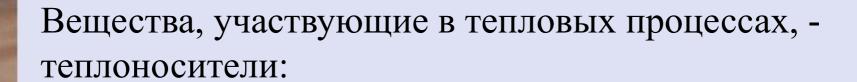


Классификация промышленных способов подвода и отвода тепла. Требования, предъявляемые к теплоносителям, их сравнительные характеристики и области применения. Определение требуемого расхода теплоносителей

- 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.**



- 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 2000⁰C;
- Среднетемпературные 150-700⁰С;
- Низкотемпературные (отопление, вентиляция, кондиционирование, теплонасосные, холодильные) -150+150°C;
- Криогенные (разделение воздуха)ниже -150°C

По диапазону рабочих температур

- Дымовые или топочные газы 1500С
- Капельные жидкости (температура кипения больше 200С)
- мин.масла, расплавы солей, жидкие металлы;
- Водяной пар (до 650C), вода (до 375C) и воздух (до 100C);
- 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.



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 <u>терможидкости</u> 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.



Коррозионная активность

Ограничивает применение некоторых теплоносителей, заставляет добавлять ингибиторы Ограничивает 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

<u>Температура вспышки</u> Температура вспышки, <u>температура</u> воспламенения Температура вспышки, <u>температура</u>

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/м². 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 °C.

Для нагрева среды до 200 °C 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:

$$D_{n}(I_{i} - \tilde{n}_{\hat{a}}t_{2}) = G_{c}(t_{2} - t_{1}) + Q_{ii\hat{O}}$$

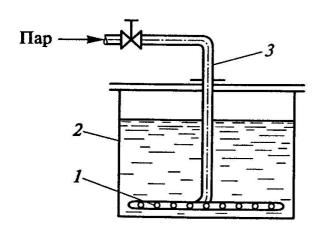
G – расход нагреваемой жидкости, кг/с

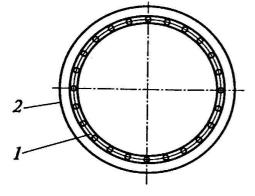
с - средняя удельная теплоемкость нагреваемой среды, Дж/кг·К t_1 , , t_2 - начальная и конечная температуры нагреваемой среды, °C Qпот — потери тепла от стенок в окружающую среду, Вт (для аппаратов, находящихся в помещении, Q $_{\rm not}$ = 3 – 5 % от всей подводимой теплоты)

 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.

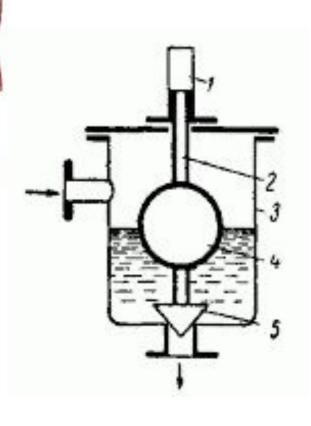
Используют, в основном, насыщенный водяной пар с высоким коэффициентом теплоотдачи, имеющий большую скрытую теплоту конденсации. Применение перегретого пара нецелесообразно из-за низкого коэффициента теплопередачи и небольшой величины теплоты перегрева. Температуру стекающего конденсата принимают равной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

Расход глухого пара определяют по формуле:

$$D_{n} = \frac{G_{c}(t_{2} - t_{1}) + Q_{nom}}{I_{n} - I_{k}}$$

Јк – 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).

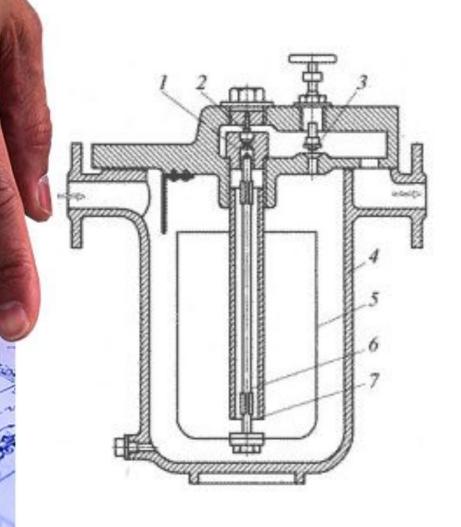


При неполной конденсации пара в теплообменнике часть его будет уходить с конденсатом, расход пара повышается.

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;

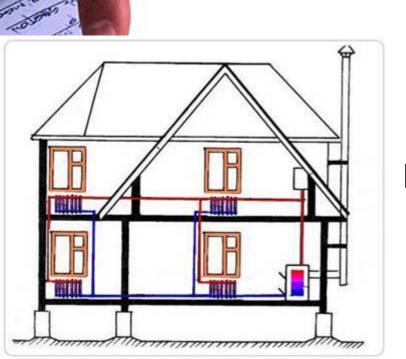
→ — движение конденсата

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

Нагревание горячей водой

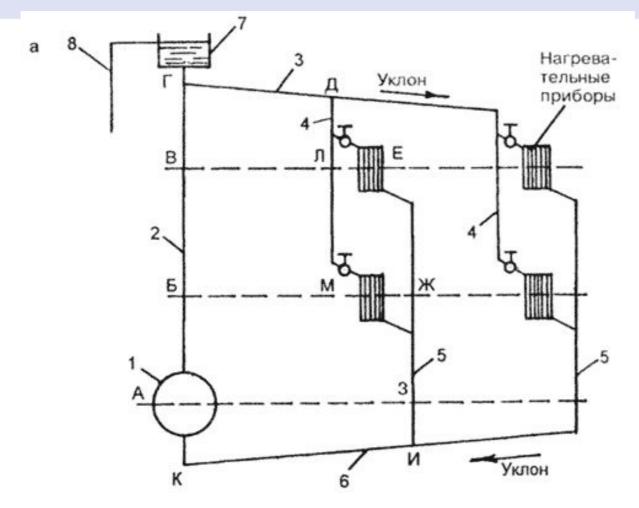
- □ Используют для нагрева до 100°C
- □ Коэффициенты теплоотдачи при нагревании горячей водой во много раз ниже, чем коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара. Нагревание горячей водой сопровождается снижением ее температуры вдоль теплообменной поверхности, что затрудняет регулирование температуры и ухудшает равномерность обогрева.
- Использование перегретой воды для нагревания до 350 °C связано с высоким давлением (до 22 Мпа), что неэкономично.

Нагревание горячей водой



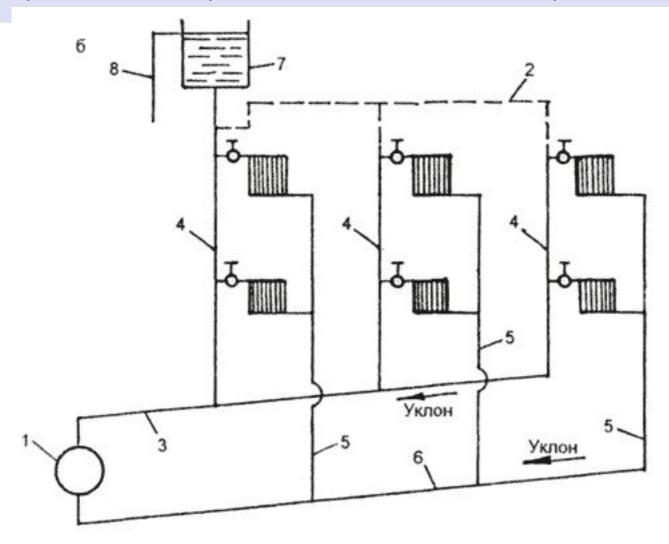
- 1. По способу циркуляции теплоносителя естественной и принудительной. В системе с естественной циркуляцией теплоносителя движение теплопроводной жидкости возникает под действием гравитационной силы, за счёт разности температур и плотности жидкости нагретой в котле и жидкости остывшей в отопительных 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)



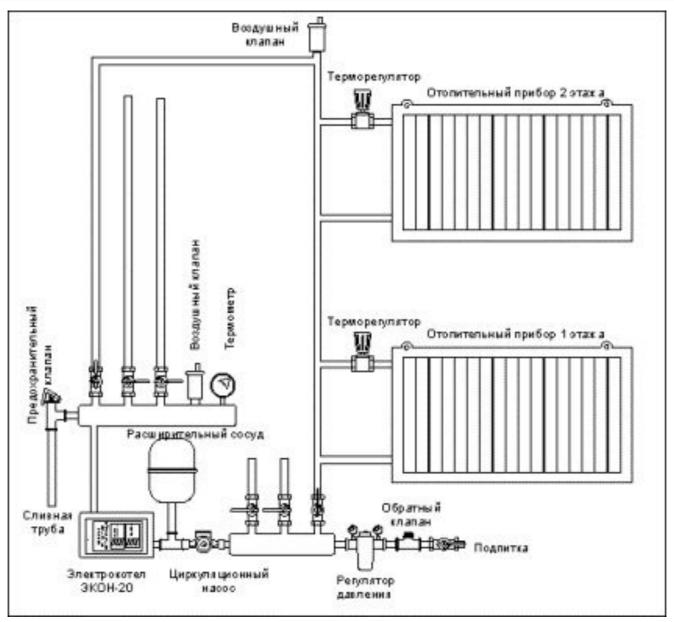
- 1 котел; 2 воздушная линия; 3 разводящая линия; 4 горячие стояки;
- 5 обратные стояки; 6 обратная линия; 7 расширительный бак; 8 сигнальная лини

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 ⁰C;
- среднетемпературный 230 650 ⁰C;
- низкотемпературный менее 230 °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.



- □ 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.



Недостатки:

- неравномерность нагрева, обусловленная охлаждением газа в процессе теплообмена
- низкие коэффициенты теплоотдачи ($\alpha = 35\text{-}60 \; \mathrm{BT/m^2K}$)
- инерционность
- Загрязненность

•



При расчете обогрева топочными газами определяют

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



Определяют расчетным и опытным путем.

 Для жидкого и твердого топлива ее рассчитывают по формуле Менделеева:

 Q_{H} =[339C + 1030H - 109(O - S) - 25,1W] 10³ Дж/кг C,H,O,S,W - содержание в топливе углерода, водорода, кислорода, серы, влаги, мас.%.

 \square Для газообразного топлива: $Q_{\rm H}$ =[127CO + 108H $_2$ + 360CH $_4$ +598C $_2$ H $_4$ +147H $_2$ S] 10 3 Джс/м 3

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



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:

$$V_0 = 0.089C + 0.267H + 0.033(S-O)$$
 м³/кг топлива

🛮 Для газообразного топлива:

$$V_{o}=rac{0.5(CO+H_{2})+2CH_{4}+3C_{2}H_{4}+1.5H_{2}S-O_{2}}{21}$$
 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 $\alpha = 1,3$ (торф, дрова), $\alpha = 1,4$ (уголь), $\alpha = 1,2$ (мазут).



В топочные газы переходят продукты сгорания (CO2,, H2O, SO2), 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.

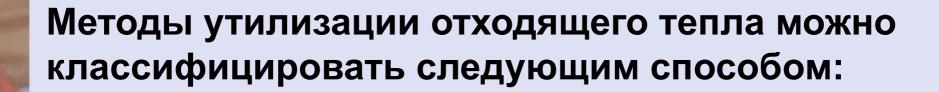
Общий объем топочных газов при сжигании топлива с избытком воздуха α равен сумме объемов соединений, получающихся при сгорании топлива (при теоретическом расходе воздуха) плюс избыточное количество воздуха, составляющее $(\alpha - 1)$ Vo.

Объем топочных газов

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

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.



- 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 котловутилизаторов 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.



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

Нагревание высокотемпературными органическими теплоносителями (BOT)

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



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°C 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°C) по сравнению с аналогами на основе минеральных масел, а нижний температурный предел использования Дифила ДТ ограничен -30°C.

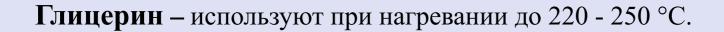
Дифил КТ — это органический теплоноситель с низкой вязкостью и хорошими теплообменными свойствами. Он применим для теплопередачи в жидкой фазе в интервале температур от -45° до +350°C. Этот теплоноситель нашел широкое применение в нефтехимической индустрии и обработке резин и пластмасс



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

Достоинства:

- получение высоких температур без применения высоких давлений ($t_{\rm кип} = 258^{\circ}{\rm C}, \, r = 220 \, {\rm кДж/кг}$ при р = 0,1 Мпа ; $t_{\rm кип} = 380^{\circ}{\rm C}, \, r = 220 \, {\rm кДж/кг}$ при р = 0,8 Мпа)
- использование для обогрева в жидком (до 250 °C) и парообразном (до 380 °C) состояниях. Коэффициент теплоотдачи при конденсации ее паров α равен 1200-1700 Вт/м²К
- большая термическая стойкость, низкая температура плавления (12°C)
- практически взрывобезопасна и слаботоксична
- не вызывает коррозии металлов



Достоинства:

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

Минеральные масла - для нагревания до 300 °C.

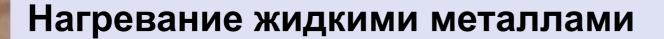
Бывают ароматизированные и обычные. Обычно используют цилиндровые и компрессорные масла.

Распространенными марками являются АТМ-300, Мобильтерм -600.

Силиконовые теплоносители (кремнийорганические соединения, полиорганосилоксаны) – используют для нагревания до 300 °C.

Достоинства:

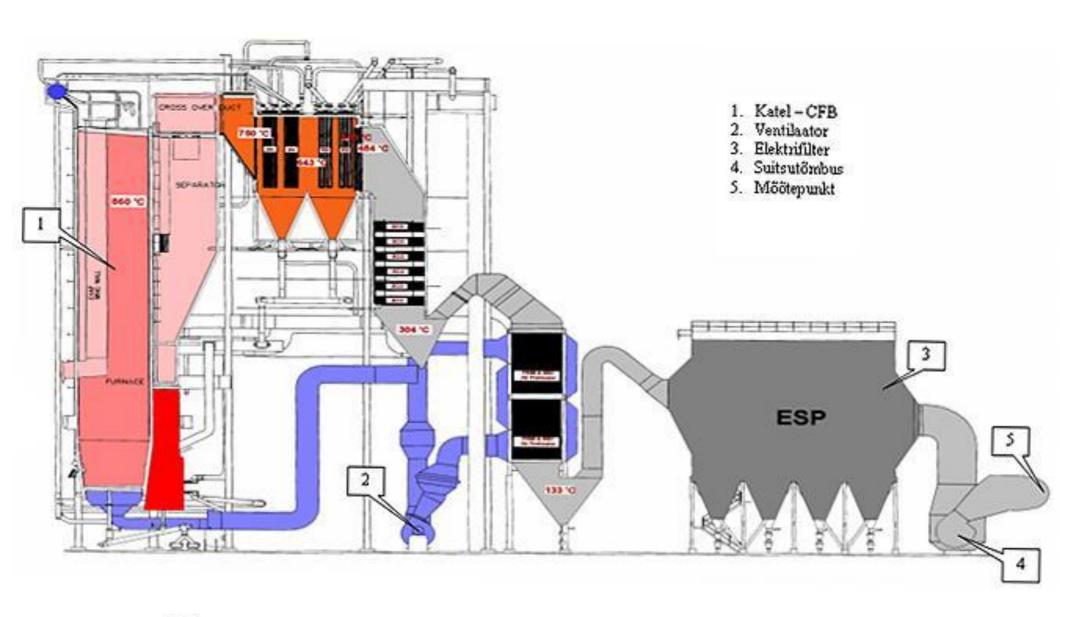
- высокая химическая и термическая стойкость
- хорошая теплоотдача
- низкая температура плавления
- высокая химическая инертность.



- ☐ Жидкие металлы: литий, натрий, калий, ртуть, свинец, некоторые сплавы.
- Используют для нагревания до 300 800 °C.
- 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.



- □ Нитрит-нитратная смесь: 40% нитрита натрия, 7% нитрата натрия, 53% нитрата калия (температура плавления 142 °C.
- Используют при нагревании до 550 °C.
- 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

