

ТЕМА 16. ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

16.1. Система воздушного отопления

В системах воздушного отопления используется атмосферный воздух. 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 воздуха.

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:

- 1) нагретый воздух, попадая в обогреваемое 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, нагревая их стенки.

В настоящее время распространен первый способ. 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 воздушнонагреватель может ус-

танавливаться 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 1 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.

Недостатки.

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 воздухопроводы 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 выполняются 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 воз-

духа 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.

16.2. Схемы системы воздушного отопления

На рис. 16.1 даны принципиальные схемы местной системы воздушного отопления. Чисто отопительная система с полной рециркуляцией теплоносителя воздуха может быть бесканальной (рис. 16.1, а) и канальной (рис. 16.1, б). При бесканальной системе внутренний воздух, имеющий температуру t_6 , нагревается первичным теплоносителем в калорифере до температуры t_2 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 две другие схемы (рис. 16.1, в, г). По схеме на рис. 16.1, в 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 на рис. 16.1, г – 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. 16.2.

В схеме на рис. 16.2, а нагретый воздух по специальным каналам распределяется по помещениям, а охладившийся воздух по другим каналам возвращается для повторного нагрева в теплообменнике калорифере. Совершается, как и в схеме на рис. 16.1, а, полная рециркуляция воздуха без вентиляции помещений. Теплопередача в калорифере соответствует теплотерям помещений, т.е. схема является чисто отопительной.

Схема на рис. 16.2, б с частичной рециркуляцией по действию не отличается от схемы на рис. 16.1, в. На рис. 16.2, в изображена прямоточная схема центральной системы воздушного отопления, аналогичная схеме на рис. 16.1, г.

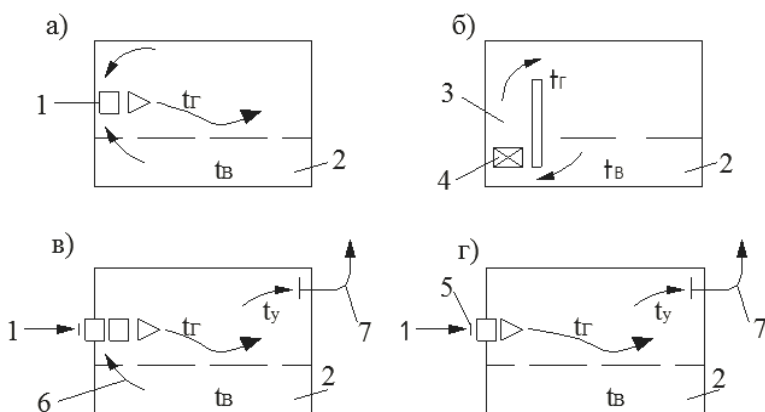


Рис. 16.1. Принципиальные схемы местной системы воздушного отопления: а, б – полностью рециркуляционные; в – частично рециркуляционная; г – прямоточная; 1 – отопительный агрегат; 2 – рабочая (обслуживаемая) зона; 3 – канал с нагретым воздухом; 4 – теплообменник (калорифер); 5 – наружный воздухозабор; 6 – рециркулирующий воздух; 7 – вытяжная вентиляция

В схемах на рис. 16.1, а, б и 16.2, а теплотраты на нагревание воздуха определяются только теплотерями помещений. В схемах на рис. 16.1, в и 16.2, б они возрастают в результате предварительного нагревания части воздуха от температуры наружного воздуха t_n до температуры t_6 . В схемах на рис. 16.1, г и 16.2, в теплотраты наибольшие, так как весь воздух необходимо нагреть сначала от температуры t_n до t_6 , а потом перегреть до температуры t_2 (тепловая энергия расходуется и на отопление, и на полную вентиляцию помещений).

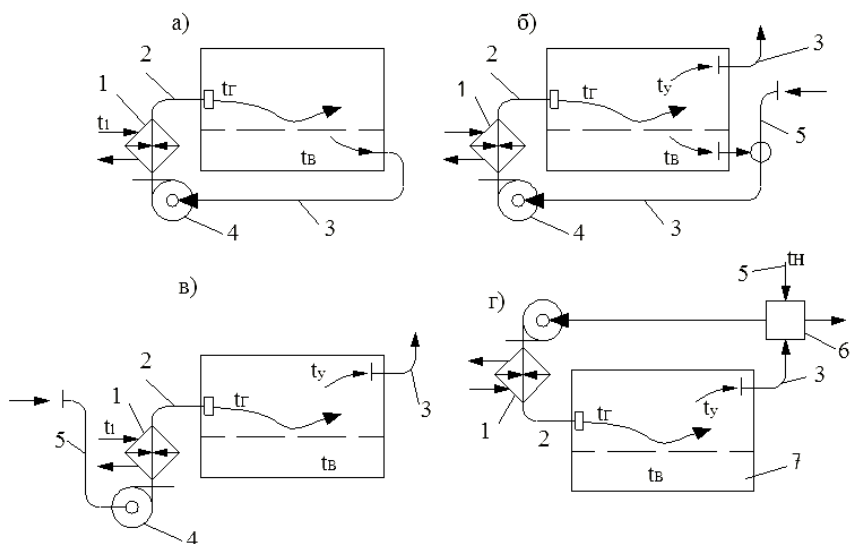


Рис. 16.2. Принципиальные схемы центральной системы воздушного отопления: а – полностью рециркуляционная; б – частично рециркуляционная; в – прямоточная; г – рекуперативная; 1– теплообменник (калорифер); 2– канал (воздуховод) с нагретым воздухом и воздухораспределителем на конце; 3 – канал (воздуховод) системы вытяжной вентиляции; 4 – вентилятор; 5 – наружный воздухозабор с каналом (воздуховодом); 6 – 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. Радиус действия центральной системы с естественной циркуляцией (без вентилятора) ограничен 8-10 м, считая по горизонтальному пути от теплового пункта до наиболее удаленного вертикального канала. Объясняется это незначительностью действующего естественного циркуляционного давления, составляющего даже при значительной температуре нагретого воздуха всего лишь около 2 Па на каждый метр высоты канала.

Система воздушного отопления с частичной рециркуляцией уравнивается 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 ото-

пительно-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. 16.2, г), где применен дополнительный воздуховоздушный теплообменник, позволяющий использовать (утилизировать) часть теплоты удаляемого из помещения воздуха для предварительного нагревания наружного воздуха.

16.3. Количество и температура воздуха для отопления

Воздух для отопления подается в помещение нагретым до такой температуры t_2 , 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_n — максимальной теплотребности для поддержания в помещении расчетной температуры t_g

$$G_{om}c(t_2 - t_g) = Q_n.$$

Отсюда расход нагретого воздуха G_{om} , кг/с, для отопления помещения

$$G_{om} = \frac{Q_n}{c(t_2 - t_g)}, \quad (16.1)$$

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_{om} , м³/ч, при температуре t_2 нагретого воздуха

$$L_{om} = G_{om} / \rho_2. \quad (16.2)$$

Воздухообмен в помещении L_n , м³/ч, несколько отличается от L_{om} , так как определяется при температуре внутреннего воздуха t_g

$$L_n = G_{om} / \rho_g, \quad (16.3)$$

где ρ_z, ρ_g плотность воздуха, кг/м³, при его температуре соответственно t_z и t_g .

Температура воздуха t_z должна быть возможно более высокой для уменьшения, как это видно из уравнения (16.1), 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 (16.1) 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 $G_{om} \geq G_{вент}$ (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 $G_{\text{вент}} > G_{\text{от}}$ (количество вентиляционного воздуха превышает количество воздуха, которое необходимо для отопления), то принимают количество воздуха, потребное для вентиляции, систему делают приточной, а температуру подаваемого воздуха вычисляют по формуле полученной из уравнения вида (16.1).

$$t_z = t_g + \frac{Q_n}{cG_{\text{вент}}}, \quad (16.4)$$

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 (16.4), 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 (16.1).

После уточнения воздухообмена определяют теплотраты на нагревание воздуха по формулам:

для рециркуляционной системы воздушного отопления

$$Q = G_{\text{от}} c (t_z - t_g); \quad (16.5)$$

для частично рециркуляционной отопительно-вентиляционной системы

$$Q = G_{\text{от}} c (t_z - t_g) + G_{\text{вент}} c (t_g - t_n); \quad (16.6)$$

для приточной отопительно-вентиляционной системы

$$Q = G_{\text{вент}} c (t_z - t_n); \quad (16.7)$$

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

В формуле (16.6) количество рециркуляционного воздуха $G_{рец} = G_{от} - G_{вент}$, так как $G_{от}$ выражает количество смешанного воздуха, нагретого до температуры t_2 с целью отопления.

16.4. Местное воздушное отопление

Местное воздушное отопление предусматривают в зданиях в следующих случаях:

в рабочее время при отсутствии центральной системы приточной вентиляции, причем система отопления может быть чисто отопительной или совмещенной с местной приточной вентиляцией;

в нерабочее время при отсутствии и невозможности или экономической нецелесообразности использования для отопления имеющейся центральной системы приточной вентиляции.

Для местного воздушного отопления применяют:

1) рециркуляционные отопительные агрегаты с механическим побуждением движения воздуха (рис. 16.1, а);

2) отопительно-вентиляционные агрегаты с частичной рециркуляцией воздуха и прямоточные, также с механическим побуждением движения воздуха по схемам на рис. 16.1, в, г (наиболее полно рассматриваются в дисциплине «Вентиляция»);

3) рециркуляционные воздухонагреватели с естественным движением воздуха (рис. 16.1, б).

Отопительные агрегаты предназначены для отопления производственных помещений категорий В, Г и Д, технологический процесс в которых не сопровождается выделением пыли, а также крупных помещений общественных и сельскохозяйственных зданий. Специальные отопительно-вентиляционные агрегаты применяют для отопления жилых квартир. Рециркуляционные воздухонагреватели служат для отопления лестничных клеток многоэтажных зданий и отдельных помещений общественных зданий.

16.5. Отопительные агрегаты

Отопительным агрегатом называется комплект стандартных элементов, собираемых воедино на заводе, имеющий определенную воздушную, тепловую и электрическую мощность. Агрегаты предназначены для установки непосредственно в отапливаемых помещениях. Они представляют собой компактное, достаточно мощное и сравнительно недорогое

устройство. Недостатком агрегатов является шум при действии вентилятора, что ограничивает возможность их применения в рабочее время.

Отопительные агрегаты подразделяются на подвесные и напольные. Конструкция отопительного агрегата типа АО применяемого для воздушного отопления на различных объектах промышленного, сельскохозяйственного, административно-бытового, жилищного и коммунального назначения, выпускаемые в РБ представлена на рис. 16.3.

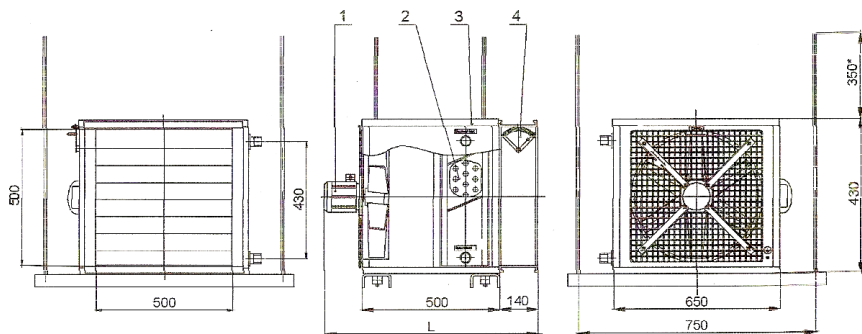


Рис. 16.3. Агрегат отопительный АО: 1-вентилятор осевой; 2-воздухонагреватель; 3- корпус; 4-клапан воздушный

Технические характеристики и габаритные размеры основного типоразмерного ряда указаны в таблице 16.1 и рисунке 16.3.

Таблица 16.3

Технические характеристики отопительных агрегатов

Обозначение	Тип вентилятора	Мощность двигателя, кВт/об	Производительность по воздуху, м ³ /ч	Длина L, мм	Тепловая мощность, кВт	Нагрев		Масса агрегата, кг	Воздухонагреватель
						от	до		
АО-1	ВО-3,55-02	0,18/1000	1600	900	16,9	15	50	98	КСк3-6
АО-2	ВО-3,55-01	0,37/1500	2500	900	23,0	15	45	100	
АО-3	ВО-5,6-01	0,37/1500	3000	1000	25,9	15	43	110	
АО-4	ВО-4,5-01	0,37/1500	2800	950	25,0	15	44	105	

Агрегат снабжен кронштейнами для подвески его в помещении.

В напольных отопительных агрегатах (рис. 16.4) используют как осевые, так и радиальные вентиляторы, а их мощность может значительно

превышать мощность подвесных агрегатов. Воздух нагревается не только водой, но и паром, а также при сжигании газообразного или дизельного топлива.

Для отопления помещения устанавливают не менее двух агрегатов, причем их тепловую мощность выбирают достаточной для поддержания температуры воздуха в отапливаемом помещении не ниже 5°C при выходе из строя одного из агрегатов.

При выпуске воздуха в свободное пространство объемного помещения через регулирующий многостворчатый клапан агрегата образуется так называемая компактная струя. Воздушная струя превращается в неполную веерную в том случае, когда регулирующий клапан дополняют рассеивающей решеткой.

Подачу нагретого воздуха при использовании отопительных агрегатов осуществляют двумя способами: наклонными струями сверху в направлении рабочей зоны (рис. 16.5, а) или горизонтальными струями выше рабочей зоны (рис. 16.5, б). Наклонной подаче отдается предпочтение, так как нагретый воздух попадает непосредственно в рабочую зону. Для этого воздух выпускается под углом 35° к горизонту, что обеспечивает наибольшую дальность нагретых струй.

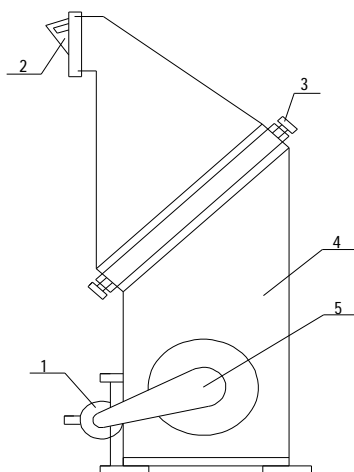


Рис.16.4. Напольный воздушно-рециркуляционный отопительный агрегат: 1 электродвигатель; 2 воздуховыпускной патрубок; 3 воздухонагреватель; 4 корпус; 5 клиноременная передача в защитном кожухе

Горизонтальную подачу, получившую название сосредоточенной, применяют, когда при наклонной подаче температура и скорость движения воздуха в рабочей зоне (в точке А на рис. 16.5, а) превышают допустимые значения. Агрегаты для горизонтальной (или под малым углом к горизон-

ту, как показано на рис. 16.5, б) подачи помещают на высоте от пола $h = (0,35 \div 0,65)H_n$ (H_n - высота помещения), т.е. в средней зоне по высоте помещения. Воздушные струи при этом получают не настилающимися (настилаются они на потолок при $h > 0,85H_n$, и это в высоких помещениях вызывает перегревание верхней зоны).

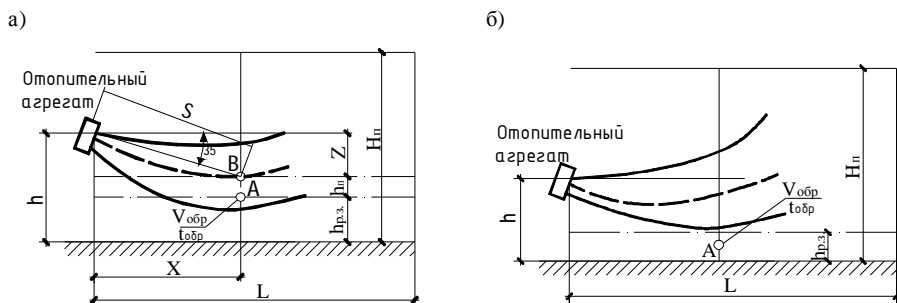


Рис. 16.5. Схемы подачи нагретого воздуха отопительным агрегатом: а - наклонная подача; б - сосредоточенная подача; А - расчетная точка в рабочей зоне; В - вершина воздушной струи

При сосредоточенной подаче под воздушной струей в нижней части помещения возникает обратный поток воздуха. В месте, где расширяющаяся воздушная струя наиболее близко проходит своей нижней границей к рабочей зоне, обратный поток движется с максимальной скоростью. В этом месте (точка А на рис. 16.5, б) и проверяют допустимость получающихся значений скорости движения и температуры воздуха.

В крупных помещениях отопительные агрегаты размещают так, чтобы получались несколько параллельных компактных или неполных веерных воздушных струй. При параллельных компактных струях (рис. 16.6, а) агрегаты располагают на расстоянии $b \leq 3H_n$ (H_n - высота помещения), при неполных веерных струях - до $10H_n$ (рис. 16.6, б). В плане агрегаты устанавливают с учетом расположения колонн и крупногабаритного оборудования, которые могут нарушать свободное развитие воздушных струй в помещении.

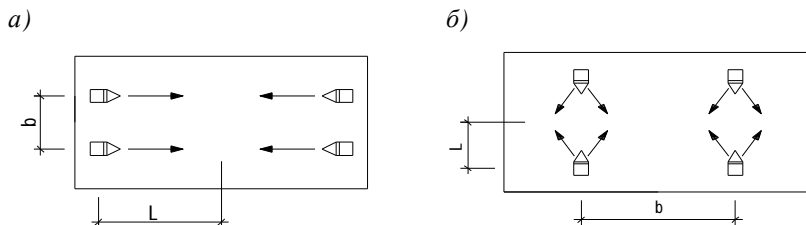


Рис. 16.6. Схема расположения отопительных агрегатов в плане помещения: *а* - при параллельных воздушных струях; *б* - при неполных встречных воздушных струях

Выбор модели отопительных агрегатов для крупных помещений делают в предположении, что будет принята наклонная подача воздуха, исходя из длины L , м, зоны обслуживания одним агрегатом, рекомендуемой в справочной литературе. Предварительно принимая ширину этой зоны $b=L$, сопоставляют теплотери обслуживаемой части помещения (с повышающим коэффициентом 1,1) с тепловой мощностью агрегатов. Выбрав окончательно модель агрегата, уточняют объем части помещения, приходящийся на один агрегат, и число агрегатов.

При наклонной подаче воздуха допустимо получение размера $b=(0,5\div 2,0)L$.

Экономически выгоднее применять укрупненные отопительные агрегаты. При использовании крупных отопительных агрегатов температура воздуха в помещении может остаться довольно равномерной (отличаться от расчетной не более чем на 2-3 °С, что допустимо во многих производственных зданиях), особенно если там обеспечивается 2–3-кратный воздухообмен.

16.6. Расчет подачи воздуха, нагретого в отопительном агрегате

В высоком помещении нагретый воздух, подаваемый отопительными агрегатами, образует свободно развивающиеся, постепенно всплывающие круглые воздушные струи. В такой воздушной струе, подаваемой как наклонно вниз, так и горизонтально, происходит теплоаэродинамический процесс затухания скорости ее движения и понижения температуры при подмешивании окружающего воздуха.

Рассмотрим методику расчета каждого из способов подачи нагретого воздуха в помещении.

1. Расчет наклонной подачи нагретого воздуха

Траектория и параметры круглой неизометрической воздушной струи зависят от расчетных показателей выбранной модели отопительного агрегата. Перечислим эти показатели: площадь воздухораспределяющего устройства A_o , m^2 , начальная скорость подаваемого воздуха v_o , м/с, избыточная температура воздуха $(t_z - t_g)$, °С.

Расчет подачи начинается с определения геометрической характеристики воздушной струи H , создаваемой агрегатом. Значение H , м, круглой воздушной струи вычисляется по формуле

$$H = 5,45mv_o A_o^{0,25} / (n(t_z - t_g))^{0,5} \quad (16.8)$$

где m и n – скоростной и температурный коэффициенты воздушной струи, зависящие от конструкции воздухораспределительного устройства (принимаются по справочным данным).

Скоростной коэффициент характеризует интенсивность затухания скорости движения воздушной струи при применении воздухораспределительного устройства той или иной конструкции (клапана, решетки и т.п.), температурный интенсивность понижения температуры воздуха в струе.

2. Теплоаэродинамический расчет сосредоточенной подачи воздуха, нагретого в отопительном агрегате

При сосредоточенной подаче начальная температура струи нагретого воздуха во избежание быстрого ее «всплывания» не должна превышать полученной по формуле

$$t_z \leq t_g + 1300v_o^2 A_o^{0,5} / (mnbH_n), \quad (16.9)$$

где b – расстояние между отопительными агрегатами, м;
 H_n – высота помещения, м.

Агрегаты устанавливают на высоте над поверхностью пола помещения, вычисляемой по формуле

$$h = h_{p.z.} + 0,3(bH_n)^{0,5}. \quad (16.10)$$

Расчет сосредоточенной подачи воздуха сводится к определению максимальной скорости движения воздуха в рабочей зоне помещения, т.е. в обратном потоке воздуха (в точке А на рис. 16.5, б) по формуле

$$v_{обп} = kv_o (A_o / bH_n)^{0,5} \quad (16.11)$$

где k – поправочный коэффициент, учитывающий число отопительных агрегатов, устанавливаемых в один ряд (изменяется от 1,15 при двух агрегатах и 1,05 при четырех до 0,9 при десяти агрегатах в ряду).

Определяется также максимальная избыточная температура обратного потока в рабочей зоне по формуле

$$\Delta t_{обп} = 1,4(t_z - t_e)(A_o / bH_n)^{0,5}. \quad (16.12)$$

Скорость движения обратного потока воздуха в рабочей зоне не должна превышать 0,7 м/с, избыточная температура обратного потока -2 °С.

При выборе тепловой мощности модели отопительных агрегатов, предназначенных для сосредоточенной подачи нагретого воздуха, к теплопотерям помещения вводят повышающий коэффициент 1,25 (при наклонной подаче воздуха - 1,1). Это объясняется тем, что в горизонтальной нагретой воздушной струе действует сила, вызывающая ее подъем.

При ускоренном (по сравнению с наклонной подачей) подъеме нагретого воздуха перегревается верхняя зона, вследствие чего увеличиваются теплопотери через покрытие помещения, и недогревается рабочая зона.

Равномерность температуры воздуха по площади и высоте связана с кратностью воздухообмена в помещении

$$k_n = L_n / V_n, \quad (16.13)$$

где L_n - воздухообмен, м³/ч, в помещении объемом V_n , м³.

Температура воздуха по высоте помещения выравнивается с увеличением кратности воздухообмена от 1 до 3. Дальнейшее увеличение кратности воздухообмена практически не влияет на температуру воздуха в верхней зоне. При соблюдении описанных выше условий в отношении высоты выпуска воздуха и кратности воздухообмена сосредоточенная подача нагретого воздуха вызывает изменение температуры воздуха всего на 0,1...0,15 °С на 1 м высоты, и температура воздуха в верхней зоне высоких цехов отличается от температуры в рабочей зоне не более, чем на 3 °С.

Длину обслуживаемого одним отопительным агрегатом объема помещения (так называемую дальнобойность воздушной струи) проверяют по выражению

$$l \leq 0,7m(bH_n)^{0,5}. \quad (16.14)$$

Расчетами при $bH_n = 21\text{ м}^2$ применительно к ранее выбранной модели отопительного агрегата получено, что для обеспечения примерно тех же параметров воздуха в рабочей зоне помещения как и при наклонной подаче, агрегат при сосредоточенной подаче воздуха следует установить на высоте 3,4 м от поверхности пола (на 1,3 м ниже), а дальнобойность воздушной струи составит 12... 15 м (на 3 м больше, чем при наклонной подаче).

16.7. Центральное воздушное отопление

Центральное воздушное отопление применяют в помещениях производственных, гражданских и агропромышленных зданий при наличии центральной системы приточной вентиляции. Отопление осуществляют по трем описанным выше схемам: с полной рециркуляцией (см. рис. 16.2, а) с частичной рециркуляцией (рис. 16.2, б) и прямоточной (рис. 16.2, в).

Полную рециркуляцию воздуха применяют главным образом в нерабочее время для дежурного отопления или для нагревания помещений перед началом работы при прерывистом отоплении. Так поступают, если полная рециркуляция не противоречит требованиям гигиены, пожаро- и взрывобезопасности помещений. При этом используется имеющаяся центральная система приточной вентиляции, но воздух забирается не снаружи, а из отапливаемых помещений и нагревается до температуры, определяемой по формуле (16.4).

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.

В системе центрального воздушного отопления используются все конструктивные элементы системы приточной вентиляции: фильтр, калориферы, электровентилятор, воздухопроводы и пр. Тепловая мощность калориферов в совмещенной системе отопления и вентиляции повышается на величину тепловой мощности системы отопления. Другим отличием является установка резервного вентилятора, электродвигатель которого должен автоматически включаться при остановке основного вентилятора.

Если для крупного помещения предусмотрено несколько совмещенных систем отопления и вентиляции, то резервные вентиляторы не устанавливаются, а головные участки воздухопроводов отдельных систем соединяются перемычками - перепускными воздухопроводами с нормально закрытыми клапанами. Тепловая мощность таких систем подбирается в расчете на поддержание в помещении режима дежурного отопления при выходе одной из них из строя.

Нагретый воздух может подаваться в обогреваемые помещения одной или несколькими горизонтальными струями, т.е. уже известным способом сосредоточенной подачи. В высокие помещения (высотой H_n более 8 м) воздух выпускается через воздухораспределительные устройства, размещаемые в средней зоне ($0,35...0,65 H_n$) на высоте от поверхности пола, определяемой по формуле (16.10). Предельное значение начальной температуры струи нагретого воздуха вычисляется по формуле (16.9).

Нагретый воздух может также подаваться вертикально сверху вниз. Начальную температуру воздуха t_z , °С, для обеспечения такой подачи принимают не более получаемой по формуле

$$t_z \leq t_g + 6(mv_o / (H_n - h_{p.з}))^2 (A_o^{0.5} / n), \quad (16.15)$$

где m и n – скоростной и температурный коэффициенты воздушной струи, зависящие от конструкции воздухораспределительного устройства.

В помещениях при такой подаче образуются так называемые ненастилающиеся воздушные струи.

В случаях, когда нагретый воздух выпускается под потолком помещений ($h > 0,85 H_n$), например, в относительно низких помещениях (при высоте H_n менее 8 м), воздушные струи становятся настилающимися.

Настилающиеся воздушные струи получают также при подаче нагретого воздуха снизу вдоль вертикальных наружных ограждений, особенно вдоль стекла световых проемов. Так поступают в холодных районах, если рабочие места людей расположены близ этих проемов.

Рассмотрим расчет воздушного отопления помещений в этих двух случаях: при образовании ненастилающихся и настилающихся воздушных струй.

При расчете центрального воздушного отопления с ненастилающимися струями устанавливают начальные параметры и число воздушных струй в помещении (при расчете местного отопления агрегатами исходными являются тепловая мощность, начальная температура и скорость воздуха, выпускаемого из агрегатов). Определяют диаметр, число воздухо-

распределителей и начальную скорость v_o воздушных струй для обеспечения скорости движения воздуха в рабочей зоне не более нормируемой $v_{норм}$. Определяют также начальную температуру воздуха t_e , которая не должна превышать максимально допустимой.

Расчет начинают с вычисления предварительного значения шага b' , м, размещения воздухораспределителей в помещении по формуле

$$b' = (1,58 / H_n) \left((10^6 / (1mnq(t_{p.з} - t_n))) (v_{норм} / k)^3 \right)^2, \quad (16.16)$$

при условии, что длина обогреваемого одной воздушной струей объема помещения l , м, соответствует выражению (16.14).

В формуле (16.16) $t_{p.з}$ и t_n - расчетная температура, °С, соответственно рабочей зоны и наружного воздуха; q - удельная тепловая характеристика помещения, Вт/(м³·°С); k - поправочный коэффициент (см. формулу (16.11)).

Затем устанавливают число воздухораспределителей N , исходя из длины помещения и полученного значения b' (если соблюдается условие $b' \leq 3H_n$).

Вычисляют площадь выходного отверстия A_o , м², одного воздухо-распределителя по формуле

$$A_o = bH_n (v_{норм} / (v_o k))^2, \quad (16.17)$$

где v_o - начальная скорость воздушной струи, м/с, выбираемая с учетом акустических требований, предъявляемых к помещению.

В формулу (16.17) подставляют уточненный размер b в зависимости от выбранного числа воздухораспределителей.

Наконец, определяют начальную температуру подаваемого воздуха по формуле

$$t_e = t_{p.з} + 1,25Q_n / (c\rho A_o v_o N), \quad (16.18)$$

где Q_n - теплотребность, Вт, для поддержания в помещении расчетной температуры рабочей зоны $t_{p.з}$; c и ρ - соответственно теплоемкость, Дж/(кг·°С), и плотность, кг/м³, воздуха (при расчетах принимают $c\rho = 1200$ Дж/(м³·°С)).

Рассмотренный способ распределения нагретого приточного воздуха ненастилающимися струями распространен в производственных и коммунальных (гаражи, прачечные) зданиях.

В сравнительно низких помещениях общественных и административно-бытовых зданий чаще встречается подача воздуха вдоль ограждений, при которой получают настилающиеся струи. При выпуске в таких условиях нагретого воздуха из щелевидного отверстия воздухораспределителя образуется плоская неизотермическая струя, настилающаяся на поверхность наружного ограждения - стены, потолка или стекла светового проема.

Связанное с этим повышение температуры внутренней поверхности наружного ограждения благоприятно сказывается на самочувствии людей, хотя и вызывает увеличение наружных теплопотерь.

Геометрическая характеристика плоской воздушной струи H , м, определяется по формуле

$$H = 9,6(mv_o)^{4/3} b_o^{1/3} (n(t_e - t_g))^{-2/3}, \quad (16.19)$$

где b_o – ширина воздуховыпускного отверстия, м. Остальные обозначения приведены к формуле (16.8).

Из формулы (16.19) можно установить, что между геометрической характеристикой плоской нагретой струи и числом Архимеда существует определенная связь: характеристика H пропорциональна

$$m^{4/3} b_o / (nAr)^{2/3}.$$

При подаче воздуха из открытого щелевидного отверстия или из отверстия с параллельными направляющими лопатками коэффициенты m и n в формуле (16.19) для плоской воздушной струи равны: $m = 3,5$ и $n = 2,8$. Тогда геометрическая характеристика плоской воздушной струи приобретает вид

$$H = 25,7v_o^{4/3} b_o^{1/3} / (t_o - t_g)^{2/3}. \quad (16.19, a)$$

Расчет плоской настилающейся струи заключается в проверке допустимости начальных и конечных параметров воздуха. Обычно определяется начальная скорость движения воздуха и температура воздуха в струе на расчетном расстоянии x от места ее выпуска (например, в точке входа

струи в рабочую зону). Начальная скорость движения плоской воздушной струи v_o , м/с, при условии, что $x \leq 6l_o$ (l_o - длина отверстия щелевого воздухораспределителя), находят по формуле

$$v_o = (v_x / (3,5k_c))(x/b_o)^{0,5}, \quad (16.20)$$

где v_x - скорость движения воздуха в расчетной точке помещения, м/с;
 k_c - поправочный коэффициент учета стеснения струи, зависящий от соотношения между расчетным расстоянием x и высотой помещения H_n ;
 $k_c = 1$ при $x < H_n$; $k_c < 1$ при $x \geq H_n$.

Объемное количество воздуха L_1 , м³/с, подаваемого из отверстия длиной 1 м щелевого воздухораспределителя, при известных ширине щели b_o и начальной скорости v_o составляет

$$L_1 = b_o v_o. \quad (16.21)$$

Длина одного воздухораспределителя l_o и число воздухораспределителей в помещении определяются количеством подаваемого нагретого воздуха L_{om} и необходимостью выполнить условие $x \leq 6l_o$.

В помещении возможно ограничение скорости выпуска воздуха из приточного отверстия по акустическим условиям, тогда ширина и длина щели могут увеличиваться.

Максимальная температура воздуха t_x , °С, в плоской настилающейся струе на расчетном расстоянии x от места ее выпуска рассчитывается по формуле

$$t_x = t_e + 2,8(t_e - t_e)(b_o/x)^{0,5}. \quad (16.22)$$

В зоне прямого воздействия приточной струи допустимо отклонение температуры в струе от нормируемой для жилых, общественных и административно-бытовых помещений на 3 °С, для производственных помещений на 5 °С.

Температура воздуха понижается более заметно при движении нагретой струи вдоль наружного ограждения, особенно вдоль стекла светового проема. Понижение температуры воздушной струи ускоряется вследствие интенсификации конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения. Это дополнительное понижение температуры в

изложенном выше методе расчета нагретой плоской настилающейся струи во внимание не принималось.

Однако при усилении теплообмена на внутренней поверхности повышается ее температура и увеличиваются теплопотери через наружное ограждение. Для возмещения дополнительных теплопотерь следует соответственно повысить начальную температуру воздушной струи.

В случае подачи нагретого воздуха плоской настилающейся струей снизу вверх значение коэффициента конвективного теплообмена α_k , Вт/(м²·°C), между струей и внутренней поверхностью, среднее по высоте ограждения H_n (при $H_n \geq 14,5b_o$), может быть найдено при температуре окружающего воздуха около 20 °C по формуле

$$\alpha_k = \left(50 / H_n^{0,6}\right) \left(b_o v_o^2\right)^{0,4}. \quad (16.23)$$

При известном коэффициенте α_k можно уточнить теплопотери через наружное ограждение и начальную температуру воздушной струи.

В этом же случае нагретая воздушная струя не только возмещает теплопотери помещения, но и защищает рабочую зону от ниспадающего потока воздуха, охлаждающегося у наружного ограждения. Струя должна лишь оставаться настилающейся по всей высоте помещения H_n .

Для выполнения этого условия начальная скорость нагретой струи, выпускаемой из щели в полу шириной b_o , должна удовлетворять соотношению, полученному в результате исследований

$$v_o^2 = \left(0,72 / (10^3 b_o)\right) (t_g - \tau_g)^{0,91} H_n^{1,73}, \quad (16.24)$$

где $(t_g - \tau_g)$ - разность температуры при $t_g \approx 20$ °C и температуре внутренней поверхности наружного ограждения τ_g , вычисленной для обычных условий естественной конвекции.

16.8. Особенности расчета воздухопроводов центрального воздушного отопления

Аэродинамический расчет воздухопроводов, расчет и подбор оборудования рассматриваются в дисциплине «Вентиляция». Здесь остановимся лишь на особенностях теплоаэродинамического расчета воздухопроводов, предназначенных для подачи нагретого воздуха в отапливаемые помещения.

В системах центрального воздушного отопления в отличие от систем центральной приточной вентиляции перемещается воздух меньшей и переменной плотности по сравнению с плотностью воздуха, окружающего воздуховоды. В связи с этим можно отметить две особенности действия систем центрального воздушного отопления: нагретый воздух заметно охлаждается по пути его движения и количество воздуха, поступающего в помещения, изменяется в течение отопительного сезона, особенно при естественном движении.

В вентиляторных системах воздушного отопления ограниченной длины и высоты эти два фактора обычно во внимание не принимаются. В разветвленных протяженных системах воздушного отопления крупных зданий, особенно высоких, необходимо ограничивать как охлаждение воздуха в воздуховодах, так и перераспределение воздуха, поступающего в помещения, под влиянием изменяющегося естественного циркуляционного давления.

Для ограничения и учета охлаждения воздуха выполняют тепловой расчет воздухопроводов, устанавливают начальную температуру воздуха и уточняют его расчетный расход.

Для ограничения отклонения расхода нагретого воздуха от расчетного, т.е. для повышения тепловой устойчивости систем отопления, проверяют аэродинамический режим работы сети воздухопроводов. При необходимости увеличивают потери давления в концевых ответвлениях сети. Помимо уменьшения диаметра ответвлений, на них устанавливают диафрагмы, а также увеличивают коэффициент местного сопротивления (КМС) воздухопроводов. При этом имеют в виду, что при потере давления в клапане, равной всего 20 Па, повышение или понижение температуры наружного воздуха на 20 °С (от 0 °С) значительно отражается на пропускной способности клапанов. По экспериментальным данным в 10-этажном здании с естественной вентиляцией такое изменение температуры наружного воздуха вызывает изменение расхода воздуха в клапанах на 40 %. Для того, чтобы сократить это изменение в тех же условиях до допустимых 7 % применяют клапаны с повышенным аэродинамическим сопротивлением, рассчитанные на потери давления, равные 160 Па.

16.9 Аэродинамический режим работы сети воздухопроводов

В течение отопительного сезона в воздуховодах прямоточной механической системы центрального воздушного отопления и в помещениях отапливаемого ею здания непрерывно колеблется давление под влиянием

изменения температуры наружного и горячего воздуха, скорости и направления ветра, индивидуального регулирования воздухообмена. При этом возможно нарушение расчетного распределения горячего воздуха по помещениям, т.е. аэродинамическое разрегулирование, приводящее, в свою очередь, к тепловому разрегулированию системы отопления.

Для сохранения теплового режима помещений с допустимой степенью отклонения от расчетных условий, фактическое количество горячего воздуха G_ϕ , поступающего в каждое помещение, может быть больше, но должно быть достаточно близким к расчетному количеству воздуха G_{om} .

Это условие может быть выполнено путем ограничения изменения избыточного давления в воздуховодах. Напишем аэродинамическую зависимость между давлением в воздуховоде и количеством воздуха при его механическом перемещении в виде

$$(p + \Delta p) / p = (G_\phi / G_{om})^2, \quad (16.25)$$

где p - избыточное давление в воздуховоде по отношению к давлению в помещении, создаваемое вентилятором для подачи воздуха в количестве G_{om} ;

Δp - дополнительное избыточное давление в воздуховоде, возникающее под влиянием перечисленных выше факторов и вызывающее увеличение расхода воздуха до G_ϕ .

Отношение фактического расхода воздуха G_ϕ к расчетному G_{om} является показателем аэродинамического разрегулирования системы центрального воздушного отопления. Обозначив его k_p , перепишем уравнение (16.25), решив его относительно избыточного давления, создаваемого вентилятором,

$$p = \Delta p / (k_p^2 - 1). \quad (16.26)$$

Показатель разрегулирования $k_p = G_\phi / G_{om}$ в последней формуле выражает отклонение фактического расхода воздуха от расчетного под влиянием величины Δp при определенном давлении вентилятора. Очевидно, что $k_p > 1$, и чем больше он отличается от единицы, тем значительнее будет аэродинамическое, а с ним и тепловое разрегулирование системы центрального воздушного отопления. Наоборот, чем ближе будет значение k_p

к единице, тем более постоянным станет аэродинамический режим работы системы воздухопроводов и воздухораспределение. Вместе с этим, будет уменьшаться отклонение температуры воздуха в помещениях от расчетной. Для выражения показателя разрегулирования через температуру используем формулу (16.1), написав ее в виде, отвечающем тепловому балансу в помещении при подаче горячего воздуха в количестве G_ϕ

$$G_\phi = \sum (kA)((t_g + \Delta t_g) - t_n) / (c(t_z - (t_g + \Delta t_g))), \quad (16.27)$$

где Δt_g - повышение температуры воздуха в помещении при увеличении расхода воздуха от G_{om} до G_ϕ .

Придав аналогичный вид формуле для вычисления расчетного расхода воздуха G_{om} , после преобразования получим

$$k_p = G_\phi / G_{om} = (((t_g - t_n) + \Delta t_g) / (t_g - t_n)) ((t_z - t_n) / ((t_z - t_g) - \Delta t_g)). \quad (16.28)$$

Из последней формулы видно, что показатель разрегулирования может быть распространен на всю систему центрального воздушного отопления здания в конкретных климатических условиях, если ограничить повышение температуры воздуха против расчетной в помещениях, заведомо наиболее неблагоприятных в отношении разрегулирования воздушно-теплового режима. Это обеспечит воздушно-тепловой режим с меньшим отклонением от расчетного во всех остальных помещениях здания.

В системе центрального воздушного отопления многоэтажного здания такими неблагоприятными помещениями являются помещения верхнего этажа. Именно в эти помещения под влиянием дополнительного избыточного давления в воздухопроводах поступает относительно большее количество горячего воздуха по сравнению с расчетным, чем в другие, ниже расположенные помещения.

Дополнительное избыточное давление в воздухопроводах определяется главным образом климатическими особенностями местности и высотой здания. Максимальное дополнительное избыточное давление в вертикальных воздухопроводах для помещений верхнего этажа можно считать (с достаточной для данного расчета точностью) равным разности аэростатического давления снаружи здания высотой H_{30} , м, и внутри воздухопроводов в расчетных условиях, т.е.

$$\Delta p = H_{30}(\gamma_n - \gamma_z), \quad (16.29)$$

где γ_n и γ_g - удельный вес воздуха, Н/м³, соответственно при температуре наружного и горячего воздуха.

Поддержание значительного избыточного давления возможно при использовании достаточно плотных воздухопроводов (например, из листовой стали), а также воздухораспределительных клапанов повышенного аэродинамического сопротивления с шумоглушителями, что отражается на стоимости системы воздушного отопления. Кроме того, при эксплуатации такой системы возрастает расход электрической энергии для создания повышенного давления в воздухопроводах. Поэтому наряду с расчетами аэродинамического и теплового режимов, проводятся экономические расчеты, учитывающие как положительные, так и отрицательные показатели конкретной системы центрального воздушного отопления.