

## Раздел 7. Теплообменные аппараты, градирни ТЭС

### Лекция №7

#### Нагревающие и охлаждающие агенты

В химической промышленности широко распространены тепловые процессы – нагревание и охлаждение жидкостей и газов и конденсация паров, которые проводятся в теплообменных аппаратах (теплообменниках).

*Теплообменниками* называют аппараты, предназначенные для передачи тепла от одних веществ к другим. Вещества, участвующие в процессе передачи тепла, называются *теплоносителями*. Теплоносители, имеющие более высокую температуру, чем нагреваемая среда, и отдающие тепло, принято называть *нагревающими агентами*, а теплоносители с более низкой температурой, чем среда, от которой они воспринимают тепло, – *охлаждающими агентами*.

В качестве охлаждающих агентов для охлаждения до обыкновенных температур (10-30°C) применяют в основном воду и воздух.

Выбор теплоносителя зависит в первую очередь от требуемой температуры нагрева или охлаждения и необходимости ее регулирования. Кроме того, промышленный теплоноситель должен обеспечивать достаточно высокую интенсивность теплообмена при небольших массовых и объемных его расходах. Соответственно он должен обладать малой вязкостью, но высокими плотностью, теплоемкостью и теплотой парообразования. Желательно также, чтобы теплоноситель был негорюч, нетоксичен, термически стоек, не оказывал разрушающего влияния на материал теплообменника и вместе с тем являлся бы достаточно доступным и дешевым веществом.

Во многих случаях экономически оказывается целесообразным утилизация тепла некоторых полупродуктов, продуктов и отходов производства, которые используются в качестве теплоносителей в теплообменных аппаратах.

#### Нагревающие агенты и способы нагревания

1. *Нагревание водяным паром.* Важным достоинством насыщенного пара является постоянство температуры его конденсации (при данном давлении), что дает возможность точно поддерживать температуру нагрева, а также в случае необходимости регулировать его, изменяя давления греющего

пара. Кроме того, использование данного способа позволяет проводить процесс при малой поверхности теплообмена.

Основной недостаток водяного пара – значительное возрастание давления с повышением температуры. Вследствие этого температуры, до которых можно производить нагревание насыщенного водяным паром, обычно не превышают 180-190°C, что соответствует давлению пара 10-12 ат. При больших давлениях требуется слишком толстостенная и дорогостоящая теплообменная аппаратура, а так же велики расходы на коммуникации и арматуру.

2. *Нагревание глухим паром.* Наиболее распространено нагревание глухим паром, передающим тепло через стенку теплообменного аппарата.

3. *Нагревание острым паром.* В тех случаях, когда допустимо смешение нагреваемой среды с паровым конденсатом, использует нагревание острым паром, который вводят непосредственно в нагреваемую жидкость. Такой способ нагрева проще нагрева глухим паром и позволяет лучше использовать тепло пара, т.к. паровой конденсат смешивается с нагреваемой жидкостью и их температуры выравниваются.

4. *Нагревание горячей водой.* Горячая вода в качестве нагревающего агента обладает определенными недостатками по сравнению с насыщенным водяным паром. Коэффициенты теплоотдачи от горячей воды, как и от любой другой жидкости, ниже, чем коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара. Кроме того, температура горячей воды снижается вдоль поверхности теплообмена, что ухудшает равномерность нагрева и затрудняет его регулирование. Горячая вода применяется обычно для нагрева до температуры не более 100°C. Для температуры выше 100°C в качестве теплоносителя используют воду, находящуюся под избыточным давлением.

5. *Нагревание топочными газами.* Дымовые, или топочные, газы относятся к числу наиболее давно применяемых нагревательных агентов. Топочные газы не потеряли своего значения до настоящего времени, так. Как позволяют осуществлять нагревание до высоких температур, достигающих 1000-1100°C, при незначительном избыточном давлении в теплообменнике (со стороны газов). Наиболее часто топочные газы используют для нагрева через стенку других нагревательных агентов – промежуточных теплоносителей.

Наиболее существенными недостатками топочных газов являются: неравномерность нагрева, обусловленная охлаждением газа в процессе теплообмена, трудность регулирования температуры обогрева, низкие коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке, возможность загрязнения нагреваемых материалов продуктами неполного сгорания топлива.

6. *Нагревание перегретой водой.* В качестве нагревательного агента перегретая вода используется при давлениях, достигающих критического, которому соответствует температура 374°C. Поэтому с помощью перегретой воды возможно нагревание материалов до температур, не превышающих приблизительно 350°C. Однако обогрев перегретой водой связан с применением высоких давлений, что значительно усложняет и удорожает нагревательную установку и повышает стоимость ее эксплуатации. Поэтому в настоящее время он вытесняется более экономичными способами нагрева другими высокотемпературными теплоносителями.

7. *Нагревание минеральными маслами.* Минеральные масла являются одним из старейших промежуточных теплоносителей, используемых для равномерного нагревания различных продуктов. В качестве нагревающих агентов применяют масла, отличающиеся наиболее высокой температурой вспышки – до 310°C. Поэтому верхний предел нагревания маслами ограничен температурами 250-300°C.

8. *Нагревание электрическим током.* С помощью электрического тока нагрев можно производить в очень широком диапазоне температур, точно поддерживая и легко регулируя температуру нагрева в соответствии с заданным технологическим режимом. Кроме того, электрические нагревательные устройства отличаются простотой, компактностью и удобны для обслуживания.

Однако применение электрического тока для нагрева пока относительно дорого. Это связано с многоступенчатостью преобразования химической энергии топлива в электроэнергию.

9. *Высокочастотное нагревание.* Такой способ применяют для нагревания материалов, не проводящих электрического тока (диэлектриков), и поэтому их часто называют диэлектрическим. В данном способе температура нагрева легко и точно регулируется и процесс нагревания может быть полностью автоматизирован. Однако этот способ обогрева требует довольно сложной аппаратуры, и к.п.д. нагревательных установок низок.

### **Охлаждающие агенты**

Для охлаждения до обыкновенных температур (примерно до 10-30°C) наиболее широко используют доступные и дешевые охлаждающие агенты – воду и воздух. По сравнению с воздухом вода отличается большой теплоемкостью, более высокими коэффициентами теплоотдачи и позволяет проводить охлаждение до более низких температур.

В качестве охлаждающего агента применяют речную, озерную, прудовую или артезианскую воду. Если по местным условиям вода

дефицитна или ее транспортирование связано со значительными расходами, то охлаждение производят оборотной водой – отработанной охлаждающей водой теплообменных устройств. Эту воду охлаждают путем ее частичного испарения в открытых бассейнах или чаще всего – в *градирнях* путем смешения с потоком воздуха и снова направляют на использование в качестве охлаждающего агента.

Для охлаждения до значительно более низких температур, чем 0°C, применяют *холодильные агенты*, представляющие собой пары низкокипящим жидкостей (например, аммиака), сжиженные газы или холодильные рассолы. Эти агенты используют в специальных холодильных установках, где при их испарении тепло отнимается от охлаждаемой среды, после чего пары сжижаются путем компрессии или абсорбируются и цикл замыкается.

### **Устройство и работа градирен**

Градирни применяются в системах оборотного водоснабжения, где необходимо глубокое и устойчивое охлаждение воды при высоких удельных гидравлических и тепловых нагрузках. Их подразделяют на:

- открытые;
- башенные;
- вентиляторные.

Градирни представляют собой полые башни, в которых сверху разбрызгивается теплая вода, а снизу вверх движется воздух за счет естественной тяги или вентилятора. Расположенная внутри градирни насадка (ороситель) служит для увеличения поверхности контакта воды и воздуха. Горячая вода в градирне охлаждается как за счет контакта с холодным воздухом, так и в результате так называемого испарительного охлаждения части потока воды.

Отходящая с градирни вода используется в теплообменных аппаратах для охлаждения технологических потоков. Кроме этого, использование градирен в сочетании с фильтрами позволяет обеспечить использование воды в замкнутом технологическом цикле, что существенно улучшает экологическую обстановку в регионе, где располагается предприятие.

Охлаждение воды с помощью *вентиляторных* градирен является в настоящее время наиболее современным способом. Охлаждение циркуляционной воды в водохранилищах применяется преимущественно при возможности использования для этих целей естественных водоемов. Водоохранилища-охладители обеспечивают в течение всего года более низкие температуры охлаждаемой воды, чем *брызгальные* бассейны и градирни с

естественной тягой. Однако создание специальных водохранилищ-охладителей требует наличия больших площадей и значительных капитальных затрат.

Открытые брызгальные градирни обычно применяются при небольших расходах охлаждаемой воды до 300 м<sup>3</sup>/ч. Они могут размещаться даже на крышах зданий. Их недостатком является низкий охлаждающий эффект, который также как и в брызгальных бассейнах зависит от силы ветра.

В башенных градирнях благодаря тяге воздуха, создаваемой в башне градирни, обеспечивается более устойчивое охлаждение и более низкие температуры, чем в открытых градирнях. Однако наличие высоких башен позволяет размещать их на небольших расстояниях от производственных помещений. Недостатком башенных градирен является высокая стоимость и сложность сооружений.

В градирнях с вынужденной тягой подача воздуха осуществляется с помощью одного и большего числа вентиляторов. При нагнетательной тяге вентиляторы размещают на уровне грунта, а при вытяжной – над насадкой. В больших градирнях преимущественно используют осевые вытяжные вентиляторы, а в малых градирнях – чаще всего применяются нагнетательные вытяжные вентиляторы.

Вентиляторные градирни обеспечивают наиболее глубокое и устойчивое охлаждение воды. В летнее время они охлаждают воду до температуры более низкой, чем другие охладители. При применении данных градирен возможно регулирование охлаждения воды путем изменения частоты вращения вентиляторов.

По сравнению с башенными градирнями вентиляторные имеют меньшую строительную стоимость и допускают большую плотность орошения, что позволяет более компактно размещать их на территории предприятия.

### **Конструктивные особенности градирен**

Испарительные градирни очень разнообразны. Они могут работать на искусственной и на естественной тяге. Корпуса градирен могут быть различной формы: цилиндрической, конической, квадратной, шестиугольного или кругового сечения в плане. Их изготавливают из дерева, металла, бетона, а в последнее время из пластмассы.

К пассивным рабочим элементам градирен относятся: ороситель, каплеуловитель, водораспределитель; активным рабочим элементом является крыльчатка вентилятора. Рабочими средами в градирнях являются атмосферный воздух и оборотная вода. Наиболее важным узлом любой

градирни является насадка (блок оросителя). Тепло- и массообменные свойства оросителя наряду с аэродинамическими определяют в основном эффективность градирен. Для изготовления оросителей используются различные материалы: дерево, цемент, пластмасса. В последние годы широкое распространение получили пластмассовые уловители. Их преимущество заключается в том, что изделиям из пластмассы можно придать любую форму.

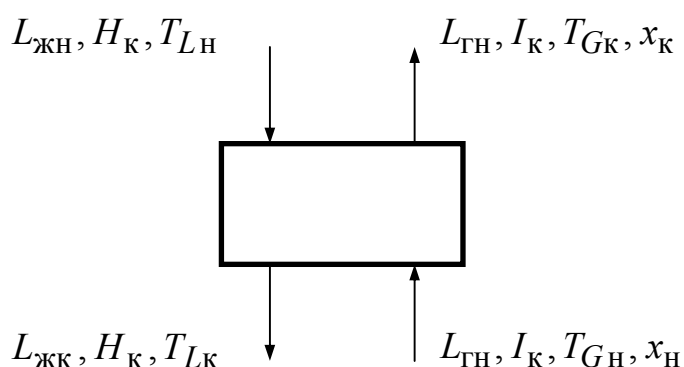
Факторами, определяющими выбор насадки, являются потери давления, общая стоимость и надежность, лучшая теплопередача. Предпочтение отдают насадке с самой низкой стоимостью, лучшей характеристикой теплопередачи и более низкими потерями.

В последнее время все большее распространение находят ситчатые насадки, выполненные в виде перфорированных полиэтиленовых труб, укладываемых упорядоченно или в навал. Каплеуловители применяются в основном на вентиляторных градирнях, но в связи с ухудшающейся экологической обстановкой их стали устанавливать и в градирнях с естественной тягой. Каплеуловители выполняют пластинчатыми или ячеистыми. Основное требование, предъявляемое к каплеуловителям – максимальное снижение выноса капельной влаги с содержащимися в ней загрязнениями.

Одним из условий эффективной и надежной работы градирен является равномерное распределение воды над оросителем.

В нашей стране в промышленных вентиляторных противоточных градирнях применяются разбрызгивающие напорные распределительные устройства, представляющие собой систему стальных трубопроводов, оборудованных пластмассовыми соплами различной конструкции.

### Основы расчета градирен



Материальный и тепловой балансы градирни.

Пусть через градирню проходит определенное количество воздуха объемом  $V_{\Gamma}$ , при этом температура меняется от  $T_{GН}$  до  $T_{GК}$ , влагосодержание от  $x_{Н}$  до  $x_{К}$ , теплосодержание от  $I_{Н}$  до  $I_{К}$ . Количество подаваемой воды -  $V_{Ж}$ . При этом температура изменяется от  $T_{LН}$  до  $T_{LК}$ , а энтальпия от  $H_{Н}$  до  $H_{К}$ .

Уравнение материального баланса будет иметь вид:

$$L_{ГН} + L_{ЖК} = L_{ГК} + L_{ЖН}$$

Массовый расход воздуха на входе в установку:

$$L_{ГН} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{В}$$

Массовый расход сухого воздуха установки:

$$G = \frac{L_{ГН}}{(1 + x_{Н})}$$

Испаренная вода за единицу времени:

$$M = G \cdot (x_{К} - x_{Н})$$

Массовый расход воды на входе в градирню:

$$L_{ЖН} = V_{Ж} \cdot \rho_{Ж}$$

Расход воды на выходе из градирни:

$$L_{ЖК} = L_{ЖН} - M$$

Уравнение теплового баланса градирни:

$$G \cdot I_{Н} + L_{ЖН} \cdot H_{Н} = G \cdot I_{К} + L_{ЖК} \cdot H_{К} + Q_{\text{потерь}}$$

Уравнение теплоотдачи от стенок аппарата в окружающую среду:

$$Q_{\text{потерь}} = \alpha_{\text{ст}} \cdot f_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{ст}} - T_{GН}), \text{ где}$$

$\alpha_{\text{ст}}$  - суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду лучеиспусканием и конвекцией;

$f_{\text{ст}}$  - площадь поверхности аппарата, через которую теряется тепло в окружающую среду;

$T_{\text{ст}}$  - средняя температура поверхности стенки аппарата.