенного и высокого давления - разомкнутыми. В системах низкого давления во всех отопительных приборах давление близко к атмосферному.

Разводка паропроводов в зависимости от места их прокладки относительно отопительных приборов бывает верхней, нижней и средней, когда паропровод размещают на промежуточном этаже здания (например, под перекрытием

второго этажа трехэтажного здания). Магистральные паропроводы и конденсатопроводы могут быть, как и в системах водяного отопления, с тупиковым (встречным) и попутным движением теплоносителя.

**Схема замкнутой двухтрубной системы** низкого давления с тупиковым движением пара и конденсата в магистралях проста по конструкции и удобна в эксплуатации. Перед пуском система заполняется водой до уровня пара в паросборнике. После нагревания воды до температуры кипения в котле образуется пар, собирающийся в паросборнике. Давление пара определяет высоту  $h$ , м (см. рисунок), на которую поднимается вода:

$$h = p_{\text{изб}} / \gamma_{\text{к}}, \quad (6.3)$$

где  $p_{\text{изб}}$  - избыточное давление пара в котле, Па;  $\gamma_{\text{к}}$  - удельный вес конденсата, Н/м<sup>3</sup>.

При работе системы фактическая высота столба воды несколько больше  $h$ , так как необходимо дополнительное давление, чтобы преодолеть сопротивление движению конденсата по “мокрому” (целиком заполненному водой) конденсатопроводу до котла. Поэтому над уровнем П-П во избежание затопления горизонтального “сухого” (частично заполненного водой) конденсатопровода оставляют еще не менее 0,25 м.

Для защиты системы от повышения давления пара сверх расчетного используют простое, но надежное автоматически действующее **предохранительное устройство** - гидравлический затвор, дополненный бачком для сбора выбрасываемой паром воды и выпуска лишнего пара в атмосферу.

Пар из котла поступает по паропроводам в отопительные приборы, давление пара в которых близко к атмосферному. Распределение пара по приборам регулируют установленными перед ними вентилями, контролируя полноту его конденсации в приборах при открытых отверстиях специальных тройников.

При движении по паропроводу часть пара, как известно, конденсируется - в паропроводе появляется **попутный конденсат**. При средней разводке, попутный конденсат из горизонтального паропровода стекает в нижние отопительные приборы. Попутный конденсат в стояках для верхних приборов увлекается поднимающимся паром, при этом возникают щелчки, треск и даже гидравлические удары. Для ограничения указанного явления системы со средней или нижней разводкой проектируют таким образом, чтобы пар поднимался в стояках на высоту не более двух этажей. При нижней разводке предусматривают отведение попутного конденсата через гидравлический затвор в конце паропровода (рис. 6.2, а).

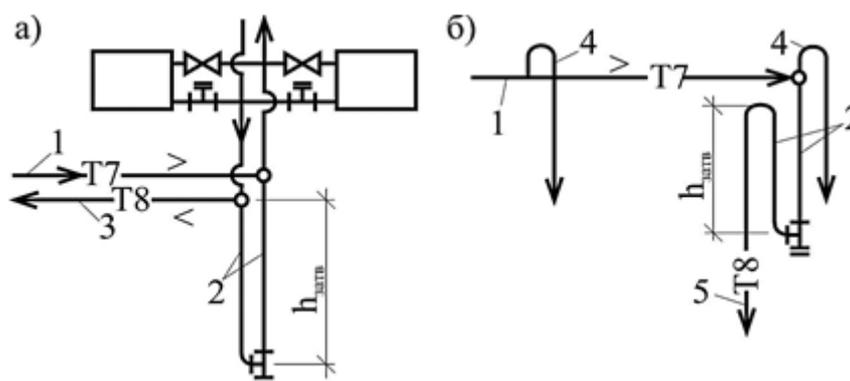


Рисунок 6.2. Схема системы осушки пара:

а) при нижней разводке паропроводов; б) при верхней разводке паропроводов.

1 — паропровод; 2 — гидравлический затвор; 3 — конденсатопровод; 4 — калач;

5 — конденсатный стояк

Для удаления попутного конденсата, минуя приборы (конденсат уменьшает теплопередачу), возможно присоединение стояков к паропроводу через калачи с установкой гидравлического затвора в конце паропровода (рис. 6.2, б).

В сухом конденсатопроводе воздух перемещается над стекающим по уклону конденсатом. В самой низкой точке воздух удаляется в атмосферу по воздушной трубе через открывающийся вентиль. **Воздушная труба** служит также для впуска воздуха с целью ликвидации разрежения, возникающего при конденсации пара в периоды прекращения работы системы.

При мокрых конденсатных трубах прокладывают специальные воздушные трубы для сбора воздуха над поверхностью конденсата и последующего его удаления в атмосферу в одном месте (обычно около котла).

При прокладке сухого конденсатопровода над полом первого этажа трубу у проемов дверей и ворот опускают в подпольный канал, изолируют, снабжают тройником с пробкой для опорожнения и прочистки и воздушной трубой  $D_y15$  над проемом. При мокром конденсатопроводе вверху добавляют кран для выпуска воздуха.

Стояки устраивают, как правило, двухтрубными. При однетрубных стояках подводки к приборам делают снизу с установкой угловых запорно-регулирующих вентилей и воздушных кранов посередине высоты каждого прибора. Работа вертикальных однетрубных систем сопровождается шумом и гидравлическим ударами. Поэтому их чаще устраивают горизонтальными проточного типа.

При давлении пара выше 0,02 МПа применяют вместо замкнутых разомкнутые системы (иногда делаются и при низком давлении). **В схеме разомкнутой двухтрубной системы** с тупиковым движением пара и конденсата в магистралях пар после сепарации в водоотделителе попутного конденсата, образовавшегося в наружном паропроводе, проходит через редукционный клапан в распределительный коллектор. В редукционном клапане давление пара понижается и поддерживается на заданном уровне. Коллектор снабжен манометром и предохранительным клапаном.

На спускных трубах от водоотделителя и распределительного коллектора установлены конденсатоотводчики. Конденсатоотводчики помещены и после каждого отопительного прибора. Вентили для полного отключения приборов предусмотрены и на паровых, и на конденсатных подводках, так как при установке лишь одного вентиля пар может проникать в приборы из конденсатопроводов.

Конденсат собирается в **конденсатный бак**. Конденсатные баки делают **открытыми**, сообщающимися с атмосферой, и **закрытыми**, находящимися под небольшим избыточным давлением. Открытый бак применяют в системе низкого давления с самотечными конденсатопроводами (недостаток - повышенная коррозия труб). В системе высокого давления в напорных конденсатопроводах появляется пар вторичного вскипания, образующийся при кипении высокотемпературного конденсата после понижения давления в конденсатоотводчиках. Использование открытого бака в этом случае привело бы к дополнительным тепловым потерям с паром вторичного вскипания, уходящим в атмосферу (10...15 %). Для уменьшения тепловых потерь в системе высокого давления применяют закрытый бак.

Воздух в напорных конденсатопроводах захватывается конденсатом, движущимся с высокой скоростью. Водовоздушная эмульсия по трубам попадает в закрытый конденсатный бак и только там воздух отделяется от конденсата и периодически отводится в атмосферу через специальную воздушную трубу.

Конденсат, собирающийся в бак, перекачивается насосом на тепловую станцию. Конденсатные насосы (рабочий и резервный) устанавливают ниже уровня дна конденсатного бака (на 0,4...0,5 м), как говорят, "под залив". Это делается во избежание вскипания конденсата, нарушающего работу насоса.

В системе парового отопления применяют, кроме обычного для системы центрального отопления, специальное оборудование: водоотделитель, редуцирующий клапан, конденсатоотводчики, конденсатные бак и насосы, бак-сепаратор, предохранительный клапан.

**Водоотделитель** предназначен для осушки пара - отделения попутного конденсата, накопившегося в наружном паропроводе, от пара, поступающего в систему отопления. Водоотделитель - сосуд круглой формы - подбирают в зависимости от диаметра присоединяемого паропровода, принимая его диаметр в 3-4 раза, а высоту - в 4-8 раз больше диаметра паропровода. Конденсат,

настилаясь на стенку водоотделителя и встречая на своем пути препятствия – “шоры”, стекает вниз к отверстию в дне. Диаметр конденсатного отверстия и патрубка делают в 4-5 раз меньше диаметра паропровода (но не менее 20 мм).

Осушенный пар поступает в редукционный клапан. **Редукционный клапан** выполняют пружинным или грузовым. Его устанавливают на горизонтальном участке паропровода.

Редукционный клапан может выполнять функции запорной арматуры. В верхней части клапана имеется второй маховик, с помощью которого можно, сжимая пружину, опустить золотник до седла, прекратив протекание пара.

Редукционные клапаны различают по условному проходу присоединительных патрубков ( $D_y25...150$ ) и площади внутреннего отверстия (изменяется от 2 до  $52,2 \text{ см}^2$ ).

**Конденсатоотводчики.** Простейшими устройствами для отведения конденсата и задержания пара являются **гидравлические затворы** - U-образные петли из труб. В таких затворах гидростатическое давление столба конденсата предотвращает прорыв пара в конденсатопроводы.

Диаметр труб гидравлического затвора принимают достаточным для протекания максимального количества конденсата со скоростью  $0,2...0,3 \text{ м/с}$ .

В системах повышенного и высокого давления вместо затворов, высота которых была бы слишком большой, применяют специальные приборы - конденсатоотводчики. Конденсатоотводчики бывают поплавковые и термические. Приборы термического действия легче и надежнее поплавковых.

**Конденсатоотводчики с опрокинутым (открытым снизу) поплавком** (так их называют в отличие от ранее применявшихся приборов с поплавком, открытым сверху)  $D_y15...50$  устанавливают на магистралях при давлении менее  $0,1 \text{ МПа}$ .

После отопительных приборов (и других потребителей пара, например, калориферов воздушно-отопительных агрегатов) для задержания не сконденсировавшегося пара (так называемого “пролетного” пара) применяют

конденсатоотводчики термостатического типа (их также называют сифонными). **Термостатический конденсатоотводчик** (рис. 6.3, а) состоит из корпуса, крышки, припаянного к ней гофрированного сифона (термостата) с золотником на конце. Сифон частично заполнен жидкостью, кипящей при 90...95 °С.

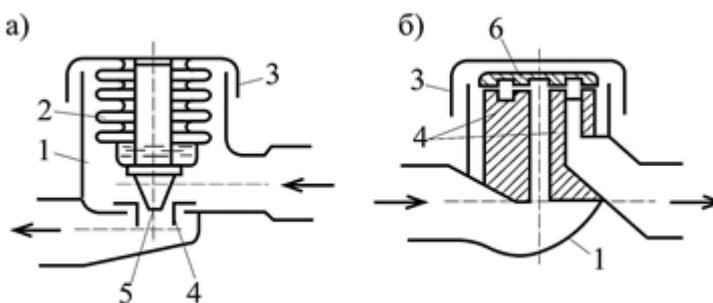


Рисунок 6.3. Конструкция конденсатоотводчиков:

а) термостатический; б) термодинамический.

1 — корпус; 2 — сифон; 3 — крышка; 4 — седло; 5 — золотник; 6 — диск

При поступлении вместе с конденсатом пара жидкость в сифоне вскипает. Сифон в результате повышения внутреннего давления удлиняется, и золотник закрывает выходное отверстие в седле. После заполнения корпуса конденсатом и понижения его температуры на 8-20 °С пары жидкости в сифоне конденсируются, сифон укорачивается и выходное отверстие открывается.

**Термодинамические** (их еще называют лабиринтовыми) **конденсатоотводчики** устанавливают, как и поплавковые, на магистралях при давлении выше 0,1 МПа. Термодинамический конденсатоотводчик (рис. 6.3, б) проще других по конструкции: в корпус помещено седло с входным (по вертикальной оси прибора) и выходным (сбоку) отверстиями, под крышкой на поверхности седла свободно лежит диск.

**Конденсатный бак** для сбора конденсата из системы делают прямоугольным, из листовой стали, с люком сверху (рис. 6.4). Бак снабжают водомерным стеклом, переливной и спускной трубами. При периодической перекачке конденсата из бака управление насосом автоматизируется:

включение и выключение насоса происходит с помощью поплавковых реле соответственно верхнего и нижнего уровня, установленных на баке.

Полезный объем конденсатного бака  $V_{к.б}$ , м<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$V_{к.б} = zQ_c / (\rho_K r), \quad (6.4)$$

где  $z$  - продолжительность накопления конденсата, ч;  $Q_c$  - тепловая мощность системы отопления, кДж/ч;  $r$  - удельная теплота парообразования (конденсации), кДж/кг.

Конденсатом должно заполняться не более 80 % объема бака.

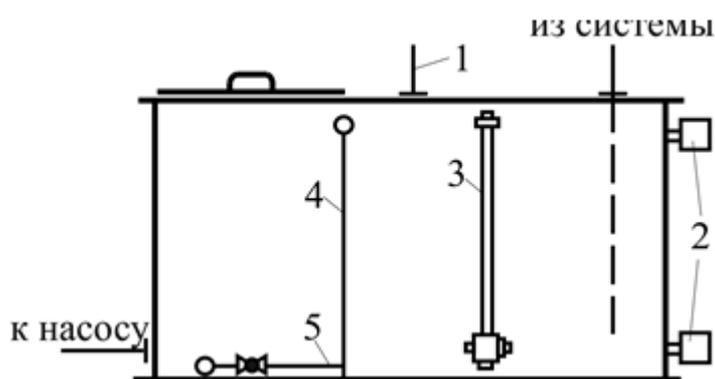


Рисунок 6.4. Конденсатный бак:

1 — воздушная труба; 2 — поплавковые реле; 3 — водомерное стекло с краном;  
4 и 5 — переливная и спускная трубы

**Бак-сепаратор** применяют в конденсатопроводах систем высокого давления для отделения пара вторичного вскипания от конденсата. Отбор пара вторичного вскипания делают для использования его в системе парового отопления низкого давления или для нагревания воды в системе горячего водоснабжения.

**Дросселирующие диафрагмы (шайбы)** применяют для погашения излишнего давления в параллельных частях системы. Диафрагма представляет собой металлический диск толщиной 2...5 мм с отверстием в центре. Диаметр отверстия определяют по расчету в зависимости от количества теплоносителя и величины погашаемого давления (но не менее 4 мм во избежание засорения).

Диафрагмы устанавливают в муфте корпуса парового вентиля перед прибором или во фланцевом соединении труб.

**Предохранительный клапан**, как и предохранительное устройство в системе низкого давления, предотвращает повышение давления в системе сверх расчетного. Предохранительные клапаны бывают пружинными и рычажными (с одним или двумя рычагами). У распространенных рычажных клапанов тарелка прижимается к седлу под действием силы, передаваемой через рычаг от груза. Чем больше длина рычага и масса груза, тем больше давление пара, при котором клапан остается закрытым. При увеличении давления избыток пара через приоткрывающийся клапан удаляется в атмосферу и заданное давление пара восстанавливается.

**Конденсатный насос** для перекачки конденсата из бака на тепловую станцию выбирают для подачи в 1 ч не менее, чем удвоенного количество накапливающегося конденсата (см. формулу (6.7)). Развиваемого насосом давления должно быть достаточно для подъема конденсата и преодоления конечного давления в точке, куда подается конденсат, с учетом потерь давления в трубах  $\Delta p_{\text{пот}}$  по пути от конденсатного бака.

Если конденсат подается из бака в котел, то давление насоса  $\Delta p_n$ , Па, определяют по формуле:

$$\Delta p_n = 10^6 p_n + \gamma_k (h + 1) + \Delta p_{\text{пот}}, \quad (6.5)$$

где  $\gamma_k$  - удельный вес конденсата, Н/м<sup>3</sup>;  $p_n$  - давление пара в котле, МПа;  $h$  - вертикальное расстояние между уровнями конденсата - верхним в котле и нижним в баке, м (с запасом 1 м).

## 6.2. Система воздушного отопления

В системах воздушного отопления используется атмосферный воздух, свойства которого как теплоносителя рассмотрены выше.

Воздушное отопление имеет много общего с другими видами централизованного отопления. И воздушное, и водяное отопление основаны на передаче теплоты в отапливаемые помещения от охлаждающегося теплоносителя. В центральной системе воздушного отопления, как и в системах водяного и парового отопления, имеется теплогенератор (центральная установка для нагревания воздуха) и теплопроводы (каналы или воздуховоды для перемещения теплоносителя).

Воздух для отопления обычно является вторичным теплоносителем, так как нагревается в калориферах другим, первичным теплоносителем - горячей водой или паром. Таким образом, система воздушного отопления фактически становится комбинированной - водовоздушной или паровоздушной. Для нагревания воздуха используют также другие отопительные приборы и иные теплоисточники. Например, в ранее распространенной системе огневоздушного отопления воздух нагревался в огневых печах. В системе воздушного отопления воздух, нагретый до температуры более высокой, чем температура воздуха в помещениях, отдает избыток теплоты и, охладившись, возвращается для повторного нагревания. Этот процесс может осуществляться двумя способами:

- нагретый воздух, попадая в обогреваемое помещение, смешивается с окружающим воздухом и охлаждается до температуры этого воздуха;

- нагретый воздух не попадает в обогреваемое помещение, а перемещается в окружающих помещением каналах, нагревая их стенки.

В настоящее время распространен первый способ (рассматриваемый в данной главе). Второй способ после натурной проверки в жилых зданиях в начале второй половины XX в. широко не применяется. Эксперименты показали, что в процессе эксплуатации системы нарушается плотность каналов.

В стенках и стыках каналов, расширяющихся при нагревании и сжимающихся при охлаждении, появляются трещины, в результате чего изменяется требуемое воздухораспределение. Это, в свою очередь, приводит к перегреванию одних и недогреванию других помещений.

Известно одно из достоинств применяемой центральной системы воздушного отопления - отсутствие отопительных приборов в обогреваемых помещениях. Однако если радиус действия системы воздушного отопления сужается до одного помещения, то воздухонагреватель может устанавливаться непосредственно в этом помещении и тогда система становится местной. Отличие от системы водяного отопления в этом случае будет в том, что тепловая мощность воздухонагревателя значительно больше мощности одного обычного отопительного прибора, и в помещении создается интенсивная циркуляция воздуха.

Местной делают систему воздушного отопления, если в помещении отсутствует центральная система приточной вентиляции, а также при незначительном объеме приточного воздуха, подаваемого в течение часа (менее половины объема помещения).

Для воздушного отопления характерно повышение санитарно-гигиенических показателей воздушной среды помещения. Могут быть обеспечены подвижность воздуха, благоприятная для нормального самочувствия людей, равномерность температуры помещения, а также смена, очистка и увлажнение воздуха. Кроме того, при устройстве местной системы воздушного отопления достигается экономия металла.

Способность системы воздушного отопления быстро изменять количество подаваемой в помещение теплоты делает ее достаточно гибкой для обеспечения эксплуатационного регулирования, а также при осуществлении периодического или дежурного отопления. Вместе с тем, воздушное отопление не лишено существенных недостатков. Как известно, площадь поперечного сечения и поверхности воздухопроводов из-за малой теплоаккумулирующей способности

воздуха во много раз превышает сечение и поверхность водяных и паровых теплопроводов. В сети значительной протяженности воздух заметно охлаждается, несмотря на то, что воздуховоды покрывают тепловой изоляцией. По этим причинам применение центральной системы воздушного отопления в сравнении с другими системами может оказываться экономически нецелесообразным. Местное воздушное отопление не имеет перечисленных недостатков, однако не лишено отрицательных черт, обусловленных размещением отопительного оборудования непосредственно в обогреваемом помещении.

Отсутствие отопительных приборов в помещении может препятствовать использованию местного воздушного отопления. Если к тому же требуется обеспечить ряд помещений приточной вентиляцией, то только при центральной системе воздушного отопления совместно выполняется функции отопления и вентиляции.

Возможность совмещения воздушного отопления с приточной вентиляцией в холодный период, с охлаждением помещений в летний период сближает воздушное отопление с вентиляцией и кондиционированием воздуха и предопределяет дополнительное рассмотрение общих вопросов при изучении соответствующих дисциплин.

В настоящее время системы воздушного отопления устраивают в производственных, гражданских и сельскохозяйственных зданиях, применяя рециркуляцию воздуха или совмещая отопление с общеобменной приточной вентиляцией. Известно также использование нагретого воздуха для отопления жилых зданий и гостиниц.

**Местная система** воздушного отопления с полной рециркуляцией теплоносителя воздуха может быть бесканальной и канальной. При бесканальной системе внутренний воздух, имеющий температуру  $t_v$ , нагревается первичным теплоносителем в калорифере до температуры  $t_r$  и перемещается вентилятором в обогреваемое помещение. Наличие

вертикального канала для горячего воздуха обуславливает возникновение естественного давления, обеспечивающего циркуляцию внутреннего воздуха через калорифер и подачу его в помещение. Эти две схемы применяют для местного воздушного отопления помещений, не нуждающихся в искусственной приточной вентиляции.

Для местного воздушного отопления помещения одновременно с его приточно-вытяжной вентиляцией используют схемы, где часть воздуха забирается снаружи, другая часть внутреннего воздуха подмешивается к наружному (осуществляется частичная рециркуляция воздуха). Смешанный воздух догревается в калорифере и подается вентилятором в помещение. Помещение обогревается всем поступающим в него воздухом, а вентилируется только той его частью, которая забирается снаружи. Эта часть воздуха удаляется из помещения в таком же количестве в атмосферу с помощью системы вытяжной вентиляции.

Схема может быть и прямоточная. Наружный воздух в количестве, необходимом для вентиляции помещения, дополнительно нагревается для отопления, а после охлаждения до температуры помещения удаляется в таком же количестве в атмосферу.

**Центральная система** воздушного отопления - канальная. Воздух нагревается до необходимой температуры в тепловом центре здания и подается в помещения через воздухораспределители. Принципиальные схемы центральной системы приведены на рис. 6.5.

В схеме на рис. 6.5, а нагретый воздух по специальным каналам распределяется по помещениям, а охладившийся воздух по другим каналам возвращается для повторного нагревания в теплообменнике - калорифере. Совершается полная рециркуляция воздуха без вентиляции помещений. Теплопередача в калорифере соответствует теплотерям помещений, т. е. схема является чисто отопительной.

Схема на рис. 6.5, б с частичной рециркуляцией. На рис. 6.5, в изображена

прямоточная схема центральной системы воздушного.

В схеме на рис. 6.5, а теплозатраты на нагревание воздуха определяются только теплопотерями помещений. В схеме на рис. 6.5, в они возрастают в результате предварительного нагревания части воздуха от температуры наружного воздуха  $t_n$  до температуры  $t_b$ . В схеме на рис. 6.5, в теплозатраты наибольшие, так как весь воздух необходимо нагреть сначала от температуры  $t_n$  до  $t_b$ , а потом перегреть до температуры  $t_r$  (тепловая энергия расходуется и на отопление, и на полную вентиляцию помещений).

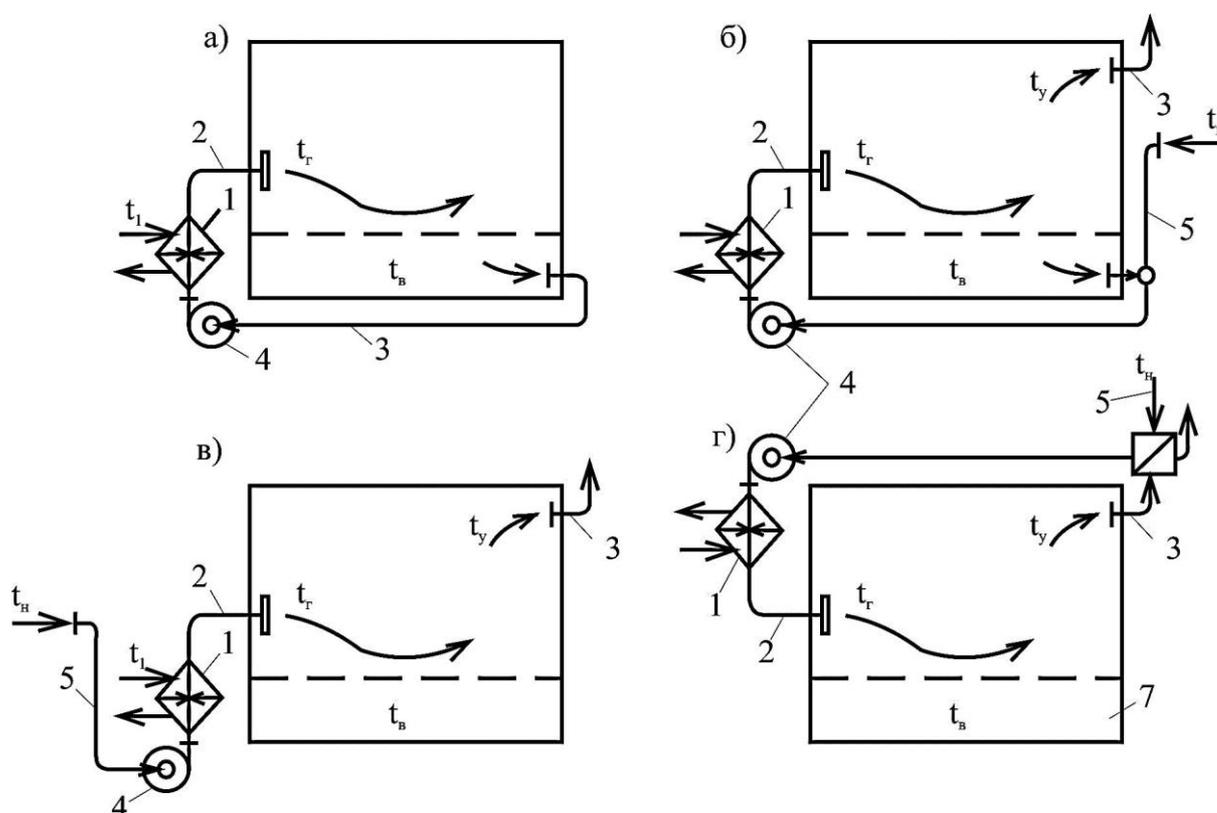


Рисунок 6.5. Принципиальные схемы центральной системы воздушного отопления:

а) полностью рециркуляционная; б) частично рециркуляционная;

в) прямоточная; г) рекуперативная.

1 — теплообменник (калорифер); 2 — канал (воздуховод) с нагретым воздухом и воздухораспределителем на конце; 3 — канал (воздуховод) системы вытяжной вентиляции; 4 — вентилятор; 5 — наружный воздухозабор с каналом (воздухо-водом); б — воздухо-воздушный теплообменник; 7 — рабочая (обслуживаемая) зона

**Рециркуляционная система** воздушного отопления отличается меньшими первоначальными вложениями и эксплуатационными затратами.

Система может применяться, если в помещении допускается рециркуляция воздуха, а температура поверхности нагревательных элементов соответствует требованиям гигиены, пожаро- и взрывобезопасности этого помещения.

**Система** воздушного отопления с **частичной рециркуляцией** устраивается с механическим побуждением движения воздуха и является наиболее гибкой. Она может действовать в различных режимах: в помещениях, помимо частичной, может осуществляться полная замена или полная рециркуляция воздуха. 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.

**Прямоточная система** воздушного отопления отличается самыми высокими эксплуатационными затратами. Ее применяют, когда требуется вентиляция помещений в объеме не меньшем, чем объем воздуха для отопления (например, в помещениях категорий А и Б, где выделяются взрывоопасные и пожароопасные вещества, а также вредные для здоровья людей или обладающие неприятным запахом). Для уменьшения теплотрат в прямоточной системе при сохранении ее основного преимущества - полной вентиляции помещений - используют схему с рекуперацией (см. рис. 6.5, г), где применен дополнительный воздухо-воздушный теплообменник, позволяющий использовать (утилизировать) часть теплоты удаляемого из помещения воздуха для предварительного нагревания наружного воздуха.

Воздух для отопления подается в помещение нагретым до такой температуры  $t_r$ , чтобы в результате его смешения с внутренним воздухом и теплообмена с поверхностью ограждений поддерживалась заданная температура помещения. Следовательно, количество аккумулированной воздухом теплоты должно быть равно  $Q_{\text{н}}$  - максимальной теплотребности для поддержания в помещении расчетной температуры  $t_b$ :

$$G_{от}c(t_{г} - t_{в}) = Q_{п}.$$

Отсюда расход нагретого воздуха  $G_{от}$ , кг/с, для отопления помещения:

$$G_{от} = Q_{п} / (c(t_{г} - t_{в})), \quad (6.6)$$

где  $c$  - удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1005 Дж/(кг·К).

Для получения расхода воздуха в кг/ч теплотребность помещения в Вт (Дж/с) следует выразить в Дж/ч, т. е. умножить на 3600 с.

Объем подаваемого воздуха  $L_{от}$ , м<sup>3</sup>/ч, при температуре  $t_{г}$  нагретого воздуха:

$$L_{от} = G_{от} / \rho_{г}. \quad (6.7)$$

Воздухообмен в помещении  $L_{п}$ , м<sup>3</sup>/ч, несколько отличается от  $L_{от}$ , так как определяется при температуре внутреннего воздуха  $t_{в}$ :

$$L_{п} = G_{от} / \rho_{в}, \quad (6.8)$$

где  $\rho_{г}$  и  $\rho_{в}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, при его температуре соответственно  $t_{г}$  и  $t_{в}$ .

**Температура воздуха  $t_{г}$**  должна быть возможно более высокой для уменьшения, как это видно из уравнения (6.6), количества подаваемого воздуха. В связи с этим, соответственно, сокращаются размеры каналов, а также снижается расход электроэнергии при механическом побуждении движения воздуха.

Однако 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. Отклонения от этого общего правила делают для воздушно-тепловых завес. Для завес у

внешних ворот и технологических проемов, выходящих наружу, допускается повышение температуры подаваемого воздуха до 70 °С, а для завес у наружных входных дверей - до 50 °С.

Конкретные значения температуры воздуха при воздушном отоплении связаны со способами его подачи из воздухораспределителей и зависят от того, подается ли воздух вертикально сверху вниз, наклонно в направлении рабочей (обслуживаемой) зоны или горизонтально в верхней зоне помещения.

В пределе, если люди подвергаются длительному непосредственному влиянию струи нагретого воздуха, его температуру рекомендуется понижать до 25 °С.

По формуле (6.6) определяют **количество воздуха**, подаваемого в помещение только с целью его отопления, и систему устраивают рециркуляционной. Когда же воздушная система отопления является одновременно и системой вентиляции, количество подаваемого в помещение воздуха устанавливают следующим образом:

если  $G_{от} \geq G_{вент}$  (количество воздуха для отопления оказывается равным количеству воздуха, необходимому для вентиляции, или превышает его), то сохраняют количество и температуру отопительного воздуха, а систему выбирают прямоточной или с частичной рециркуляцией;

если  $G_{вент} > G_{от}$  (количество вентиляционного воздуха превышает количество воздуха, которое необходимо для отопления), то принимают количество воздуха, потребное для вентиляции, систему делают прямоточной, а температуру подаваемого воздуха вычисляют по формуле:

$$t_{г} = t_{в} + Q_{п} / (cG_{вент}), \quad (6.9)$$

полученной из уравнения вида (6.6).

Количество воздуха для отопления помещения или его температуру уменьшают, если в помещении имеются постоянные тепловыделения.

При центральной отопительно-вентиляционной системе температура

нагретого воздуха, определяемая по формуле (6.9), может оказаться для каждого помещения различной. Подача в отдельные помещения воздуха при различной температуре технически осуществима. Однако проще подавать во все помещения воздух при одинаковой температуре. В этом случае общую температуру нагретого воздуха принимают равной низшей из расчетных для отдельных помещений, а количество подаваемого воздуха пересчитывают по формуле (6.6).

После уточнения воздухообмена определяют теплотраты на нагревание воздуха по формулам:

для рециркуляционной системы воздушного отопления:

$$Q = G_{от}c(t_r - t_b) ; \quad (6.10)$$

для частично рециркуляционной отопительно-вентиляционной системы:

$$Q = G_{от}c(t_r - t_b) + G_{вент}c(t_b - t_n) ; \quad (6.11)$$

для прямоточной отопительно-вентиляционной системы:

$$Q = G_{вент}c(t_r - t_n) , \quad (6.12)$$

где  $G_{от}$  и  $G_{вент}$  - расход воздуха, кг/с, для целей отопления и вентиляции;  $t_n$  - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления.

В формуле (6.9) количество рециркуляционного воздуха  $G_{рец} = G_{от} - G_{вент}$ , так как  $G_{от}$  выражает количество смешанного воздуха, нагретого до температуры  $t_r$  с целью отопления.

### 6.3. Печное отопление

Печное отопление относится к местным системам отопления, при которых получение, перенос и передача теплоты происходят в одном и том же обогреваемом помещении. 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.

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.

Изменение теплоподачи в помещение характеризуют коэффициентом неравномерности теплопередачи печи, выражающим отношение полуразности максимальной и минимальной теплопередачи печи к ее среднему значению. Коэффициент неравномерности теплопередачи зависит от числа топок в сутки и определяется для каждой конструкции печи экспериментально.

Колебания теплоподачи вызывают изменение температуры воздуха и радиационной температуры помещения. При печном отоплении происходит постоянное изменение температуры помещения, зависящее от его теплоустойчивости. Как известно, чем больше способность ограждений и оборудования помещения поглощать теплоту, тем выше его теплоустойчивость. Достаточно теплоустойчивым считают помещение, в котором при неравномерно передающей теплоту отопительной печи обеспечиваются колебания температуры воздуха в пределах  $\pm 3$  °С.

По действующим нормам 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.

Печное отопление допускается в жилых и административных зданиях 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 м<sup>2</sup>. Печное отопление часто устраивается в садовых домиках.

Распространение печного отопления объясняется его **достоинствами**: 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.

**Достоинства** печного отопления свидетельствуют о его широкой доступности. Однако установленные ограничения в отношении дальнейшего распространения (отметим еще раз, что печное отопление иногда допускается, но никогда не рекомендуется) отражают его серьезные недостатки.

**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.

При печном отоплении печи обычно размещают в помещениях у внутренних стен, используя эти стены для прокладки дымовых каналов. При этом облегчается вывод дымовых каналов в атмосферу, сокращается длина оголовков (участков каналов над кровлей), что улучшает тягу в печах.

Однако при таком расположении печей переохлаждается нижняя зона помещений. Потоки воздуха, нагревающегося у поверхности печи, поднимаются к потолку помещения. Потоки воздуха, охлаждающегося у поверхности наружных ограждений, опускаются к полу. В помещении устанавливается циркуляция воздуха, показанная на рис. 6.6. В результате охлажденный воздух перемещается вдоль пола в сторону печи, нарушая нормальное самочувствие людей, находящихся в помещении.

Такой циркуляции воздуха с холодным дутьем по ногам людей можно избежать, переместив печь в помещении к наружным ограждениям. Но в этом случае потребуется утепление дымовых каналов в наружных стенах во избежание конденсации на их внутренней поверхности влаги из отводимых дымовых газов. При этом все же неизбежны ухудшение тяги в печи, дополнительное загрязнение помещения при переносе топлива, золы и шлака.

При устройстве печного отопления не допускаются отвод дымовых газов в вентиляционные каналы, а также установка вентиляционных решеток на дымовых каналах.

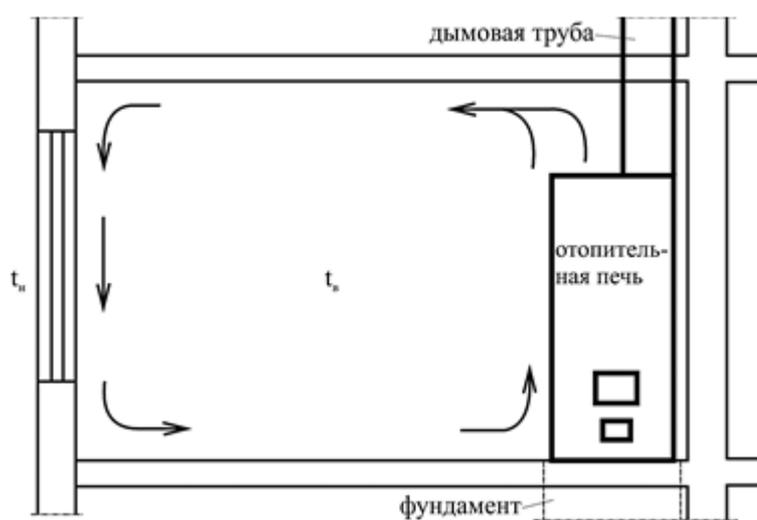


Рисунок 6.6. Направление движения воздуха в помещении при расположении отопительной печи у внутренней стены

Следовательно, каналы обеих систем - печного отопления и естественной вытяжной вентиляции - должны быть обособлены во избежание нарушения их действия.

Печи в здании размещают так, чтобы одна печь обогревала не более трех помещений, расположенных на одном этаже. В здании с коридорной системой связи помещений печи устанавливают таким образом, чтобы обслуживание осуществлялось из коридоров или подсобных помещений, имеющих окна с форточками и оборудованных естественной вытяжной вентиляцией. В двухэтажных зданиях можно устраивать двухъярусные печи как обособленные,

так и с одной общей топкой на первом этаже.

Печи предназначаются для различных целей: для отопления (отопительные печи), нагревания воды (печи-каменки), приготовления пищи (варочные печи), сушки продуктов, одежды, материалов (сушильные печи). Эти функции могут выполняться отдельно и могут быть совмещены в одной конструкции печи. В учебнике рассматриваются одноцелевые отопительные печи.

К конструкции отопительной печи предъявляются следующие требования:

- обеспечение достаточно равномерной температуры воздуха в обогреваемом помещении в течение суток (допустимое отклонение  $\pm 3$  °С);

- экономичное сжигание топлива (с возможно более высоким коэффициентом полезного действия (КПД));

- безопасность при эксплуатации;

- ограничение температуры поверхности: 90 °С в помещениях детских дошкольных и лечебно-профилактических учреждений; в других помещениях 110 °С на площади не более 15 % (120 °С - не более 5 %) общей площади поверхности печи; в помещении с временным пребыванием людей допустимо применение печи при температуре ее поверхности выше 120 °С.

Печь состоит из трех основных элементов: топливника (топки), газоходов (дымооборотов) и дымовой трубы. В топливнике может сжигаться твердое (как правило, на колосниковой решетке), жидкое и газообразное топливо. В зависимости от вида топлива изменяются размер и форма топливника. Под топливником устраивают поддувало (зольник при твердом топливе), через которое воздух из помещения поступает к горящему топливу. Регулирование количества поступающего воздуха осуществляется поддувальной дверкой.

Горячие дымовые газы под влиянием естественной тяги перемещаются из топливника по газоходам печи. Газоходы могут состоять из одного или нескольких дымооборотов, по которым дымовые газы движутся и снизу вверх, и сверху вниз. Над верхним перевалом дымовых газов устраивают перекрытие - перекрышу печи. В нижних точках дымооборотов (в подвертке, где газы

совершают поворот снизу вверх) помещают небольшие прочистные дверцы (чистки) для удаления сажи и летучей золы. В последнем газоходе перед дымовой трубой помещают задвижки для регулирования скорости движения дымовых газов и полного прекращения их движения после окончания топки печи.

Печи рассчитывают на определенную 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**.

#### **6.4. Общие сведения о газовом отоплении**

Из всех видов топлива газ - экологически наиболее чистое, так как при правильной организации процесса его сжигания содержание вредных веществ (канцерогенов, окислов азота, оксида углерода) в продуктах сгорания минимально. Около 30 % потребляемого в России газа в силу ее климатических особенностей расходуется на нужды теплоснабжения. Использование газа экономически выгодно, что обусловлено повышением КПД агрегатов и сокращением расхода топлива, более легким регулированием температурных полей и состава газовой среды в рабочем пространстве отопительных установок. Значительно упрощается и эксплуатация теплогенерирующих агрегатов.

В России используют природные и сжиженные газы. Природные газы состоят в основном из метана, других углеводородов метанового ряда, а также небольшого количества азота и диоксида углерода (углекислого газа). Низшая

теплота сгорания сухих природных газов  $Q_p = 36000 \dots 40000$  кДж/м<sup>3</sup>, плотность  $\rho = 0,73 \dots 1,0$  кг/м<sup>3</sup>. Сжиженные углеводородные газы (СУГ), которые получают на специальных заводах в результате переработки нефти и природных газов, состоят из пропана и бутанов. Хранят и транспортируют пропан-бутаны на большие расстояния в сжиженном виде, а перед использованием жидкий газ испаряют. Низшая теплота сгорания паров СУГ (смесь 50 % пропана и 50 % бутанов) примерно 110000 кДж/м<sup>3</sup>, а плотность 2,35 кг/м<sup>3</sup>.

Газовое топливо имеет два основных недостатка: взрывоопасность газоздушных смесей и токсичность самого газа (особенно продуктов его неполного сгорания), в связи с чем необходимо предусматривать систему безопасности, а также предъявлять повышенные требования при эксплуатации установок газового отопления.

Для отопления газ используют в различных установках: обычных или специальных котлах, комнатных печах, приборах квартирного или местного отопления, в газовых отопительно-вентиляционных агрегатах. Под термином “газовое отопление” понимают системы отопления:

- с комнатными печами, работающими на газе;
- с газовыми водонагревателями;
- с газовыми нетеплоемкими отопительными приборами;
- с газоздушными теплообменниками;
- с газоздушными излучателями;
- с газовыми горелками инфракрасного излучения.

Первый и третий виды систем газового отопления - местные, остальные могут устраиваться как центральными, так и местными. Ниже даны особенности конструкции перечисленного оборудования.

## **6.5. Общие сведения об электрическом отоплении**

При электрическом отоплении получение теплоты связано с преобразованием электрической энергии. По способу получения теплоты

электрическое отопление может быть с **прямым** преобразованием электрической энергии в тепловую и с **трансформацией** электричества в теплоту в тепловых насосах.

Системы электрического отопления подразделяются на **местные**, когда электроэнергия преобразуется в тепловую в обогреваемых помещениях или в непосредственной близости от них, и **центральные**, например, с электродкотлами.

По степени использования электроэнергии для отопления различают системы с полным покрытием отопительной нагрузки и с частичным ее покрытием в качестве как фоновой (базисной), так и догревающей частей системы.

Системы электрического отопления могут работать по свободному и вынужденному (например, только ночью) графикам.

**Достоинствами** систем электрического отопления являются высокие гигиенические показатели, малый расход металла, простота монтажа при сравнительно небольших капитальных вложениях, транспортабельность, управляемость в широких пределах с автоматизацией регулирования. Возможность гибкого управления процессом получения теплоты позволяет создавать системы отопления, быстро реагирующие на изменение теплопотребности помещений.

К **недостаткам** электрического отопления относят, в первую очередь, неэкономичное использование топлива, высокую температуру греющих элементов, повышенную пожарную опасность, хотя в последние годы у применяемых отопительных приборов и греющих кабелей значительно снижена опасность возгорания. Распространение электрического отопления в стране сдерживается также ограниченным уровнем выработки электроэнергии. Отпускная стоимость энергии высокая из-за значительных капитальных вложений в электростанции и линии передач, потерь при транспортировании.

Полное электроотопление зданий требует значительного расхода электроэнергии. Годовой расход электроэнергии для отопления 100 м<sup>2</sup> площади гражданского здания постройки до 90-х годов колеблется от 35 на юге страны до 125 ГДж на севере.

Целесообразность применения электрического отопления в конкретном случае определяют путем сравнения технико-экономических показателей различных вариантов отопления здания. При сравнении исходят из стоимости топлива или электроэнергии с учетом их транспортирования и потерь при этом, коэффициента использования топлива, стоимости сооружения и эксплуатации систем отопления и теплоснабжения. Принимают также во внимание возможность регулирования теплоотдачи приборов и понижения температуры помещения в нерабочее время. Оценивают улучшение социально-гигиенических условий при применении электроотопления.

Высокая транспортабельность создает условия для использования электрической энергии в системах отопления зданий и сооружений в труднодоступных районах, не имеющих других источников теплоты, а отсутствие продуктов сгорания - в экологически чистых зонах. В современных условиях применение электрического отопления экономически целесообразно в районах расположения крупных гидроэлектростанций, а также при отсутствии местного топлива (отдаленные районы Восточной Сибири, Крайнего Севера). Используется электроэнергия для отопления рассредоточенных потребителей сельских районов страны.

В современных условиях сниженного потребления электроэнергии промышленностью электроотопление довольно часто применяется в городских зданиях для дополнительного отопления в межсезонье, и при отсутствии газовых сетей в загородных коттеджах в качестве единственного источника теплоты.

Большое распространение получили электрические воздушно-тепловые завесы в общественных зданиях.