

## Модуль 1

### 1.1 Основные агрегаты высокотемпературной теплотехнологии.

1. Агломерационная установка.
2. Доменные печи.

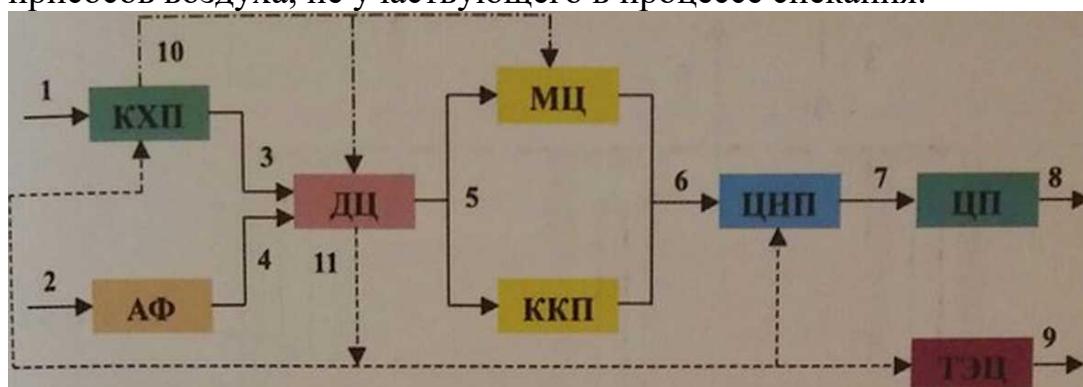
В обжиговых печах осуществляется физико-химическая и термическая переработка материала без изменения агрегатного состояния. Основной характеристикой этих ВТТУ является то что температурный уровень протекающих в них процессов ниже температуры плавления обрабатываемых материалов.

#### 1. Агломерационная установка.

Назначение агломерационной установки: частичное восстановление рудного концентрата и получение твердых пористых кусков. Рудный концентрат представляет собой мелкоизмельченную железную руду с повышенным содержанием железа. Обогащение осуществляется на специальных обогатительных фабриках методом флотации для магнитной сепарации, для чего исходная руда предварительно измельчается. Перерабатывать измельченный материал в доменном производстве (ДЦ) невозможно из-за уноса материала из доменной печи, и поэтому рудный концентрат окусковывается (спекается) в агломерационной установке. Окомкование рудного концентрата уменьшает пылеунос, повышает газопроницаемость слоя в доменной печи и активизирует тепломассообменные процессы.

Агломерационная установка (рисунок 1.2) представляет собой колосниковую решетку, выполненную в виде непрерывной ленты.

Из бункера шихта (рудный концентрат перемешанный с угольной пылью) загружается на аглоленту в виде слоя толщиной 300-350 мм. Шихта проходит через зажигательный пояс, где начинается процесс спекания. Через слой шихты просасывается воздух. Движение воздуха инициируется эксгаустерами (отсасывающими устройствами), оснащенными вакуум-камерами для уменьшения присосов воздуха, не участвующего в процессе спекания.



Структура металлургического комплекса:

КХП - коксохимическое производство, АФ - агломерационная фабрика, ДЦ - доменный цех, МЦ - мартеновский цех, ККП - кислородно-конвертерный передел (конвертерный цех), ЦНП - цех нагревательных печей, ЦП - цех проката, ТЭЦ - теплоэлектроцентраль ( заводская )

коксующийся уголь (топливо), 2 - рудный концентрат, 3 - кокс, 4 - агломерат, 5 - жидкий чугун, 6 - жидкую сталь, 7 - слитки, 8 - готовая продукция (прокат), 9 - электроэнергия, 10 - коксовый газ, 11 - доменный газ

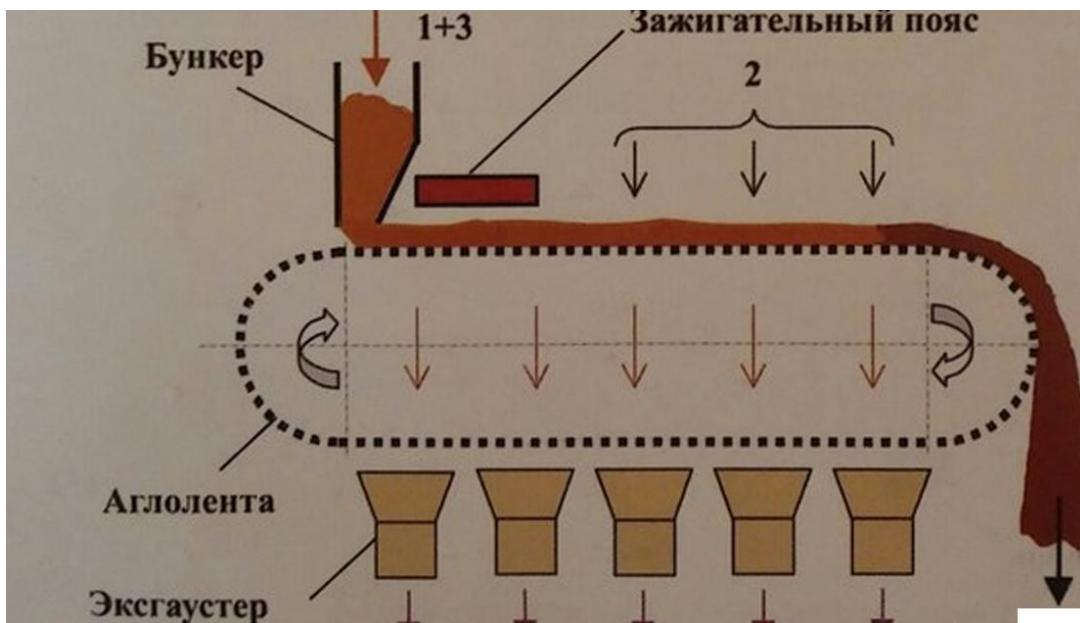


Рисунок. Схема агломерационной установки

1 -угольная пыль, 2 - воздух, 3- рудный концентрат, 4 - агломерат, 5 - продукты горения

В плавильных печах обрабатываемые материалы подвергаются термохимической переработке, сопровождаемой изменением их агрегатного состояния. По обиден схеме, применяемым энергоносителям, организации теплообмена плавильные печи разделяются на:

- шахтные;
- ванные;
- электрические;
- конвертеры.

Печи первых двух групп являются топливными печами, так как источником тепла выступает химически связанный энергия топлива. В электропечах источником тепла является электрическая энергия. В конвертерах тепловая обработка материала осуществляется за счет тепла его химических превращений без затрат топлива (за счет экзотермических реакций в материале).

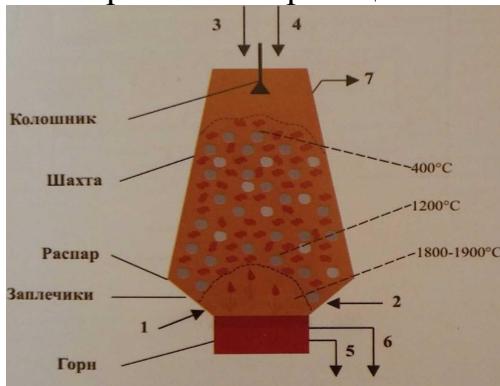


Рисунок- Схема доменной печи

1 - топливо, 2 - окислитель (воздух, кислород),

- 3 - шихта (агломерат, руда, известняк), 4 - кокс,
- 5 - жидкий чугун, 6 - шлак (технологические отходы),
- 7 - доменный газ

## **1.2 Теплоиспользующие установки металлургических предприятий**

Это оборудование и системы, предназначенные для преобразования и использования тепловой энергии в технологических процессах металлургии. Они играют ключевую роль в обеспечении эффективного производства металлов, снижении энергозатрат и повышении производительности.

### **1. Назначение теплоиспользующих установок**

Металлургические процессы требуют больших объёмов тепла — для плавки, нагрева, сушки, обжига, и термической обработки материалов. Теплоиспользующие установки обеспечивают:

Нагрев металлов перед прокаткой или ковкой

Плавку руд и концентратов

Обжиг сырья (известняка, агломерата)

Отжиг и закалку изделий

Сушку шихтовых материалов

### **2. Основные виды теплоиспользующих установок**

#### **1. Доменные печи**

Предназначены для выплавки чугуна из железной руды.

Используют кокс и горячее дутье (воздух, подогретый до 1100–1300 °C).

Мощные потребители тепла.

#### **2. Сталеплавильные печи**

**Мартеновские печи** (устаревшие, вытесняются новыми технологиями)

**Электродуговые печи** — используют электрическую дугу для плавки металлома.

**Конвертеры** (кислородные, бессемеровские) — переработка чугуна в сталь с использованием тепла реакции окисления примесей.

#### **3. Нагревательные и термические печи**

Предназначены для нагрева заготовок перед горячей обработкой (прокат, ковка).

Типы: камерные, шахтные, колпаковые, проходные.

Работают на газе, мазуте или электричестве.

#### **4. Обжиговые печи**

Используются для обжига известняка, руды, агломерата.

Типы: вращающиеся, шахтные.

#### **5. Сушильные установки**

Применяются для сушки концентратов, агломерата, кокса.

Используют утилизированное тепло отходящих газов.

### **3. Источники тепловой энергии**

**Топливо:** природный газ, мазут, кокс, уголь.

**Электроэнергия** — для дуговых, индукционных печей.

**Отходящее тепло:** утилизация тепла дымовых газов и технологических потоков.

#### **1.3 Установки для регенерации тепла отходящих газов**

Наряду с регенеративным использованием тепла отходящих газов, для подогрева компонентов горения или предварительного нагрева материала в высокотемпературной теплотехнологии находит применение схема внешнего (разомкнутого) теплоиспользования. В схеме внешнего теплоиспользования за счет тепла отходящих газов вырабатывается дополнительная продукция, в основном, энергоносители (горячая вода, пар), отдаваемые внешнему потребителю.

Энергоносители в схеме с внешним теплоиспользованием вырабатываются в специальных парогенераторах на отходящих газах (ПГОГ), которые в литературных источниках иногда называются котлами-утилизаторами (КУ).

Следует отметить, что называть ПГОГ «котлами – утилизаторами» не совсем корректно. С таким же основанием котлами - утилизаторами можно было бы назвать энергетические парогенераторы, так как за пределами топки (зона сжигания топлива) тепло продуктов горения усваивается, т.е. утилизируется, радиационными и конвективными поверхностями нагрева.

Характерным отличием ПГОГ от энергетических котлов является отсутствие отдельной топки, в которой сжигается топливо, в то же время в ПГОГ может использоваться не только физическое тепло отходящих газов, но и химически связанное тепло, если в газах имеются горючие компоненты (например, конвертерный газ). В этом случае в ПГОГ устанавливаются специальные дожигательные устройства. Роль и значение ПГОГ постоянно возрастает, особенно в условиях строгой экономии топливно-энергетических ресурсов. Повышение роли ПГОГ в энергетическом хозяйстве промышленного предприятия связано также с укрупнением высокотемпературных агрегатов, внедрением новых прогрессивных

высокофорсированных технологий. Указанные тенденции ведут к увеличению энергетического потенциала отходящих газов и позволяют вырабатывать до 250-300 тонн пара в час, что сопоставимо с производительностью энергетических парогенераторов.

ПГОГ, выпускаемые промышленностью, вырабатывают пар следующих параметров:

- давление - 1,5 МПа, насыщенный пар;
- давление - 4-4,5 МПа, температура – 440-450°C.

К недостаткам существующих ПГОГ следует отнести ограниченные возможности применения пара таких параметров. Вырабатываемый в ПГОГ пар может использоваться для привода вспомогательного оборудования (насосов, вентиляторов, силовых установок), однако мощность этих установок на промышленном предприятии ограничена. В основном пар ПГОГ используется для покрытия отопительной нагрузки (число часов использования 3000-4500 часов в год).

При снижении отопительной нагрузки, которое имеет место при повышении температуры наружного воздуха, степень использования тепла отходящих газов уменьшается, что снижает реальную годовую экономию топлива в 2-3 раза. Одновременно использование пара ПГОГ для покрытия отопительной нагрузки отрицательно сказывается на эффективности работы ТЭЦ, так как он заменяет собой пар теплофикационных отборов турбины (уменьшение выработки электроэнергии по теплофикационному циклу, перерасход топлива на ТЭЦ из-за увеличения пропуска пара через конденсатор).

Большая продолжительность рабочей кампании (7500- 8000 часов работы агрегата в межремонтный период), увеличение тепловой мощности и производительности высокотемпературных теплотехнологических установок определяют необходимость повышения параметров пара до энергетических (10-14 МПа, 540-560°C). Пар таких параметров может обеспечить работу паровых турбин мощностью десятки и даже сотни МВт.

Оптимальные параметры и направления использования вырабатываемого пара должны определяться на основе технико-экономических расчетов по минимальным расчетным затратам.

Годовая экономия условного топлива в схеме внешнего теплоиспользования равна:

$$B_T = n \frac{Q_u (1 - \beta)}{\eta_{pg}^3 29300}, \text{ кг.у.т./год,} \quad (1.70)$$

где n - число часов использования ПГОГ;

Qi - тепло отходящих газов, использованное в ПГОГ;

β - коэффициент, учитывающий ухудшение работы ТЭЦ при замене пара отборов турбины (0,2-0,4);

$\eta_{pg}^3$  - энергетический к.п.д. замещающего парогенератора.

При получении пара энергетических параметров коэффициент β становится равным нулю, и экономия топлива максимальна.

Срок окупаемости капитальных вложений в ПГОГ рассчитывается по формуле:

$$T_o = \frac{K}{nD_{ПГ}(S_{ТЭЦ} - S_{ПГОГ})}, \text{год} \quad (1.71)$$

где  $D_{ПГ}$  - паропроизводитель ПГОГ;

$S_{ТЭЦ}$ ,  $S_{ПГОГ}$  - себестоимость пара, вырабатываемого, соответственно, на ТЭЦ и в ПГОГ. Нормативный срок окупаемости ПГОГ принимается таким же, как и для энергетических парогенераторов ( $T_n=8$ ,  $E_n=0,12$ ).

В настоящее время в промышленности используется большое количество ПГОГ различной мощности и назначения. Единой классификации ПГОГ нет.

Наиболее часто используемые типы ПГОГ:

- КУ (например, КУ-100, котел-утилизатор с пропуском  $100 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$  отходящих газов);
- УКЦМ (УКЦМ-25/40, утилизационный котел цветной металлургии производительностью 25 т/час и давлением 4 МПа);
- УСТК (УСТК-60, установка сухого тушения кокса с объемным расходом газов  $60 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ );
- СКГ (СКГ-100, охладитель конвертерного газа конвертера емкостью 100 тонн).

Несмотря на большое разнообразие, ПГОГ могут быть разделены на две классификационные группы:

- ПГОГ низкотемпературного включения ( $t_g' < 800-900^\circ\text{C}$ );
- ПГОГ высокотемпературного включения ( $t_g' > 110-1200^\circ\text{C}$ ).

Такое деление с границей в  $1000^\circ\text{C}$  обусловлено следующими причинами:

- отличием условий теплоотдачи от газов (при температуре менее  $800^\circ\text{C}$ , в основном, конвективный теплообмен, более  $1000^\circ\text{C}$  - лучистый теплообмен);
- изменением агрегатного состояния уноса (при температуре менее  $900^\circ\text{C}$  - твердые частицы, более  $1000^\circ\text{C}$  - расплавленный унос, ведущий к шлакованию поверхностей нагрева).

Класс ПГОГ определяет последовательность включения теплоиспользующих установок в структурной схеме ВТТУ .

В одной схеме ПГОГ устанавливается после рабочей камеры. Если температурный уровень в рабочей камере превышает  $1000^\circ\text{C}$ , то устанавливается ПГОГ высокотемпературного включения (высокотемпературный ПГОГ), при меньшей температуре - низкотемпературного включения (низкотемпературный ПГОГ).

В другой схеме высокотемпературный ПГОГ устанавливается непосредственно после рабочей камеры с высоким температурным уровнем, а в третьей схеме низкотемпературному ПГОГ предшествует нагреватель дутья (НД), понижающий температуру отходящих газов перед ПГОГ.

## 1. ПГОГ низкотемпературного включения

Основной теплотехнологической особенностью низкотемпературных ПГОГ является их включение в хвостовой части сравнительно низкотемпературных обжиговых и нагревательных печей. Для печей с высокой температурой отходящих

газов (например, мартеновских печей) парогенератору предшествует предвключенный рекуператор или регенератор.

Низкий уровень температур отходящих газов  $t_g'$  определяет соответствующий порядок размещения поверхностей нагрева ПГОГ.

Начальная температура газов  $t_g'$  и конечная температура перегретого пара  $t_{pe}$  близки по своим значениям (500-700°C и 400-450°C соответственно), поэтому первым по ходу газов устанавливается пароперегреватель (в энергетическом парогенераторе сначала испарительные поверхности).

Конечное охлаждение газов в ПГОГ равно:

$$t_g'' = t_s + \Delta t^M - \frac{D(h' - h_{pw})}{V_g - C_g}, \quad (1.72)$$

где  $D$  - паропроизводительность ПГОГ, кг/с;

$\Delta t^M$  - минимальная разность температур газов и рабочего тела, К;

$\sum V_g$  - объем отходящих газов, поступающих в ПГОГ, м<sup>3</sup>/с;

$C_g$  - теплоемкость отходящих газов, кДж/м<sup>3</sup>К;

$h'$ ,  $h_{pw}$  - энталпия кипящей и питательной воды соответственно, кДж/кг.

Экономически допустимой считается минимальная разность температур  $\Delta t^M$  равная 80-100°C. Третье слагаемое характеризует дополнительное охлаждение газов в водяном экономайзере. Так как параметр  $D/\sum V_g$  в ПГОГ намного меньше, чем в энергетическом парогенераторе (0,15-0,25 против 0,9-1,0), то количество усваиваемого тепла в экономайзере будет незначительно. В связи с этим в некоторых конструкциях ПГОГ при небольшом объеме отходящих газов водяной экономайзер исключается, что позволяет упростить схему ПГОГ при практически неизменной экономичности. Температура уходящих газов из ПГОГ при включенном экономайзере равна 175-225°C, при отсутствии водяного экономайзера - 225-275°C.

Коэффициент использования тепла отходящих газов в ПГОГ низкотемпературного включения определяется по формуле:

$$\eta_H = \frac{Q_H}{Q_P} \approx \frac{t_g' - t_g''}{t_g'} \approx 0,6 \quad 0,7, \quad (1.73)$$

где  $Q_H$ ,  $Q_P$  - количество использованного и располагаемого тепла в ПГОГ.

К.п.д. низкотемпературных ПГОГ меньше к.п.д. энергетических парогенераторов (0,86-0,94). Разность же температур между газами и рабочим телом невелика, что определяет необходимость развития поверхностей нагрева.

Для интенсификации конвективного теплообмена со стороны газов и уменьшения поверхности нагрева необходимо:

- использовать шахматное расположение пучков труб (коэффициент  $n$  для шахматного пучка в формуле 1.68 равен 0,6-0,64);
- уменьшать диаметры нагревательных труб (32, 26, 20 мм).

Реализация этих решений имеет следующие недостатки:

- увеличивается гидравлическое сопротивление газового тракта, что ведет к росту потребления электроэнергии дымососами (до 10-15% мощности ПГОГ) по сравнению с энергетическими парогенераторами (на порядок выше);
- при наличии в отходящих газах большого количества уноса имеет место занос поверхностей нагрева при продольном обтекании труб, ведущий к ухудшению теплообмена и к увеличению гидравлического сопротивления газового тракта;
- увеличивается гидравлическое сопротивление пароводяного тракта.

Большое гидравлическое сопротивление труб и малые тепловые нагрузки (из-за малого температурного перепада) определяют необходимость организации принудительного движения воды и пароводяной смеси в испарительных поверхностях. Поэтому ПГОГ низкотемпературного включения выполняются:

- прямоточно-сепараторными (ПГОГ-ПС);
- с многократной принудительной циркуляцией (ПГОГ- МПЦ).

В прямоточно-сепараторных парогенераторах устанавливается двухступенчатый паросепаратор, обеспечивающий высокое качество вырабатываемого пара.

Парогенератор ПГОГ – ПС применяется при постоянном и переменном режиме работы ВТТУ.

Особенностями работы такого ПГОГ являются:

- меньшие требования к качеству питательной воды, так как осуществляется непрерывная продувка, уменьшающая опасность образования накипи на трубах испарительной системы из-за увеличения солесодержания воды в процессе образования пара;
- в испарительных поверхностях (ИП) испаряется 80 % питательной воды. Пароводяная смесь из ИП поступает в двухступенчатый паросепаратор, где происходит разделение пара и воды. Насыщенный пар поступает в пароперегреватель, а продувочная (котловая) вода поступает через дроссельный клапан (ДК) в расширитель продувки (РПр). В дроссельном клапане происходит снижение давления продувочной воды, и она оказывается перегретой по отношению к температуре кипения воды при более низком давлении (после ДК). В результате в РПр вода вскипает с образованием вторичного пара низкого давления. При этом солесодержание продувочной воды возрастает;
- с целью снижения потерь тепла с остаточной (после РПр) продувочной водой на линии питательной воды установлен охладитель продувки (ОП).

В ПГОГ с многократной принудительной циркуляцией котловой воды в испарительном контуре устанавливается специальный циркуляционный насос (НЦ). Для уменьшения гидравлического сопротивления труб малого диаметра испарительные поверхности делятся на 2-3 параллельные секции. В связи с этим мощность циркуляционных насосов уменьшается в 6-9 раз.

В испарительных поверхностях при однократном прохождении воды испаряется от 20 до 30% воды. Поэтому для полного испарения вода должна пройти 3-5 раз по циркуляционному контуру, образованному барабаном, НЦ и испарительными поверхностями (кратность циркуляции равна 3-5). Для исключения образования

накипи на трубах испарительных поверхностей применяется продувка барабана парогенератора.

ПГОГ низкотемпературного включения экономически целесообразно использовать при пропуске газов более  $50-60*10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При меньшем количестве отходящих газов рациональнее использовать централизованный ПГОГ на группу однородных ВТТУ.

## 2 ПГОГ высокотемпературного включения

Высокотемпературные ПГОГ обычно включаются непосредственно после рабочей камеры ВТТУ и представляют собой ее органическое продолжение.

К особенностям работы высокотемпературных ПГОГ относится:

- радиационный теплообмен в первых по ходу газов поверхностях нагрева ( $t_g' > 1100^\circ\text{C}$ );
- жидкотекущее состояние технологического уноса.

Первое требует развития газового объема (газ излучает объемом), второе исключает возможность применения в зоне высоких температур конвективных поверхностей (для ускорения газового потока необходимо пережимать трубами проходное сечение газохода) из-за шлакования.

В связи с этим, первым элементом ПГОГ по ходу газов является камера радиационного охлаждения этих газов до температуры  $800-850^\circ\text{C}$ . При этих температурах происходит грануляция (затвердевание) жидкого уноса, поэтому камера радиационного охлаждения называется также радиационным гранулятором (РГр).

Таким образом, парогенератор на высокотемпературных отходящих газах по конструкции и общей схеме использования тепла близок к энергетическим парогенераторам с естественной циркуляцией. Включение в схему ПГОГ воздухоподогревателя позволяет осуществить подогрев дутья для ВТТУ и получить экономию топлива по варианту замкнутого теплоиспользования и одновременно уменьшить температуру уходящих из ПГОГ газов до  $150 - 180^\circ\text{C}$ . В случае, если отходящие газы содержат горючие компоненты, конструкция ПГОГ дополняется (усложняется) дожигательными устройствами.

К недостаткам высокотемпературных ПГОГ относится зашлаковывание подводящих газоходов, задние стенки радиационного гранулятора и конвективных поверхностей нагрева при большой полидисперсности уноса (крупные частицы не успевают гранулироваться до пароперегревателя).

Снижение шлакования может быть достигнуто:

- смешением отходящих газов с воздухом для понижения температуры газов;
- улавливанием уноса до парогенератора (установка шлакосепаратора).

На крупных ВТТУ в тепловую схему включается также система принудительного охлаждения основных элементов рабочей камеры, так называемое кессонирование. Перевод кессонов с водяного охлаждения на испарительное позволяет, помимо

повышения стойкости огнеупорной кладки, вырабатывать дополнительное количество пара.

Система испарительного охлаждения может работать как с естественной циркуляцией, так и с принудительным движением пароводяной смеси (например, с многократной принудительной циркуляцией).

Кроме тепла отходящих газов, для выработки пара и горячей воды может использоваться физическое тепло технологического продукта и шлака.

Так, например, кокс после коксовых батарей для исключения его горения на воздухе охлаждается в установках сухого тушения кокса (УСТК). Охлаждение кокса осуществляется инертными газами (продуктами горения самого же кокса). Нагретые инертные газы затем используются для выработки пара или горячей воды.

## 1.4 Дистилляционные и ректификационные установки

Это аппараты, предназначенные для разделения жидких смесей на компоненты путём **испарения и конденсации**, основываясь на различии температур кипения составляющих. Они широко применяются в химической, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности.

### 1. Дистилляционные установки

#### Что такое дистилляция?

**Дистилляция** — это процесс испарения жидкости с последующей конденсацией её пара. При этом более летучий компонент испаряется первым, отделяясь от менее летучих.

#### Принцип работы:

Смесь нагревают до температуры кипения.

Пар, обогащённый летучими компонентами, поднимается вверх.

Пар направляется в **конденсатор**, где охлаждается и снова становится жидкостью.

Полученная жидкость — это дистиллят.

#### Применение:

Получение очищенной воды

Производство технических и пищевых спиртов

Разделение жидких углеводородов (в нефтехимии)

Получение растворителей и химических веществ

## 2. Ректификационные установки

### Что такое ректификация?

**Ректификация** — это многократная (многоступенчатая) дистилляция, осуществляемая в специальных **ректификационных колоннах**. Позволяет более точно и эффективно разделять сложные смеси.

### Основные части ректификационной установки:

**Колонна** с тарелками или насадкой

**Ребойлер** (кипятильник снизу)

**Конденсатор** (вверху для охлаждения пара)

**Отвод дистиллята** (головная фракция)

**Слив кубового остатка** (тяжёлые компоненты)

### Как это работает:

Жидкость нагревается внизу колонны.

Лёгкие фракции поднимаются вверх, конденсируются и возвращаются частично вниз как **флегма**, обеспечивая тепломассообмен.

В колонне постепенно происходит разделение компонентов по фракциям.

Вверху собирается **лёгкая фракция**, внизу **-тяжёлая**.

### Применение:

**Нефтепереработка** (получение бензина, керосина, дизеля)

**Производство этанола**

**Химическая промышленность** — выделение чистых веществ

**Фармацевтика и пищевые технологии**

### Примеры установок:

Тип установки	Назначение	Пример использования
---------------	------------	----------------------

Простая дистилляция      Разделение двухкомпонентной смеси      Опреснение воды

Ректификационная колонна      Точное разделение сложных смесей      Нефтепереработка (установка АВТ)

Вакуумная ректификация      Разделение при пониженной температуре      Производство термочувствительных веществ

## **1.5-6 Энергетические характеристики теплотехнологических процессов и установок среднего и низкотемпературного уровня.**

Теплоиспользующие установки на промышленных предприятиях (ТИУ) составляют широкий класс установок и аппаратов, в основе которых лежит использование тепла различных теплоносителей.

Многообразие принципов работы и конструкций теплоиспользующих установок и агрегатов обусловлено тем, что они используются практически на каждом предприятии и в большинстве технологических процессах.

Так, например, при термической переработке (кrekинге) сернистой нефти нагрев, разложение и преобразование нефтяного сырья осуществляется в специальных теплообменных установках и реакционных аппаратах:

- катализический крекинг (разложение, пиролиз нефти) - трубчатая или нагревательно-реакционная печь, ректификационная колонна (крекинг-колонна), теплообменники, регенераторы, холодильники;
- катализический риформинг (ароматизация бензиновых фракций) - насадочные и безнасадочные реакторы, абсорбераы и холодильники;
- катализическая изомеризация (повышение октанового числа бензиновых фракций) - реакторы, колонны, холодильники;
- гидроочистка (разрушение серосодержащих соединений) - реакторы, теплообменники, абсорбераы, холодильники.

Классификация ТИУ по назначению рассмотрена во введении (теплообменные аппараты, сушильные и холодильные установки и т.д.).

Существуют и другие виды классификации. Так, например, ТИУ могут классифицироваться:

а) по виду теплообмена установке:

- 1) рекуперативные,
- 2) регенеративные,
- 3) смесительные;

б) по принципу действия:

- 1) аппараты непрерывного действия,
- 2) аппараты периодического действия;

в) по изменению агрегатного состояния теплоносителей и т.д.

В качестве теплоносителя в ТИУ могут использоваться различные газообразные и жидкие вещества, твердые тела. Наиболее широкое применение находят: водяной пар, горячая вода, продукты горения топлива, масла, различные растворы солей, жидкие расплавленные металлы и взвешенные в газовом потоке твердые частицы. Каждый теплоноситель обладает достоинствами и недостатками, определяющими области границы их применения.

Водяной пар, являющийся одним из основных и наиболее часто применяемых теплоносителей, обладает следующими достоинствами:

- возможность транспортировки теплоносителя на большие расстояния;
- высокий коэффициент теплоотдачи при конденсации теплоносителя;
- выделение при конденсации скрытой теплоты парообразования, позволяющей уменьшить расход теплоносителя;
- конденсация при постоянной температуре, что позволяет осуществлять стационарный (по температуре) технологический режим.

К недостаткам водяного пара как теплоносителя следует отнести необходимость поддержания постоянного давления.

Горячая вода как теплоноситель имеет относительно высокий коэффициент теплоотдачи и применяется, в основном, для низкотемпературных процессов (например, для целей отопления). По сравнению с водяным паром горячая вода имеет более низкую температуру, величина которой лимитируется давлением воды (ограничивается температурой кипения, зависящей от давления).

Продукты горения топлива до любой температуры при малом давлении газов. К недостаткам продуктов горения топлива относится низкий коэффициент теплоотдачи, определяющий большие поверхности теплообмена (громоздкость аппарата), а также невозможность транспортировки газов на большие расстояния.

Область применения других теплоносителей определяется их температурными характеристиками (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Температурные характеристики теплоносителей

Наименование теплоносителя	Температура, $^{\circ}\text{C}$	
	Отвердения	Кипения
1 Минеральные масла	0-15	215
2 Дифенил ( $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$ )	69,5	255
3 Глицерин	-17,9	290
4 Кремнийорганические соединения	-(30÷40)	440
5 Натрий	97,8	883

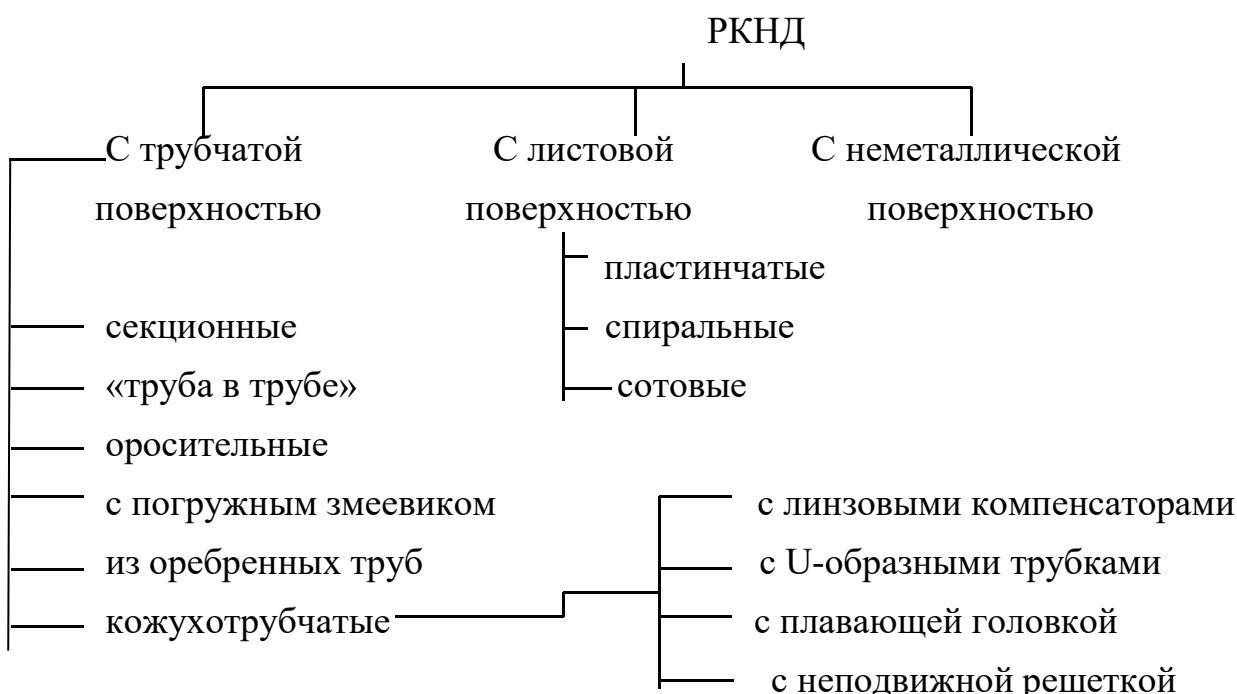
Теплоносители, приведенные в таблице, в технической литературе называются высокотемпературными теплоносителями (ВТТ).

Требования, предъявляемые к ВТТ:

- высокая температура кипения;
- большой коэффициент теплоотдачи;
- низкая температура отвердевания;
- малая химическая активность с металлом аппарата (антикоррозийные свойства);

- нетоксичность (безвредность);
- термическая стойкость;
- дешевизна.

В качестве теплоносителей могут использоваться химически изменяющиеся вещества, которые при диссоциации и рекомбинации существенно интенсифицируют теплообмен. Так, например, при разложении 1 кг хлористого аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  до  $\text{HCl}$  поглощается 3300 кДж тепла, что в 1,5 раза больше, чем скрытая теплота парообразования водяного пара. В качестве теплоносителей могут использоваться также холодильные агенты, кипящие при температурах ниже 0°C (например, фреоны).



Каждое технологическое производство предъявляет особые требования к организации теплообмена, и это определяет разнообразие конструкций РКНД. Конструкции двух типов кожухотрубчатых бывают двух видов: подогреватели непрерывного действия с неподвижной нижней решеткой и с плавающей головкой.

Трубные решетки РКНД в первом случае неподвижно закреплены между фланцами. Трубы нагревательной системы закреплены в отверстиях трубных досок сваркой или методом вальцовки. Во втором случае нижняя трубная доска заменена плавающей головкой, играющей роль поворотной камеры, что позволяет реализовать двухходовой (по количеству ходов второго теплоносителя) принцип теплообмена.

Греющий теплоноситель в большинстве случаев подается в межтрубное пространство. Регулирование тепловой нагрузки осуществляется за счет изменения расхода и параметров греющего (первого) теплоносителя.

Для интенсификации теплообмена со стороны теплоносителя с наименьшим коэффициентом теплоотдачи  $\alpha$  может использоваться оребрение поверхности нагрева в виде игл, спиралей, плавников и т.д. При большой запыленности теплоносителя (например, при использовании продуктов сгорания твердого топлива) применение оребрения приводит к заносу поверхности и снижению интенсивности теплообмена.

Пластинчатые и спиральные теплообменники выполнены из листовой стали.

Неметаллические рекуператоры выполняются из огнеупорных материалов (шамот, динас) в виде керамических фасонных изделий. Необходимая поверхность нагрева керамических РКНД набирается за счет соединения отдельных элементов между собой, при этом, чем больше требуемая поверхность нагрева, тем больше высота РКНД. Это связано с тем, что из-за малой механической прочности керамических изделий высота элементов ограничивается до 1-1,2 м.

К недостаткам керамических РКНД следует отнести сложность конфигурации (особенно хвостовика) элементов, хрупкость поверхностей нагрева, низкую газоплотность РКНД в местах соединения элементов между собой. Вместе с тем основным достоинством керамических РКНД является возможность подогрева нагреваемого теплоносителя (НТ) до высоких температур, значительно превышающих температуру подогрева теплоносителя в металлических РКНД.

## 2 Рекуперативные аппараты периодического действия (РКПД)

К теплообменникам РКПД относятся водонагреватели - аккумуляторы и различные аппараты (варочные колы, автоклавы, конверторы и др.). Основным назначением РКПД является нагрев обрабатываемого технологического материала до определенной температуры, и иногда выдержка материала при заданной температуре в течение определенного времени в соответствии с технологическими требованиями (например, для осуществления в материале физико-химических преобразований).

Водонагреватели - аккумуляторы (ВА) представляют собой сосуды большой емкости с паровым или водя подогревом.

ВА применяются в системах горячего водоснабжения с периодическим расходом большого количества горячей воды. Так, например, на 1 промышленном предприятии по окончании работы (смены) начинают работать душевые. В этот период в течение 20-30 минут расход горячей воды на предприятии резко возрастает. Вода для этих целей подогревается в ВА в течение 4-5 часов.

Применение ВА в 6-10 раз уменьшает расход греющего теплоносителя в момент пикового потребления горячей воды, что обеспечивает более стабильный (стационарный) режим работы источника тепла.

В варочных котлах (ВК) осуществляется нагрев и выдержка технологического материала в течение определенного времени. При температурах менее 100°C используются открытые ВК, если в процессе не выделяются вредные газы. При высоких температурах и давлениях и при выделении вредных газов используются автоклавы.

В открытых варочных котлах технологический материал загружается на ложное дно (решетку) с размером ячеек меньше размеров обрабатываемых кусков (частиц). Обогрев материала может осуществляться по одной из схем:

- а) схема «с острым паром»;
- б) схема «с глухим паром»;
- в) схема «с паровой рубашкой».

При большой емкости варочных котлов могут использоваться аппараты с выносными подогревателями.

Технологическая жидкость, необходимая для переработки материала, нагревается в выносном подогревателе паром, который направляется затем в паровую рубашку, где полностью конденсируется, отдавая скрытую теплоту парообразования.

### 3 Конструктивный и поверочный расчет рекуперативных теплообменников

К основным требованиям, предъявляемым к рекуперативным подогревателям, относятся:

- высокая тепловая производительность;
- обеспечение заданных технологических условий и параметров;
- простота конструкции;
- экономичность и надежность;
- малый вес аппарата (малая материалоемкость);
- удобство монтажа и ремонта;
- длительный срок эксплуатации;
- соответствие требованиям охраны труда;
- эстетичность.

О сложной взаимосвязи указанных требований можно судить по экономическому фактору. Так, например, в кожухотрубчатых рекуператорах уменьшения поверхности нагрева (то есть металлоемкости и веса аппарата) можно достичь за счет уменьшения диаметра труб, увеличения скорости движения теплоносителя, уменьшения давления теплоносителей, увеличения разности температур теплоносителей. Однако каждый из этих способов ведет к изменению капитальных вложений эксплуатационных расходов.