Промышленные способы подвода и отвода теплоты в химической аппаратуре

Классификация промышленных способов подвода и отвода тепла. Требования, предъявляемые к теплоносителям, их сравнительные характеристики и области применения. Определение требуемого расхода теплоносителей

- Теплоносители играют важную роль в нефтехимической промышленности, и без их участия не возможно протекание большинства физико-химических процессов.
- Вещества (среды), передающие теплоту нагреваемой среде, называются ***теплоносителями.***

Вещества, участвующие в тепловых процессах, - теплоносители:

- **Классификация теплоносителей:**

- по назначению;

- **Греющий теплоноситель;**
- **Охлаждающий теплоноситель;**
- **Промежуточный тепло- и хладоноситель;**
- **Хладоагент**

- по агрегатному состоянию;

- **Однофазные;**
- **Многофазные.**

- диапазону рабочих температур.

- **Высокотемпературные промышленные печи в диапазоном от 400 до 2000^{0}С;**
- **Среднетемпературные 150-700^{0}С;**
- **Низкотемпературные (отопление, вентиляция, кондиционирование, теплонасосные, холодильные) -150+150^{0}С;**
- **Криогенные (разделение воздуха)ниже -150^{0}С**

По диапазону рабочих температур

- Дымовые или топочные газы 1500С
- Капельные жидкости (температура кипения больше 200С)
- мин.масла, расплавы солей, жидкие металлы;
- Водяной пар (до 650С), вода (до 375С) и воздух (до 100С);
- Температура кипения при давлении 0,1МПа не превышает 0С, холодильные агенты – сжиженные газы.

Требования к теплоносителям:

- Обеспечение высокой интенсивности теплопередачи
- Высокие значения теплоемкости, теплоты парообразования
- Низкая вязкость
- Низкая токсичность, негорючесть, термостойкость, низкое корродирующее действие
- Температурный интервал нагревания, необходимость его регулировани
- Низкая стоимость и возможность транспортировки.

Основные проблемы при выборе теплоносителя

Рабочий диапазон температур

Не существует теплоносителя, способного перекрыть весь диапазон от 0 до3000 Кельвина. У каждого вида теплоносителя есть свой рабочий диапазон, есть диапазон, в котором теплоноситель может находиться небольшое время без существенной деградации.

Однако существуют терможидкости с расширенным рабочим диапазоном, который недостижим для воды, силиконовых масел и других классических теплоносителей.

Теплоёмкость

Определяет количество теплоносителя, которое необходимо прокачивать в единицу времени для переноса заданного количества тепла.

Основные проблемы при выборе теплоносителя

Коррозионная активность

Ограничивает применение некоторых теплоносителей, заставляет добавлять ингибиторыОграничивает применение некоторых теплоносителей, заставляет добавлять ингибиторы коррозии (классический пример - гликолевые антифризы для автомобилей), накладывает ограничения на материал конструкции.

Вязкость

Косвенно влияет на скорость прокачки, на потери в трубопроводах, на коэффициент теплопередачи в теплообменниках. Может изменяться в очень широких пределах при изменении температуры.

Смазывающая способность

Накладывает ограничения на конструкцию и материалы циркуляционного насоса и прочих механизмов, соприкасающихся с теплоносителем.

Безопасность

Температура вспышкиТемпература вспышки, температура воспламененияТемпература вспышки, температура

Типовые теплоносители

- Вода и пар являются наиболее безопасными теплоносителями, особенно в процессах с легковоспламеняющимися и взрывоопасными продуктами.
- Вода со своей способностью накапливать при нагревании и отдавать при остывании большое количество тепла является прекрасным теплоносителем. Она обладает хорошей текучестью и потому легко циркулирует по системе

Нагревание водяным паром

Наиболее удобный и распространенный теплоноситель. Его легко транспортировать к месту потребления, а централизованное производство водяного пара в ТЭЦ или в крупной котельной позволяет наиболее эффективно использовать тепло топлива, совмещая производство водяного пара с выработкой электроэнергии (ТЭЦ).

Достоинствами водяного пара как теплоносителя являются

высокий коэффициент теплоотдачи при его конденсации,

Большие значение скрытой теплоты конденсации, возможность использования конденсата .

Нагревание водяным паром

Достоинства насыщенного водяного пара как теплоносителя:

- **Высокой коэффициент теплоотдачи 5000-15000 Вт/м$^{2\cdot}$ К**
- **Большое количество тепла, выделяющегося при конденсации 1 кг пара – 2260 -1990 кДж при Р=0,1 -1,2 МПа**
- **Равномерность обогрева, т.к. при конденсации температура пара остается постоянной**
- **Возможность регулирования температуры нагревания путем изменения давления пара**
- **Возможность транспортировки пара по трубопроводам на большие расстояния**

Основной недостаток насыщенного пара - значительное возрастание давления с увеличением температуры

Нагревание водяным паром

Так, при абсолютном давлении *P* = 0,98 МПа температура конденсации пара равна 179 С, и, следовательно, использовать его можно при нагреве до температуры не выше 160— 170 °С.

Для нагрева среды до 200 °С требуется насыщенный пар подавать под давлением 2,5 — 3,0 МПа

«Острый» пар

При нагревании «острым» паром водяной пар вводится через барботеры в нагреваемую среду и смешивается с ней. Способ применяется, когда допустимо смешение нагреваемой среды с паровым конденсатом.

Расход «острого» пара D_n, кг/с определяется из уравнения теплового баланса:

$$D_n(I_ï - ñ_â t_2) = G_c(t_2 - t_1) + Q_{ÏÎÒ}$$

G – расход нагреваемой жидкости, кг/с

с - средняя удельная теплоемкость нагреваемой среды, Дж/кг·К

t_1, , t_2 - начальная и конечная температуры нагреваемой среды, °С

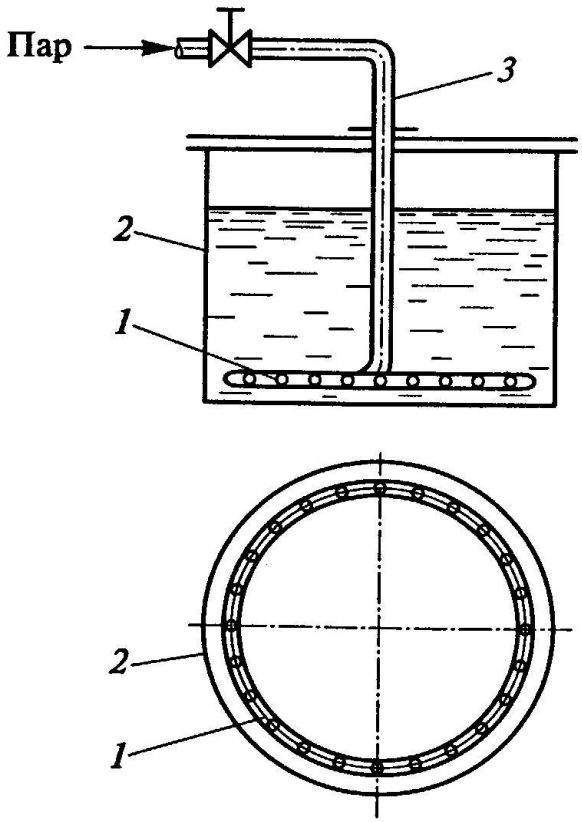
Qпот – потери тепла от стенок в окружающую среду, Вт (для аппаратов, находящихся в помещении, $Q_{пот}$ = 3 – 5 % от всей подводимой теплоты)

I_n – удельная энтальпия греющего пара, Дж/кг

св - удельная теплоемкость конденсата, Дж/кг·К

«Острый пар»

Схема смесительного теплообменника с барботером



1 – барботер;

2 – корпус;

3 - паропровод

При нагревании «глухим» паром нагреваемая жидкость не соприкасается с паром и отделена от него стенкой теплообменного аппарата.

Используют, в основном, насыщенный водяной пар с высоким коэффициентом теплоотдачи, имеющий большую скрытую теплоту конденсации. Применение перегретого пара нецелесообразно из-за низкого коэффициента теплопередачи и небольшой величины теплоты перегрева.

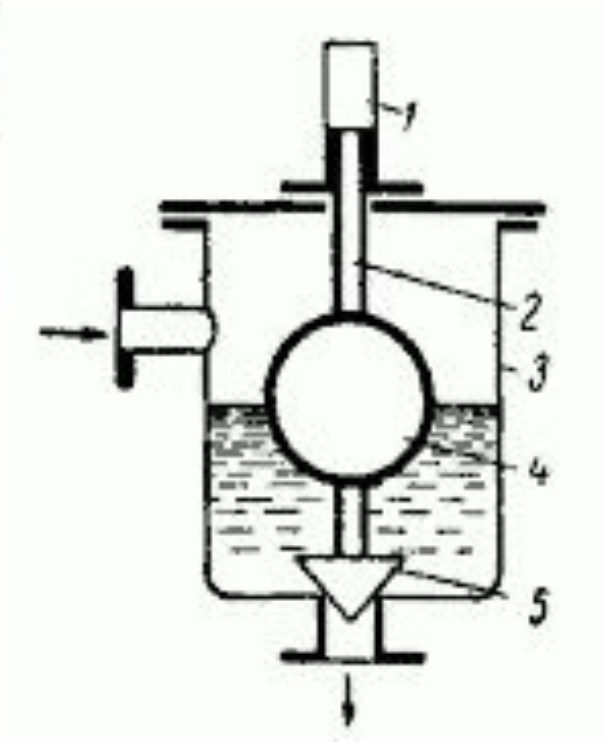
Температуру стекающего конденсата принимают равной температуре пара.

Расход глухого пара определяют по формуле:

$$D_n = \frac{G_c(t_2 - t_1) + Q_{пот}}{I_n - I_k}$$

***Jк* – удельная энтальпия конденсата, Дж/кг**

Для отвода парового конденсата без выпуска пара применяют специальные устройства – конденсатоотводчики, работающие непрерывно или периодически (с открытым или закрытым поплавком).



При неполной конденсации пара в теплообменнике часть его будет уходить с конденсатом, расход пара повышается.

1-направляющий стакан

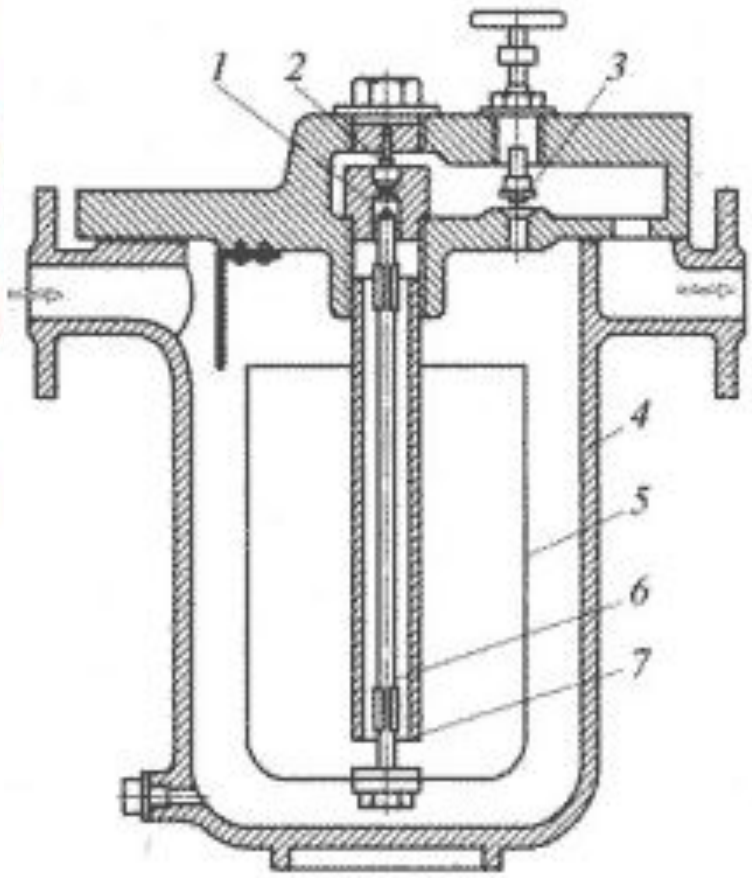
2. Стержень

3. Корпус

4. Поплавок

5. Клапан

Конденсационный горшок с открытым поплавком



1-игольчатый клапан;

2-обратный клапан (часто отсутствует);

3-вентиль (кран для спуска конденсата);

4-корпус горшка;

5-открытый поплавок;

6-шпиндель поплавка;

7-направляющая трубка;

⇒ — движение конденсата

⇒ http://www.kotel21.ru/drenazh-trubopr-kotel

Нагревание горячей водой

- **Используют для нагрева до 100ºС**

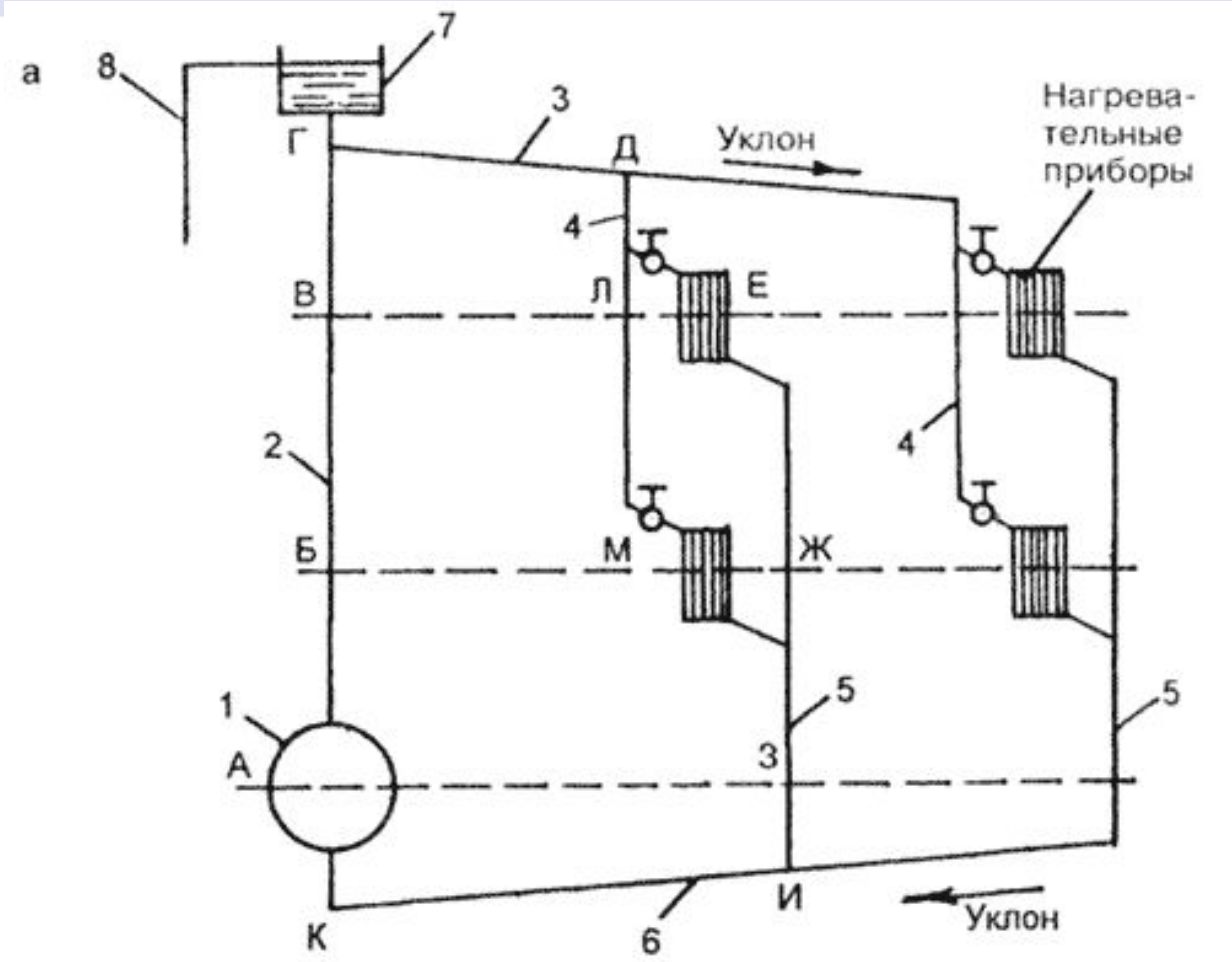
- **Коэффициенты теплоотдачи при нагревании горячей водой во много раз ниже, чем коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара. Нагревание горячей водой сопровождается снижением ее температуры вдоль теплообменной поверхности, что затрудняет регулирование температуры и ухудшает равномерность обогрева.**

Использование перегретой воды для нагревания до 350 ºС связано с высоким давлением (до 22 Мпа), что неэкономично.

Нагревание горячей водой

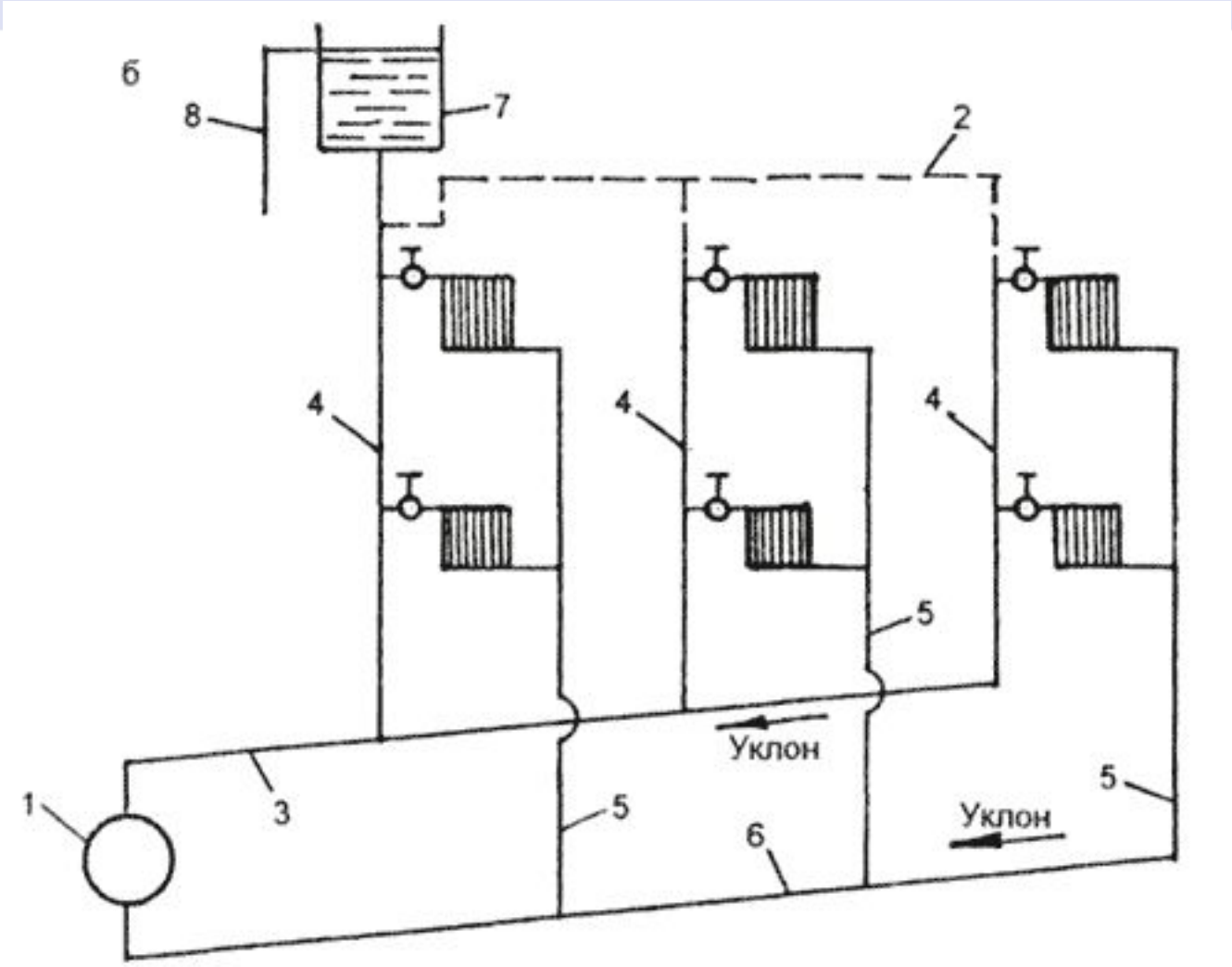
- **1. По способу циркуляции теплоносителя - естественной и принудительной. В системе с естественной циркуляцией теплоносителя движение теплопроводной жидкости возникает под действием гравитационной силы, за счёт разности температур и плотности жидкости нагретой в котле и жидкости остывшей в отопительных приборах и трубопроводах..**
- **Для циркуляции горячей воды скоростью 0,2м/с высота расположения теплообменника относительно печи 4 – 5 м.**

Системы водяного отопления с естественной циркуляцией (верхняя разводка)



1 - котел; 2 - главный стояк; 3 - разводящая линия; 4 - горячие стояки; 5 - обратные стояки; 6 - обратная линия; 7 - расширительный бак; 8 - сигнальная линия

Системы водяного отопления с естественной циркуляцией (нижняя разводка)



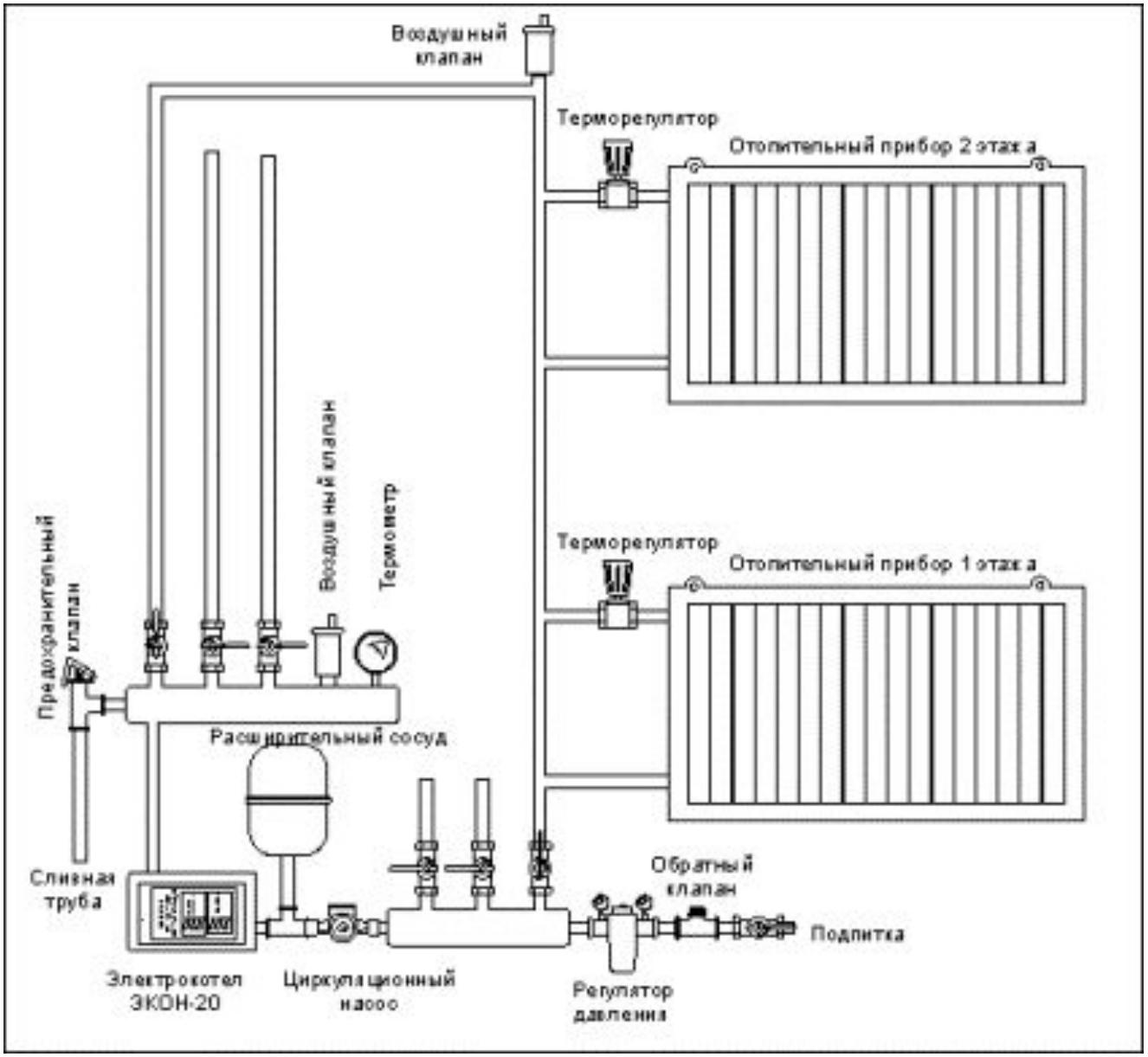
1 - котел; 2 - воздушная линия; 3 - разводящая линия; 4 - горячие стояки; 5 - обратные стояки; 6 - обратная линия; 7 - расширительный бак; 8 - сигнальная лини

Недостатки воды в качестве теплоносителя

Применение воды в качестве теплоносителя, помимо его главного преимущества – низкой цены, несет в себе следующие проблемы:

- **коррозия металла под воздействием теплоносителя;**
- **образование накипи на стенках оборудования;**
- **изменение состава теплоносителя в процессе эксплуатации и соответственно его теплофизических свойств**
- **вследствие замерзания происходит разрыв трубопроводов и нагревательных элементов**

Принцип действия и устройство системы отопления с принудительной циркуляцией



Использование топочных газов

Топочные газы образуются при сжигании жидкого, газообразного топлива в специальных топках.

По ценности теплоэнергии энергии топочные газы может классифицироваться по трем диапазонам:

- **высокотемпературный - выше 650 ^{0}C;**
- **среднетемпературный – 230 - 650 ^{0}C;**
- **низкотемпературный - менее 230 ^{0}C.**

Высокотемпературное и среднетемпературное отходящее тепло используется для производства технологического пара, выработки электроэнергии, сушки, подогрева воздуха, подаваемого в горелки, или для других технологических нужд.

Низкотемпературное тепло может быть использовано для отопления зданий, подогрева воды и воздуха.

Нагревание топочными газами

- **Топочные газы используют для нагревании до 1100° С.**
- **Для снижения температуры до 500-800°С их смешивают с воздухом или паром. После этого они направляются в теплообменный аппарат, охлаждаются, отдавая тепло нагреваемым продуктам.**
- **Из теплообменника дымовые газы отсасываются дымососом в атмосферу. Непосредственное нагревание топочными газами осуществляется в энергетических котлах, в трубчатых печах, в печах реакционных котлов.**

.

Нагревание топочными газами

Недостатки:

- неравномерность нагрева, обусловленная охлаждением газа в процессе теплообмена
- низкие коэффициенты теплоотдачи (α = 35-60 Вт/м^{2}К)
- инерционность
- Загрязненность

.

Расчет процесса сжигания топлива

При расчете обогрева топочными газами определяют

- ***теплотворную способность топлива***,
- ***расход воздуха на сжигание,***
- ***количество и состав газообразных продуктов сгорания,***
- ***температуру, развиваемую при сгорании топлива.***

Теплотворная способность топлива

Определяют расчетным и опытным путем.

- ***Для жидкого и твердого топлива ее рассчитывают по формуле Менделеева:***

$$Q_н=[339C + 1030H – 109(O – S) – 25,1W]\ 10^3\ Дж/кг$$

C,H,O,S ,W – содержание в топливе углерода, водорода, кислорода, серы, влаги, мас.%.

- ***Для газообразного топлива:***

$$Q_н=[127CO + 108H_2 + 360CH_4+598C_2H_4+147H_2S]\ 10^3\ Дж/м^3$$

$CO, H_2, CH_4, C_2H_4, H_2S$ – содержание в топливе соответствующих компонентов, об.%

Расход воздуха на сжигание

Теоретическим расходом воздуха на сжигание называют количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, т.е. для сгорания содержащегося в топливе углерода,водорода,серы соответственно в CO_2, H_2O, SO_2.

Теоретический расход воздуха рассчитывают по уравнениям реакций сгорания.

- ***Для жидкого и твердого топлива:***

$$V_0 = 0{,}089C + 0{,}267H + 0.033(S-O)\ м^3/кг\ топлива$$

- ***Для газообразного топлива:***

$$V_o = \frac{0{,}5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 + 1{,}5H_2S - O_2}{21}\ м^3/1м^3 топлива$$

Для обеспечения полного сгорания воздух подают в избытке. Коэффициент избытка воздуха зависит от конструкции топки и вида топлива.

Часто принимают α = 1,3 (торф, дрова), α = 1,4(уголь), α = 1,2 (мазут).

Количество и состав топочных газов

В топочные газы переходят продукты сгорания (CO_2,, H_2O, SO_2), весь содержащийся в воздухе и топливе азот, поступающий с избыточным воздухом кислород, а также водяные пары, приходящие с воздухом и образующиеся при испарении влаги топлива.

Общий объем топочных газов при сжигании топлива с избытком воздуха *α* равен сумме объемов соединений, получающихся при сгорании топлива (при теоретическом расходе воздуха) плюс избыточное количество воздуха, составляющее *(α - 1) Vo*.

Объем топочных газов

$$V_{mon} = V_{CO2} + V_{SO2} + V_{N2} + V_{H2O} + V_0(1-\alpha)\ \text{м}^3/\text{кг топлива}$$

Методы утилизации отходящего тепла можно классифицировать следующим способом:

1. Непосредственная утилизация, например, для сушки или подогрева материалов при отсутствии каких-либо внутренних теплообменников.
2. Рекуперация, при которой отходящие газы и воздух, подвергаемый нагреву, разделяются металлической теплообменной поверхностью или огнеупорной при очень высоких температурах. Передача энергии от одного потока к другому происходит непрерывно.
3. Регенерация, в ходе которой тепло, содержащееся в отходящих газах, передается теплообменному устройству, аккумулируется в нем в огнеупорных или металлических материалах и впоследствии служит для нагрева воздуха, используемого в качестве дутья. Газовый поток поочередно отдает свое тепло тем же поверхностям и переключается или при помощи перекидного клапана, или путем вращения теплоаккумулирующей насадки.

Методы утилизации отходящего тепла можно классифицировать следующим способом:

4. Утилизация с помощью котла-утилизатора, которая представляет собой одну из форм рекуперации с выработкой за счет тепла горячих отходящих газов технологического пара или горячей воды.
5. Совместное генерирование, при осуществлении которого совместно вырабатываются электрическая энергия и технологический пар.
6. Ступенчатое использование энергии, при котором вначале применяют энергию с наивысшими характеристиками, а затем все с более низкими параметрами для других связанных с этим процессов вплоть до того момента, когда эта энергия не будет иметь очень низкие параметры.

Потенциально возможные варианты применения отходящего тепла:

1. отходящие газы в диапазоне от средних до высоких температур могут использоваться для подогрева воздуха котлов с воздухонагревателями, печей с рекуператорами, сушилок с рекуператорами, газовых турбин с регенераторами;
2. отходящие газы в диапазоне от низких до средних температур могут использоваться для подогрева питающей котел воды при наличии экономайзеров;
3. отходящие газы и охлаждающая вода из конденсаторов могут использоваться для подогрева твердого и жидкого сырья в промышленных процессах;

Потенциально возможные варианты применения отходящего тепла:

4. отходящие газы могут использоваться для выработки пара в котлах-утилизаторах;
5. отходящее тепло может передаваться промежуточной среде при помощи теплообменников или котлов-утилизаторов либо путем циркуляции горячих отходящих газов через трубы или каналы;
6. отходящее тепло может быть применено в абсорбционно-холодильном агрегате, для кондиционирования воздуха и в тепловых насосах.

Промежуточные теплоносители

- Минеральные масла;
- Перегретая вода;
- Высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ);
- Расплавленные смеси солей.

Нагревание высокотемпературными органическими теплоносителями (ВОТ)

В качестве высокотемпературных органических теплоносителей используют глицерин, нафталин, этиленгликоль,дифенил, дифениловый эфир, дитолилметан, арохлоры, многокомпонентные ВОТ, минеральные масла, кремнийорганические жидкости и др.

Нагревание высокотемпературными органическими теплоносителями

Классический продукт Дифил представляет собой эвтектическую смесь: дифенил-дифинилоксид. Он может быть использован как в жидкой фазе, так и в газовой фазе в диапазоне температур от +13°С до +400 С. Таким образом представляется возможным использование многофункционального оборудования при низком давлении с идеальным распределением тепла и сравнительно простым аппаратным оформлением.

Дифил ДТ — это изомерная смесь дитолилового эфира. Превосходная теплопередача по сравнению с теплоносителями на основе минеральных масел, Из-за своей высокой термической устойчивости, он может использоваться при достаточно высоких температурах (до 330°С) по сравнению с аналогами на основе минеральных масел, а нижний температурный предел использования Дифила ДТ ограничен -30°С.

Дифил КТ — это органический теплоноситель с низкой вязкостью и хорошими теплообменными свойствами. Он применим для теплопередачи в жидкой фазе в интервале температур от -45° до +350°С. Этот теплоноситель нашел широкое применение в нефтехимической индустрии и обработке резин и пластмасс

Нагревание высокотемпературными органическими теплоносителями

Дифенильная смесь (Даутерм А): 26,5% дифенила и 73,5% дифенилоксида.

Достоинства:

- **получение высоких температур без применения высоких давлений ($t_{кип}$ = 258°С, r = 220 кДж/кг при р = 0,1 Мпа ; $t_{кип}$ = 380°С, r = 220 кДж/кг при р = 0,8 Мпа)**
- **использование для обогрева в жидком (до 250 °С) и парообразном (до 380 °С) состояниях. Коэффициент теплоотдачи при конденсации ее паров α равен 1200-1700 Вт/м^{2}К**
- **большая термическая стойкость, низкая температура плавления (12°С)**
- **практически взрывобезопасна и слаботоксична**
- **не вызывает коррозии металлов**

Глицерин – используют при нагревании до 220 - 250 °С.

Достоинства:
- не ядовит и невзрывоопасен
- обеспечивает равномерный обогрев теплоиспользующих аппаратов
- дешевле дифенильной смеси.

Минеральные масла - для нагревания до 300 °С.
Бывают ароматизированные и обычные.Обычно используют цилиндровые и компрессорные масла.

Распространенными марками являются АТМ-300, Мобильтерм –600.

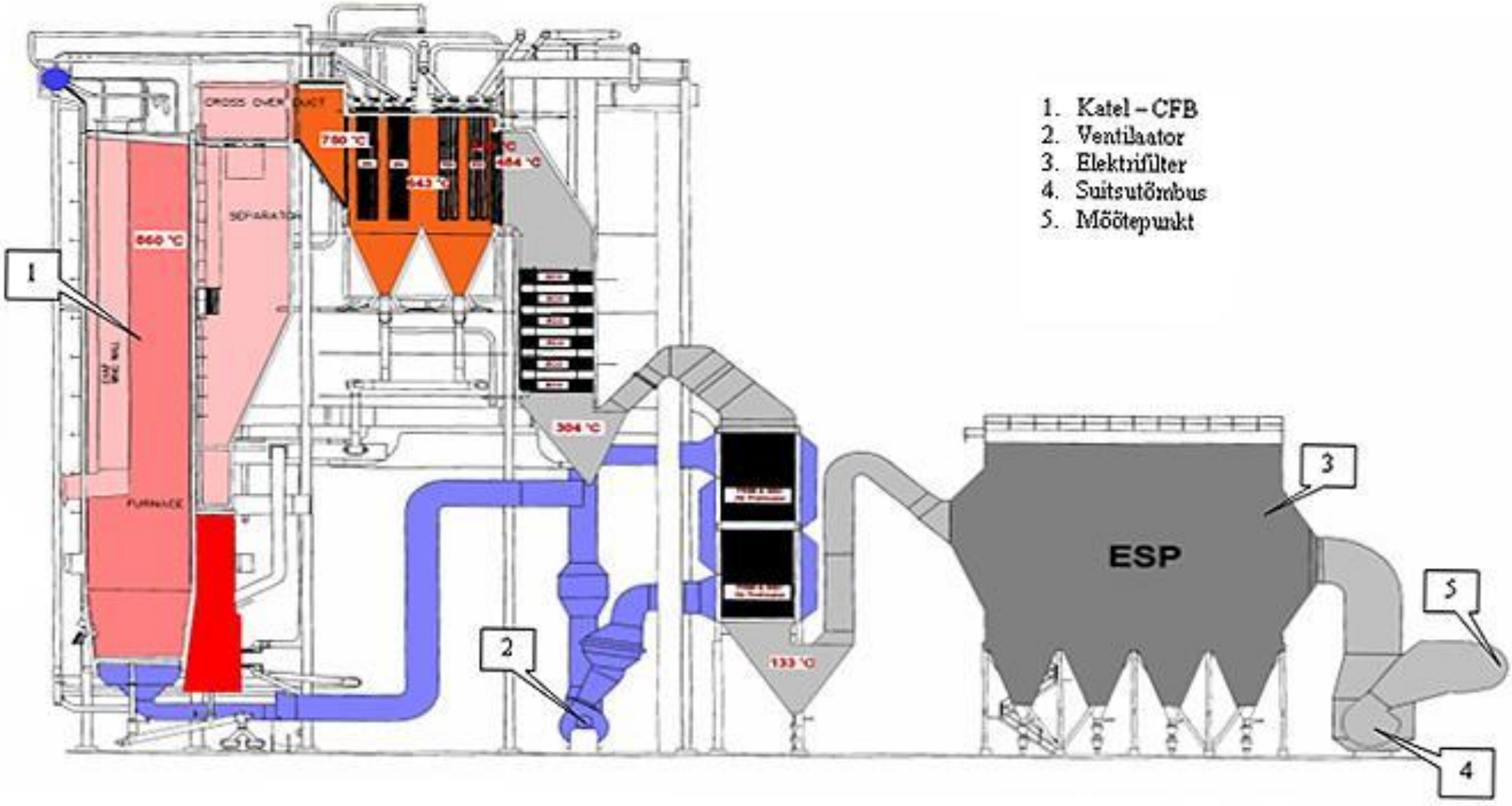
Силиконовые теплоносители (кремнийорганические соединения, полиорганосилоксаны) – используют для нагревания до 300 °С.
Достоинства:
- высокая химическая и термическая стойкость
- хорошая теплоотдача
- низкая температура плавления
- высокая химическая инертность.

Нагревание жидкими металлами

- Жидкие металлы: литий, натрий, калий, ртуть, свинец, некоторые сплавы.
- Используют для нагревания до 300 - 800 °С.
- Эффективным теплоносителем является Pb + Bi.Имеет высокий коэффициент теплоотдачи, в обращении безопасен.
- Ртуть, свинец и его сплавы используют в химических реакторах для отвода реакционной теплоты.
- Жидкие металлы, в основном, применяют на атомных электростанциях.

Нагревание расплавами неорганических солей

- **Нитрит-нитратная смесь: 40% нитрита натрия, 7% нитрата натрия, 53% нитрата калия (температура плавления 142 °С.**
- **Используют при нагревании до 550 °С.**
- **Установки, на которых применяют расплавы солей, должны быть герметичны и защищены инертным газом.**
- **Смесь применяют при обогреве с принудительной циркуляцией.**
- **Нитрит-нитратная смесь – сильный окисляющий агент, недолжна соприкасаться с воздухом.**



Блок-схема котла с кипящим слоем

Успехов в учёбе