

Модуль 2

Промышленное теплоиспользование

2.1.Сушильные установки

План лекции:

- 1.Основы теории сушки
- 2.Основные типы промышленных сушилок
- 3.Расчет конвективных сушилок с однократным использованием горячего воздуха
- 4.Установки кондиционирования воздуха

В промышленности часто используются процессы, связанные с необходимостью удаления влаги из материала или растворов. Существуют несколько способов удаления влаги: сушка, поглощение влаги химическими реагентами, механическое отделение.

Сушкой называется термический процесс удаления из материала влаги путем ее испарения. В ряде случаев сушке предшествуют другие способы удаления влаги, то есть используются комбинированные механико-термическая, физико-химическая и термическая сушка и т.д.

Механическое обезвоживание по сравнению с тепловой сушкой является более экономичным, однако, при этом удаляется лишь 40-60% влаги из материалов, допускающих деформацию. Термическая сушка позволяет получить материал с любой конечной влажностью.

Сушка материала может осуществляться естественным или искусственным путем.

Естественная сушка осуществляется на открытом воздухе за счет наружного воздуха. Сушильный агент (воздух) поглощает влагу и удаляется естественным путем.

К недостаткам естественной сушки относится большая продолжительность процесса, зависимость от времени года и состояния наружного воздуха, потребность в больших площадях, невозможность осушки материала до влажности меньшей равновесной. К достоинствам естественной сушки относится простота и дешевизна: в производственных масштабах естественная сушка по стоимости приближается к искусственной сушке.

Искусственная сушка осуществляется в специальных устройствах (сушилках), в которых сушильный агент, поглотивший влагу, удаляется с помощью вентилятора, инжектора или трубы. Искусственная сушка осуществляется в большинстве случаев нагретым воздухом или продуками сгорания топлива.

1 Основы теории сушки

В теории сушки различают следующие формы энергии связи влаги с материалом:

- а) химическая (влаги образуются в точных количественных соотношениях);
- б) физико-химическая (в различных соотношениях);
- в) физико-механическая (в неопределенных соотношениях).

К влаге с физико-механической связью, которая называется свободной, относится капиллярная влага в макропорах и стыках материала и микрокапиллярах ($r < 10^{-5}$ см). В процессе сушки удаляется механически и часть физико-химической

связанной влаги. Химически связанная влага обычно не удаляется, так как это ведет к разрушению материала.

В теории сушки различают:

а) влажность на общую массу (используется в тепловых расчетах процесса горения топлива) или влагосодержания:

$$w^0 = \frac{W}{G} 100 = \frac{W}{G_{\text{ex}} + W} 100\% \quad (1.136)$$

б) влажность материала на сухую массу (используется в исследованиях и расчетах процесса сушки):

$$w^c = \frac{W}{G_{\text{ex}}} 100\% \quad (1.137)$$

Перерасчет влажности производится по формулам:

$$w^c = \frac{w^0}{100 - w^0} 100\%, w^0 = \frac{w^c}{100 - w^c} 100\% \quad (1.138)$$

В теории сушки для характеристики и анализа кинетики процесса сушки используются:

- локальное влагосодержание материала - w ;

- равновесная влажность, при которой парциальное давление водяных паров над материалом равно парциальному давлению паров в воздухе (находится в равновесии) и которая зависит от относительной влажности и температуры воздуха — w_p ;

- максимальная гигроскопическая влажность — w_r ($\varphi=100\%$).

100 %).

Гигроскопическая влажность определяет границу между связанной и свободной влагой. При влажности больше w_r давление водяных паров над материалом практически равно парциальному давлению водяных паров над чистой водой при данной температуре и не зависит от влажности самого материала.

Процесс сушки материала, содержащего связанную и свободную влагу, можно характеризовать по убыли влаги во времени.

Рассмотрим процесс сушки материала при постоянных температуре и относительной влажности воздуха (сушильного агента).

В первый период испаряется свободная влага с поверхности материала аналогично испарению со свободной поверхности воды ($w > w_r$). В процессе сушки влага из внутренних слоев материала перемещается к поверхности материала и испаряется в окружающую среду.

Скорость сушки dw_c/dt вначале возрастает, затем стабилизируется. Постоянная скорость сушки (1 период) свидетельствует об удалении свободной влаги (соответствует углу α наклона линии $w_c = f(\tau)$). В этот период температура на поверхности материала $\theta = t_m$ остается неизменной.

Во втором периоде τ_2 скорость сушки уменьшается, так как начинается процесс удаления части связанной влаги. Температура материала начинает расти и стремится к температуре сушильного агента t_{ca} .

Точка перехода от постоянной к переменной скорости сушки называется критической. Влажность, соответствующая этой точке $w_{кр}^c$, больше гигроскопической скорости w_r^c , так как при сушке влажность внутренних слоев всегда больше, чем на поверхности и тем больше, чем больше размер материала, выше скорость и температура сушильного агента.

Конечная влажность материала стремится к равновесной w_p^c и может быть достигнута при большой продолжительности сушки. Следует отметить, что изменение температуры и относительной влажности воздуха может привести к поглощению (повторному увлажнению) высушенным материалом влаги из воздуха.

Общая продолжительность процесса сушки определяется скоростью удаления влаги из внутренних слоев материала, причем, перемещение влаги внутри материала происходит под действием разности (градиента) влажности. Величина градиента влажности *grad w* имеет важное значение для качества высушенного материала.

Чем больше *grad w*, тем в большей мере изменяет свои размеры материал (происходит его усадка) и возникает напряжение деформации, которое в пределе (критическая усадка) может привести к разрушению материала.

2 Основные типы промышленных сушилок

Сушильные установки находят широкое применение: в пищевой промышленности - для сушки продуктов, в строительной - для сушки дерева, огнеупоров, в угольной - для сушки топлива.

Существует большое разнообразие типов и конструкций сушильных установок, которые могут классифицироваться по следующим признакам:

1) по давлению в рабочем пространстве:

атмосферные, вакуумные, сублимационные (при глубоком вакууме и низких температурах);

2) по режиму работы: действующие периодически или непрерывно действующие;

3) по виду сушильного агента: воздушные, на дымовых и инертных газах, на смеси воздуха с продуктами горения топлива, на перегретом паре, на жидких средах;

4) по направлению движения сушильного агента и материала: прямоточные, противоточные, реверсивные, перекрестного тока;

5) по характеру циркуляции сушильного агента: с естественной и принудительной циркуляцией;

6) по кратности использования сушильного агента: однократные и циркуляционные;

7) по способу нагрева: с паровыми воздухоподогревателями, огневыми рекуператорами, смесительные (например, с топочными газами), с электронагревателями.

Существуют сушильные установки, работающие на других принципах: пневматические (с использованием дисперсированного газового потока), распылительные, с кипящим или виброкипящим слоем.

По конструкции сушильные установки могут выполняться коридорными, камерными, шахтными ленточными, конвейерными, барабанными, трубчатыми и т.д. Каждая конструкция может соответствовать различным признакам.

Камерные сушилки могут быть с естественной или искусственной циркуляцией сушильного агента и являться установками периодического действия. В качестве сушильного агента может использоваться воздух или его смесь с топочными газами с температурой 60-250°C.

Туннельные или коридорные сушилки являются установками полупериодического действия, в которых материал перемещается через определенные промежутки времени. Ленточные и конвейерные сушилки являются установками непрерывного действия. Перемещение материала осуществляется с помощью лент или несущего конвейера. Температурный режим сушки составляет от 70 до 300°C.

Шахтные сушилки являются установками непрерывного действия. Сушилка представляет собой вертикальную шахту, в которой материал перемещается под действием силы тяжести. Материал пронизывает сушильный агент по противоточной схеме.

С точки зрения исследования кинематики процесса сушки классификацию сушильных установок можно осуществлять по способу подвода тепла к высушиваемому материалу:

- конвективные - за счет обтекания материала сушильным агентом;
- контактные (кондуктивные) - за счет тепла, передаваемого при соприкосновении материала с нагретой поверхностью
- терморadiационные - за счет тепла, передаваемого радиацией;
- высокочастотные - за счет тепла, выделяемого токами высокой частоты;
- акустические и ультразвуковые - за счет энергии звуковых и ультразвуковых волн;
- комбинированные - сочетание различных способов подвода тепла.

Наибольшее распространение в промышленности получили конвективные сушилки, в которых сушильным агентом является воздух или продукты горения топлива (дымовые газы).

3 Расчет конвективных сушилок с однократным использованием горячего воздуха

Количество удаляемой из материала влаги определяется в формуле:

$$W = G_1 - G_2$$

где G_1 - количество исходного материала;

G_2 - количество высушенного материала.

Величина удаленной влаги можно определить как разность количества влаги в исходном материале и конечном продукте:

$$W = W_1 - W_2 = \frac{G_1 w_1^0 - G_2 w_2^0}{100}$$

где w_1^0, w_2^0 - начальное и конечное влагосодержание на общую массу материала.

Количество абсолютно сухого материала в процессе сушки не меняется:

$$G_{\text{сх}} = \frac{G_1(100 - w_1^0)}{100} = \frac{G_2(100 - w_2^0)}{100},$$

Откуда

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{100 - w_1^0}{100 - w_2^0}.$$

Из уравнения материального баланса:

$$\frac{W}{G_1} = 1 - \frac{G_2}{G_1} = \frac{w_1^0 - w_2^0}{100 - w_2^0}.$$

Тогда количество удаляемой влаги равно:

$$W = G_1 \frac{w_1^0 - w_2^0}{100 - w_2^0} = G_2 \frac{w_1^0 - w_2^0}{100 - w_1^0}.$$

При задании влагосодержания на сухую массу количество удаленной влаги можно определить по формуле:

$$W = G_1 \frac{w_1^c - w_2^c}{100 - w_1^c} = G_2 \frac{w_1^c - w_2^c}{100 - w_2^c}.$$

Баланс влаги в конвективной сушилке:

$$L_0 \frac{d_0}{1000} + \frac{G_1 w_1^c}{100} = L_2 \frac{d_2}{1000} + \frac{G_2 w_2^c}{100},$$

где d – влагосодержание сушильного агента.

В теоретическом процессе принимается, что подсосы в сушилке отсутствуют:

$$L_0 = L_1 = L_2 = L$$

Тогда из уравнения баланса влаги:

$$\frac{G_1 w_1^c - G_2 w_2^c}{100} = W = L \frac{d_2 - d_1}{1000}.$$

Расход сухого воздуха на 1 кг испаренной влаги:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \text{ кг/кг. влаги.}$$

Расход тепла на 1 кг испаренной влаги (тепло, подведенное в основном подогревателе):

$$q = l(H_1 - H_0) = \frac{1000(H_1 - H_0)}{d_2 - d_0}, \text{ кДж/кг.влаги.}$$

При исследовании теоретического процесса сушки принимается, что потери тепла в окружающую среду q_{oc} отсутствуют и на нагрев транспортных средств q_{mp} и самого материала q_m тепло не расходуется ($Q_1=Q_2=0^0C$).

Тепловой баланс теоретической сушилки в этом случае записывается в виде:

$$L_0H_0 + Q_n = L_1H_1 = L_2H_2, \text{ кДж/ч,}$$

где Q_n - тепло, подведенное в основном подогревателе.

Уравнение показывает, что в теоретической сушилке процесс испарения влаги является адиабатным:

$$H_1 = H_2$$

Расход тепла в основном подогревателе на испарение 1 кг влаги равен:

$$q = l(H_1 - H_0) = l(H_2 - H_0),$$

где $H_2 = c_2t_2 + x_2h_2$ - конечная энтальпия сушильного агента;

$H_0 = c_0t_0 + x_0h_0$ - начальная энтальпия сушильного агента;

x_0, x_2 - начальная и конечная степень сухости агента;

h_0, h_2 - начальная и конечная энтальпия водяных паров.

Уравнение можно преобразовать, если принять условие $c_0 = c_2 = c$

$$\begin{aligned} q &= l(H_2 - H_0) + lx_0h_2 - lx_0h_2 = lc(t_2 - t_0) + lx_0(h_2 - h_0) + lh_2(x_2 - x_0) = \\ &= q_2 + q_3 + q_1, \end{aligned}$$

где q_1 - тепло, затраченное на испарение 1 кг влаги;

q_2 - потери тепла с сушильным агентом;

q_3 - потери тепла с начальной влажностью сушильного агента (транзит влаги).

В действительной сушилке имеют место дополнительные потери и подвод тепла, поэтому $H_2 \neq H_1$.

В этом случае удельный расход тепла на 1 кг испаренной влаги равен:

$$q = l(H_2 - H_0) + q_m + q_{mp} + q_{oc} + q_{доб} - Q_1c_w$$

где q_m - тепло, затраченное на нагрев материала;

q_{mp} - тепло, израсходованное на нагрев транспортных средств;

q_{oc} - потери тепла в окружающую среду;

$q_{доб}$ - количество дополнительно подведенного тепла в калорифере;

Q_1c_w - физическое тепло влаги, вводимой с материалом.

Уравнение может быть представлено в виде:

$$q = l(H_1 - H_0) = l(H_2 - H_0) - \Delta.$$

Количество потерянного или дополнительно подведенного тепла Δ на 1 кг испаренной влаги можно найти из выражения:

$$\Delta = l(H_2 - H_1) = q_{\text{доб}} + \theta_1 c_w - (q_m + q_{\text{мп}} + q_{\text{ос}}).$$

Возможны три случая протекания процессов в действительной сушилке:

а) $\Delta = 0$.

Тепловые потери компенсируются дополнительно подводимым теплом:

$$q_{\text{доб}} + \theta_1 c_w = q_m + q_{\text{мп}} + q_{\text{ос}}$$

В этом случае реальный процесс совпадает с теоретическим адиабатным процессом:

$$\Delta = l(H_2 - H_1) = 0 \text{ или } H_2 = H_1$$

б) $\Delta < 0$.

Дополнительно подводимое тепло не покрывает тепловые потери:

$$q_{\text{доб}} + \theta_1 c_w < q_m + q_{\text{мп}} + q_{\text{ос}}$$

В этом случае энтальпия сушильного агента будет уменьшаться:

$$H_2 < H_1$$

в) $\Delta > 0$.

Дополнительно подводимое тепло превышает тепловые потери, что ведет к росту энтальпии сушильного агента:

$$H_2 > H_1$$

2.2. Установки кондиционирования воздуха

План лекции

1. Назначение установок кондиционирования воздуха

Назначение установок кондиционирования воздуха заключается в поддержании в помещении или отдельных его зонах заданных параметров: температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, то есть в обеспечении комфортных условий для людей и условий оптимального протекания технологического процесса. Эти же задачи решают системы отопления и вентиляции, но не комплексно.

В производственных помещениях, общественных и жилых зданиях должны поддерживаться определенные параметры воздуха в холодные и теплые периоды года. Так, например, в производственных помещениях:

- холодное время года: $t = 20-22^\circ\text{C}$; $\varphi = 30-60\%$; $v < 0,2 \text{ м/с}$;

- в теплое время года: $t = 22-25^\circ\text{C}$; $\varphi = 30-60\%$; $v = 0,2-0,5 \text{ М/с}$.

Для расчета систем кондиционирования составляются балансы тепла и влаги в помещении для теплового, холодного и переходного периодов года.

Поступление и потери тепла в помещении складываются из:

а) тепла, выделяемого технологическим оборудованием и людьми, поступающего с солнечной радиацией и от электрического освещения – $Q_{\text{мв}}$;

б) потерь тепла через наружные ограждения здания - $Q_{\text{мн}}$.

Воздух, подаваемый в помещение из системы кондиционирования, должен отводить избыток тепла в теплый период года или подводить тепло в холодный период.

Одновременно система кондиционирования должна решать проблему поддержания чистоты и влажности воздуха внутри помещения. Последнее важно особенно для производственных помещений, так как при осуществлении технологических процессов имеют место вредные выделения в виде влаги, газов и паров, пыли.

Влаговыведение происходит за счет испарения с открытых и смоченных поверхностей, утечки пара через неплотности. Влага также вносится в помещение инфильтрующим воздухом.

Количество вредных выделений определяет величину воздухообмена, причем, при одновременном выделении различных загрязнителей расход воздуха определяется по максимальной вредности. Отношение отводимого избыточного тепла и влаги называется тепловлажностным отношением:

$$\varepsilon = \frac{Q}{W} = \frac{\Delta H}{0,001\Delta d}. \quad (1.163)$$

В общем случае это отношение равно:

$$\varepsilon = \frac{\left[Q_{ms} - Q_{mn} \right] 10^{-3} + W_u t_{вл} c_{вл} + D_n h_n}{W_u + D_u}, \quad (1.164)$$

где W_u - количество испарившейся влаги;

$t_{вл}$ - температура испаряющейся влаги;

D_n, h_n - количество и энтальпия пара поступающего через неплотности.

Принципиальная схема промышленного кондиционера:

В кондиционер поступает атмосферный воздух через жалюзийную решетку. С помощью клапана рециркуляции в холодный период года к атмосферному воздуху может подмешиваться отработанный в помещении воздух, вплоть до полной его замены (полная рециркуляция). Рециркуляция позволяет уменьшить количество подводимого тепла и достигается с помощью отключающего клапана.

Очищенный в воздушном масляном фильтре воздух поступает в калорифер первого подогрева. Количество пропускаемого через калорифер воздуха, а следовательно, и температура его подогрева регулируется с помощью двухстворчатого клапана.

Подогретый воздух подается в камеру орошения, где происходит его увлажнение. В этом процессе температура воздуха понижается, поэтому воздух пропускается через калорифер второго подогрева. Одновременно за счет подводимого в калорифере тепла происходит испарение капелек воды, уносимых воздухом из камеры орошения.

В системах кондиционирования, которые могут быть централизованными или автономными, обеспечивается автоматизация всех процессов, поэтому они являются высшей степенью отопления и вентиляции.

2.3. Холодильные установки

1. Общее положение
2. Компрессионные холодильные установки
3. Действительные компрессионные холодильные установки
4. Струйные (пароэжекторные) холодильные установки

Широкое применение в промышленности находят трансформаторы тела, которые предназначены для переноса тепла от тел с более низкой температурой T_n (теплоотдатчики) к телам с более высокой температурой T_b (теплоприемник). Для осуществления этих процессов согласно II закону термодинамики необходимо затратить механическую, электрическую или химическую связанную энергию.

В зависимости от температурного уровня процесса по отношению к температуре окружающей среды T_o трансформаторы тепла делятся на:

- а) холодильные установки (если $T_n < T_o$);
- б) теплонасосные установки (при $T_n > T_o$).

В холодильных установках охлаждаемое тело отдает тепло хладагенту (жидкости с низкой температурой кипения) q_n при $T_n < T_o$.

Затем за счет внешней механической работы l происходит повышение температуры хладагента до T_o . Нагретый хладагент передает тепло $q_b = q_n + l$ окружающей среде.

В тепловом насосе тело с температурой окружающей среды отдает тепло телу с более высоким температурным уровнем, т.е. передает телу тепло окружающей среды.

Основное назначение холодильных установок заключается в выработке искусственного холода или отводе тепла от охлаждаемого тела (хранение продуктов в пищевой промышленности; интенсификация технологических процессов, например, при производстве пластмасс; системы кондиционирования на транспорте; замораживание грунта в строительстве).

Вся область искусственного холода может быть разбита на 6 температурных зон:

I - систем кондиционирования: от 20 до 0°C;

II - холодильные установки: от 0°C до (-127)°C;

III - криогенные установки разделения воздуха и получения жидких газов O_2 , N_2 , Ar : от (-127) до (-200)°C;

IV - установки получения жидких H_2 , Ne : от (-200) до (-260) °C;

V - установки получения жидкого He : от (-260) до (-270)°C;

VI – экспериментальные установки низких температур (менее -270°C).

В качестве рабочего тела (хладоагента) в трансформаторах тепла используются:

- вещества с относительно низкой температурой кипения $t_{кип} = 80 \div (-130)$ °C;

- газы и газовые смеси с низкой температурой кипения (двуокись углерода, насыщенные углеводороды, органические соединения);

- различные абсорбенты (аммиак, фреоны);
- вода (в тепловых насосах, когда $t_n > 0^\circ\text{C}$).

Требования, предъявляемые к хладагентам:

- давление насыщения хладагента при низких температурах должно быть больше атмосферного;
- максимально возможная скрытая теплота парообразования, позволяющая увеличить хладопроизводительность и уменьшить расход хладагента;
- химическая стабильность;
- низкая коррозионная активность (аммиак несовместим с медью и ее сплавами, сернистый ангидрид разъедает металлы);
- малая токсичность, взрывобезопасность;
- доступность и дешевизна.

До настоящего времени широкое применение находили фреоны - галоидные производные ненасыщенных углеводородов типа $C_mH_xF_yCl_zBr_u$, в которых $x + y + z + u = n$. К достоинствам фреонов относятся безвредность, химическая инертность, взрывобезопасность, а к недостаткам — низкая вязкость, растворимость в масле. Кроме того, в последнее время было обнаружено, что фреоны активно взаимодействуют с O_3 , и этим обусловлено появление в атмосфере озоновых дыр. В связи с последним обстоятельством от применения фреонов в холодильных установках в настоящее время воздерживаются и используются другие хладагенты.

Транспортировка холода от холодильных установок к потребителю осуществляется с помощью хладоносителей - водных растворов солей $NaCl$ (до -20°C) и $CaCl$ (до -50°C).

Основными требованиями к хладоносителям являются:

- низкая температура замерзания;
- малая вязкость, определяющая малое гидравлическое сопротивление;
- повышенная теплоемкость, определяющая расход хладоносителя;
- малая коррозионная активность;
- химическая стойкость;
- малая токсичность и взрывобезопасность;
- доступность и дешевизна.

Для получения холода может быть использован любой процесс, сопровождающийся поглощением тепла:

- фазовые превращения хладагента – в компенсированных установках;
- абсорбция газов - в сорбционных установках;
- дросселирование газов и паров - в струйных установках.

Кроме того, для получения холода могут быть использованы процессы с магнито-калорическим эффектом (магнитные установки) и с термоэлектрическим эффектом.

В промышленности наиболее широкое применение находит способ, основанный на поглощении тепла при фазовых превращениях хладагента.

2 Компрессионные холодильные установки

Компрессионные холодильные установки являются наиболее экономичными и совершенными холодильными установками.

В идеальной компрессионной паровой холодильной установке работа осуществляется по обратному циклу Карно.

Хладагент из испарителя поступает в компрессор, где сжимается до давления P_k , на что расходуется механическая работа L_k . В процессе сжатия температура хладагента возрастает до T_k . В конденсаторе за счет отвода от хладагента тепла Q_k происходит его сжижение, и хладагент изменяет свое физическое состояние. В расширительном цилиндре (детандере) происходит адиабатное расширение хладагента, сопровождающееся понижением температуры до T_0 . С такой температурой хладагент поступает в испаритель, где за счет тепла Q_0 , отнимается от хладоносителя, он испаряется и снова подается в компрессор. Охлажденный теплоноситель поступает к потребителю холода и охлаждает его. В этом процессе хладоноситель нагревается и затем подается насосом в испаритель.

В компрессионной холодильной установке (КХУ) происходят последовательно процессы расширения и сжатия хладагента с изменением его агрегата состояния. Внешним источником энергии является электрическая или механическая энергия.

Тепловой баланс идеальной КХУ:

$$Q_0 + L_k = Q_k + L_0$$

Из уравнения 1.165 можно найти количество тепла, отводимого в конденсаторе:

$$Q_k = Q_0 + (L_k - L_0) = Q_0 + L,$$

где L - затраченная работа на весь цикл.

Энергетическая эффективность идеальной КХУ оценивается холодильным коэффициентом, который равен отношению полезно отведенного тепла Q_0 к затраченной работе:

$$\varepsilon_k = Q_0 / L = Q_0 / (Q_k - Q_0)$$

Так как на T - S диаграмме использованное тепло равно площади под линией процесса, то:

$$\varepsilon_k = \frac{T_0 \Delta S}{(T_k - T_0) \Delta S} = \frac{T_0}{T_k - T_0} = \frac{1}{T_k / T_0 - 1},$$

где ΔS - изменение энтропии в процессах конденсации (т.е. сжижения) и испарения холодильного агента.

Из уравнения 1.168 видно, что холодильный коэффициент идеальной КХУ тем больше, чем меньше разность температур T_0 и T_k .

Паровая компрессионная холодильная установка может выполняться с одной или несколькими ступенями сжатия (многоступенчатая КХУ). Выбор числа ступеней

определяется назначением и условиями работы холодильной установки. В качестве компрессорной машины могут использоваться ротационные, поршневые или центробежные установки.

3 Действительные компрессионные холодильные установки

Действительные компрессионные холодильные установки по сравнению с идеальными КХУ включают в себя дополнительные элементы.

Основные отличия действительной КХУ от идеальной заключаются в следующем.

1. Вместо детандера используется регулирующий вентиль, в котором происходит дросселирование хладагента.

Этот процесс является изоэнтальпийным, а не адиабатным. Это уменьшает хладопроизводительность установки и холодильный коэффициент ε .

2. Для компенсации хладопроизводительности используется переохлаждение хладагента после конденсатора, для чего в схему дополнительно включается переохладитель ПО.

3. Сжатие хладагента осуществляется в области перегретого пара, сопровождающееся ростом энтропии. Это увеличивает работу компрессора L_k .

Паровая компрессионная холодильная установка может выполняться с одной или несколькими ступенями сжатия (соответственно одноступенчатой или многоступенчатой). Выбор числа ступеней определяется назначением и условиями работы холодильной установки. Одноступенчатая КХУ используется до степени сжатия $P_k/P_o < 7 - 12$.

Для получения очень низких температур применяются каскадные холодильные установки, в которых испаритель верхнего каскада является конденсатором нижнего каскада.

Нижний каскад работает на хладагенте с более низкой температурой кипения.

В компрессионных холодильных установках в качестве рабочего тела находят также применение газы (воздух, углекислота), которые в процессе не изменяют агрегатное состояние.

В воздушных холодильных установках низкие температуры достигаются за счет адиабатного расширения воздуха.

К недостаткам воздушных КХУ следует отнести большие поверхности воздушного охладителя и подогревателя из-за низкой теплоемкости воздуха, определяющие габариты холодильной установки и расходы хладагента. Воздушные КХУ применяются только с турбокомпрессорами, которые способны перемещать большие объемы газа.

Холодильный коэффициент воздушной КХУ равен:

$$\varepsilon_{BKXY} = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)} = \frac{1}{T_2/T_1 - 1}.$$

4 Струйные (пароэжекторные) холодильные установки

Основным элементом струйных холодильных установок является паровой эжектор, предназначенный для повышения давления инжектируемой среды.

В качестве хладагента используется вода. Конденсат, образуемый в охладителе эжектора ОЭ, разделяется на два потока:

- первый поток дросселируется в редукционном вентиле РВ до P_0 и поступает в испаритель И, где испаряется за счет подвода тепла от хладоносителя;
- второй поток конденсатным насосом НК (затрачивается работа l_H) направляется в парогенератор ПГ, где к нему товодится тепло Q_1 .

Тепловой баланс струйной холодильной установки записывается в виде:

$$Q_k = Q_1 + Q_0 + L_H.$$

Тепловой коэффициент установки определяется по формуле:

$$\xi = \frac{Q_0}{Q_1 + l_H} \approx \frac{Q_0}{Q_1}.$$

К достоинствам струйных холодильных установок следует отнести простоту, удобство в обслуживании, безвредность и взрывобезопасность.

К недостаткам относится необходимость поддержания низкого (100 кПа) давления, повышенные требования к герметичности установки, большие расходы пара.

Область применения струйных холодильных установок: системы кондиционирования воздуха (0-10°C).

2.4. Источники тепла систем централизованного теплоснабжения.

План лекции

1. Тепловое потребление
2. Выбор систем теплоснабжения.

Тепловое потребление - это использование тепловой энергии для разнообразных коммунально-бытовых и производственных целей (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, души, бани, прачечные, различные технологические теплоиспользующие установки и т.д.).

При проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения необходимо учитывать:

- вид теплоносителя (вода или пар);
- параметры теплоносителя (температура и давление);
- максимальный часовой расход тепла;
- изменение потребления тепла в течение суток (суточный график);
- годовой расход тепла;
- изменение потребления тепла в течение года (годовой график);
- характер использования теплоносителя у потребителей (непосредственный забор его из тепловой сети или только отбор тепла).

Потребители тепла предъявляют к системе теплоснабжения различные требования. Несмотря на это, теплоснабжение должно быть надёжным, экономичным и качественно удовлетворять всех потребителей тепла.

Потребителей тепла можно разделить на две группы:

- 1) - сезонные потребители тепла;

2) - круглогодичные потребители тепла.

Сезонными потребителями тепла являются:

-отопление;

-вентиляция (с подогревом воздуха в калориферах);

-кондиционирование воздуха (получение воздуха определённого качества: чистота, температура и влажность).

К этой группе относятся:

Круглогодичные потребители используют тепло в течение всего года.

-технологические потребители тепла;

-горячее водоснабжение коммунально-бытовых потребителей.

Классификация систем теплоснабжения.

Снабжение теплом потребителей (систем отопления, вентиляции, на технологические процессы и горячее водоснабжение зданий) состоит из трёх взаимосвязанных процессов:

-сообщение тепла теплоносителю;

-транспорт теплоносителя;

-использование теплового потенциала теплоносителя.

В соответствии с этим, каждая система теплоснабжения состоит из трёх звеньев:

-источник тепла;

-трубопроводы;

-системы теплоснабжения с нагревательными приборами.

Системы теплоснабжения классифицируются по следующим основным признакам:

-по мощности;

-по виду источника тепла;

-по виду теплоносителя.

По мощности системы теплоснабжения характеризуются дальностью передачи тепла и числом потребителей. Они могут быть местными и централизованными. Местными называют системы теплоснабжения, в которых три основных звена объединены и находятся или в одном помещении, или в смежных помещениях и применяются только в гражданских, небольшого объёма, зданиях, или в небольших вспомогательных зданиях на промышленных площадках, удалённых от основных производственных корпусов. (Например: печи, газовое или электрическое отопление). В этих случаях получение тепла и передача его воздуху помещений объединены в одном устройстве и расположены в отапливаемых помещениях.

Централизованными системами теплоснабжения называются в том случае, когда от одного источника тепла подаётся тепло для многих помещений или зданий.

По виду источника тепла системы централизованного теплоснабжения разделяют на районное теплоснабжение и теплофикацию.

При районном теплоснабжении источником тепла служит районная котельная, а при теплофикации - ТЭЦ.

Теплоносителем называется среда, которая передаёт тепло от источника тепла к нагревательным приборам систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

По виду теплоносителя системы теплоснабжения делятся на две группы:

-водяные системы теплоснабжения;

-паровые системы теплоснабжения.

Водяные системы теплоснабжения различают по числу теплопроводов, передающих воду в одном направлении:

- однотрубные;
- двухтрубные;
- многотрубные.

Водяные системы теплоснабжения по способу присоединения систем горячего водоснабжения разделяют на две группы:

- закрытые системы;
- открытые системы.

Схемы присоединений систем отопления и вентиляции к тепловым сетям могут быть зависимые и независимые. При зависимой схеме вода из тепловых сетей непосредственно поступает в нагревательные приборы систем отопления и вентиляции. При независимой схеме вода из тепловой сети доходит только до абонентских вводов местных систем, т.е. до места присоединения последних к тепловой сети, и не попадает в нагревательные приборы, а в специально предусмотренных подогревателях нагревает воду, циркулирующую в системах отопления зданий, и возвращается по обратному теплопроводу к источнику теплоснабжения.

Паровые системы теплоснабжения могут быть с возвратом и без возврата конденсата. Технологические потребители пара присоединяются непосредственно или с применением компрессора, если давление пара в сети ниже давления, требуемого технологическими потребителями.

2. Выбор систем теплоснабжения.

Система теплоснабжения выбирается в зависимости от характера теплового потребления и вида источника теплоснабжения.

Водяным системам теплоснабжения отдаётся предпочтение, когда тепловые потребители представляют собой системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. При наличии технологической тепловой нагрузки, требующей тепло повышенного потенциала, рационально также применять воду в качестве теплоносителя, но при этом предусматривать прокладку третьего обособленного трубопровода.

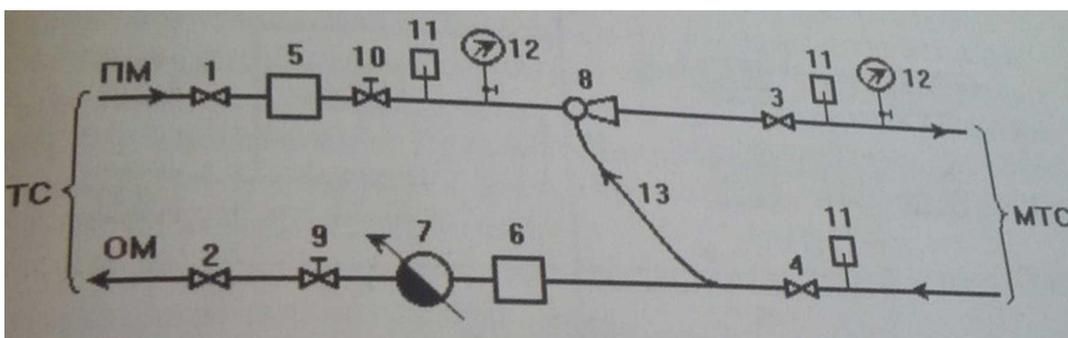
На промышленных площадках при преобладающей технологической тепловой нагрузке повышенного потенциала и малых нагрузках отопления и вентиляции можно применять паровые системы теплоснабжения.

2.5.Оборудование тепловых пунктов.

План лекции

1. Индивидуальный тепловой пункт

Рисунок 1. - Индивидуальный тепловой пункт системы отопления



1-4 - задвижки, 5 и 6 - грязевики, 7 - водомер, 8 - эжектор смешения (элеватор), 9 - регулятор давления "до себя", 20 - регулятор расхода, 11 - термометр, 12 - манометр, 13 – перемычка.

Местные системы теплоснабжения могут подключаться к тепловым сетям как непосредственно, так и с помощью связующего звена - тепловых пунктов (абонентских вводов).

Основное назначение тепловых пунктов: прием, подготовка и подача теплоносителя потребителю (в местную систему теплоснабжения), а также возврат отработавшего теплоносителя в тепловую сеть.

Тепловые пункты могут выполняться:

- индивидуальными (ИТП) - подающие тепло в одно здание;
- центральными (ЦТП) - для обеспечения теплом группы зданий или промышленного предприятия.

ИТП и ЦТП оснащаются подогревателями системы горячей водоснабжения, приборами автоматического регулирования отпуска тепла (для поддержания заданных параметров или расхода теплоносителя), приборами контроля и учета тепла, насосами горячего водоснабжения, установкам и по подготовке воды и т.д. При наличии ЦТП в каждом здании могут применяться ИТП для системы отопления, которые оснащаются элеваторами смешения или смесительными насосами, контрольно-измерительными приборами.

Схема индивидуального теплового пункта для системы отопления представлена на рисунке 1.

Вода из тепловой сети очищается от механических примесей в грязевике 5 и подается в элеваторный узел 8. Эжектор выполняет роль смесительного теплообменника и служит для понижения температуры теплоносителя подаваемого в местную систему теплоснабжения МТС. Снижение температуры обеспечивается путем смешения воды из прямой и обратной магистрали (ПМ и ОМ) с помощью перемычки 13. Вместо эжектора в тепловом пункте могут устанавливаться центробежные насосы подмешивания или поверхностные теплообменники.

Расход воды из прямой магистрали ПМ регулируется с помощью задвижки 10. Параметры теплоносителя до теплового узла и в местной сети измеряются с помощью термометров 11 и манометров 12. Расход сетевой воды измеряется водомером 7, перед которым устанавливается грязевик 6.

Важную роль в тепловом пункте играет регулятор давления «до себя» 9, который предназначен для предотвращения опорожнения верхних точек местной отопительной системы в случае резкого снижения давления теплоносителя в обратной магистрали тепловой сети. При опорожнении отопительной системы в трубопроводах местной системы теплоснабжения давление воды может стать ниже давления насыщения при температуре сетевой воды. Это может привести к испарению сетевой воды и, как следствие, к гидравлическим ударам в отопительной системе, а также к разрегулировке гидравлического режима и, возможно, к разрушению самой системы.

В грязевике улавливаются механические примеси, образующиеся в тепловой сети и в местной системе теплоснабжения. Работа грязевика основана на

механическом оседании частиц при резком изменении скорости водного потока. Из грязевика периодически удаляется в канализацию 8 накопившийся осадок через задвижку 4.

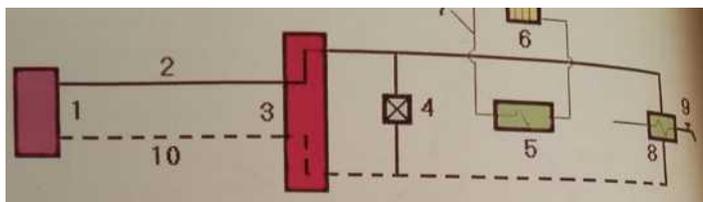
2.6.ТЭЦ

Системы централизованного теплоснабжения.

План лекции

1. Система централизованного теплоснабжения
2. Радиальные и кольцевых тепловые сети

Рисунок 1. Система централизованного теплоснабжения



1 - источник тепла, 2 - подающий трубопровод (теплопровод), 3 — абонентский ввод, 4 – вентиляционный калорифер, 5 - абонентский подогреватель местной \ системы отопления, 6 - нагревательный прибор местной \ системы отопления, 7 - трубопроводы местной системы 1 отопления, 8 - абонентский подогреватель системы горячего водоснабжения, 9 - местная система горячего водоснабжения, 10- в обратный трубопровод (теплопровод).

Рисунок 2. Схема централизованной системы теплоснабжения.

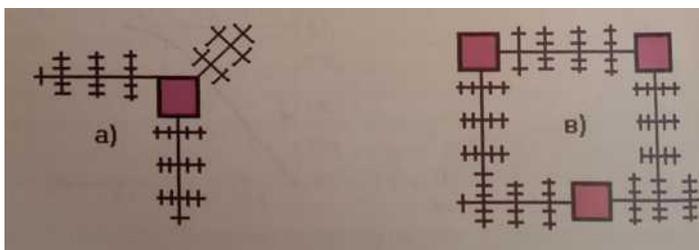


Рисунок 2.9 – Схемы радиальных (а) и

кольцевых (в) тепловых сетей

- источников тепла;
- тепловых сетей,
- абонентских вводов;
- местных систем теплоснабжения.

В зависимости от вида теплоносителя системы теплоснабжения могут быть водяными или паровыми, уточником тепла в централизованных системах теплоснабжения являются ТЭЦ (АТЭЦ) или крупные котельные (районные котельные, АСТ).

Тепло от источника к потребителю транспортируется по магистральным тепловым сетям (рисунок 2.9), которые выполняются радиальными или кольцевыми (при наличии нескольких источников тепла). Последние обеспечивают более надежное теплоснабжение, так как при выходе из строя одного из источников тепло по кольцевым тепловым сетям может поступать от других источников тепла.

На абонентских вводах происходит переход тепла из магистральных (центральных) тепловых сетей (ЦТС) в местные системы теплоснабжения (МТС). На вводах осуществляется местное (абонентское) регулирование количества и качества используемого тепла.

зависимости от организации движения теплоносителя системы теплоснабжения могут быть:

- а) замкнутыми - потребитель использует только часть тепла, ^теплоноситель полностью возвращается на источник тепла;
 - б) полужамкнутыми — потребитель использует как часть тепла, так и часть самого теплоносителя. Остальная часть теплоносителя возвращается на источник тепла;
 - в) разомкнутыми - теплоноситель и его тепло полностью используется потребителем.
- В зависимости от числа теплопроводов в тепловой сети системы теплоснабжения могут быть одно-, двух-, трех- и четырехтрубными. Трех-, четырех- и более трубные системы, четыре используются на промышленных предприятиях.

При значительном удалении потребителя от источника тепла (более 15 км) может использоваться комбинированная система теплоснабжения - сочетание однотрубной и! двухтрубной систем при установке пикового водогрейного» котла непосредственно у потребителя.

Однотрубные системы обычно используются при разомкнутых системах теплоснабжения. Эти системы наиболее экономичны и используются в случаях, если среднечасовой расход сетевой воды (теплоносителя) совпадает с расходом воды на горячее водоснабжение (ГВС) или расходом воды на технологические нужды. Однако эти системы встречаются очень редко и требуют постоянного восполнения по объему теплоносителя на источнике тепла.

Если расход сетевой воды превышает расход воды на горячее водоснабжение или технологию, то используются двухтрубные системы теплоснабжения. По обратному теплопроводу на источник тепла возвращается избыток сетевой воды. Следует иметь ввиду, что для целей горячего водоснабжения может использоваться как сама сетевая вода (открытая система ГВС), так и вода из горводопровода, подогретая в специальных теплообменниках за счет тепла сетевой воды (закрытая система ГВС).