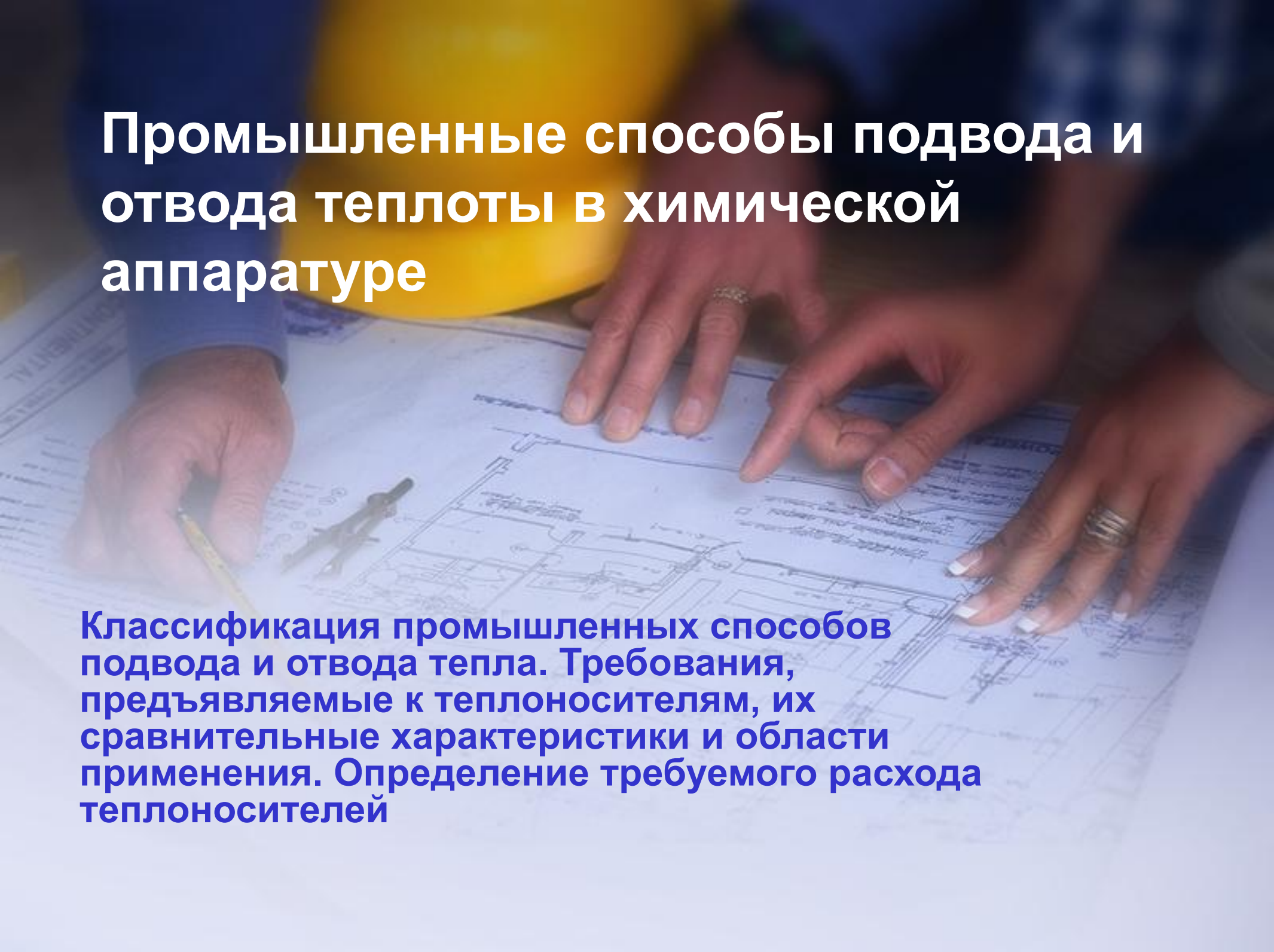



Промышленные способы подвода и отвода теплоты в химической аппаратуре



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

- 
- A hand is visible on the left side of the slide, pointing towards the text. The hand is resting on a blue background that features a technical drawing or blueprint with various lines and text.
- 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 диапазоне от 400 до 2000⁰С;**
- **Среднетемпературные 150-700⁰С;**
- **Низкотемпературные (отопление, вентиляция, кондиционирование, теплонасосные, холодильные) -150+150⁰С;**
- **Криогенные (разделение воздуха) ниже -150⁰С**

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 регулирования
- Низкая стоимость и возможность транспортировки.

Основные проблемы при выборе теплоносителя

Рабочий диапазон температур

Не существует теплоносителя, способного перекрыть весь диапазон от 0 до 3000 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 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

Температура вспышки Температура вспышки, температура воспламенения Температура 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,

Большое значение скрытой теплоты конденсации, возможность использования конденсата .

Нагревание водяным паром

Достоинства насыщенного водяного пара как теплоносителя:

- **Высокой коэффициент теплоотдачи $5000-15000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$**
- **Большое количество тепла, выделяющегося при конденсации 1 кг пара – $2260 - 1990 \text{ кДж}$ при $P=0,1 - 1,2 \text{ МПа}$**
- **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:

$$D_n(I_i - \tilde{n}_a t_2) = G_c(t_2 - t_1) + Q_{пот}$$

G – расход нагреваемой жидкости, кг/с

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

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

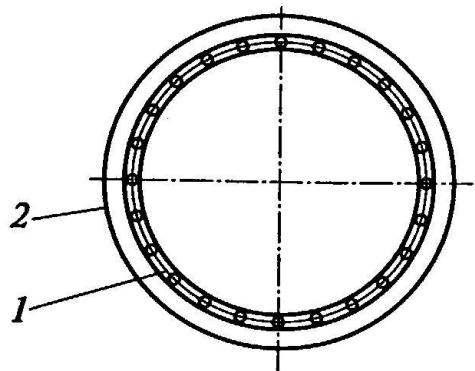
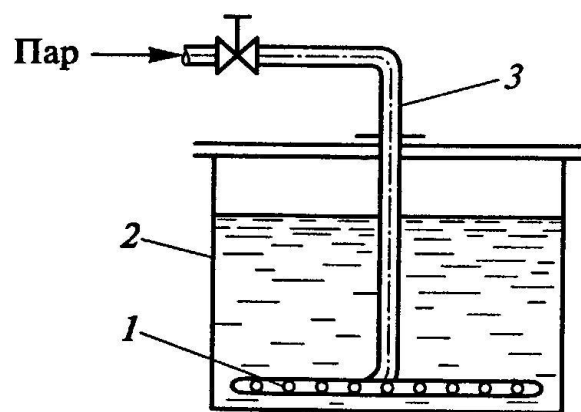
$Q_{пот}$ – потери тепла от стенок в окружающую среду, Вт (для аппаратов, находящихся в помещении, $Q_{пот} = 3 - 5 \%$ от всей подводимой теплоты)

I_n – удельная энтальпия греющего пара, Дж/кг


c_v - 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.

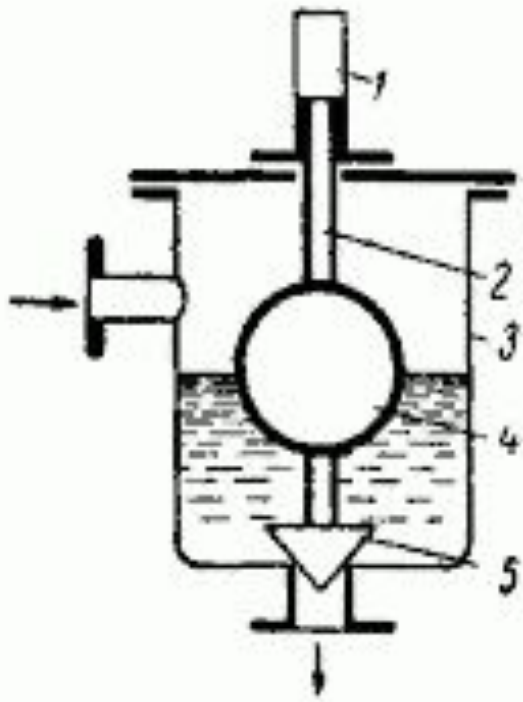
Температуру стекающего конденсата принимают равной температуре пара.

Расход глухого пара определяют по формуле:

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

I_k – 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

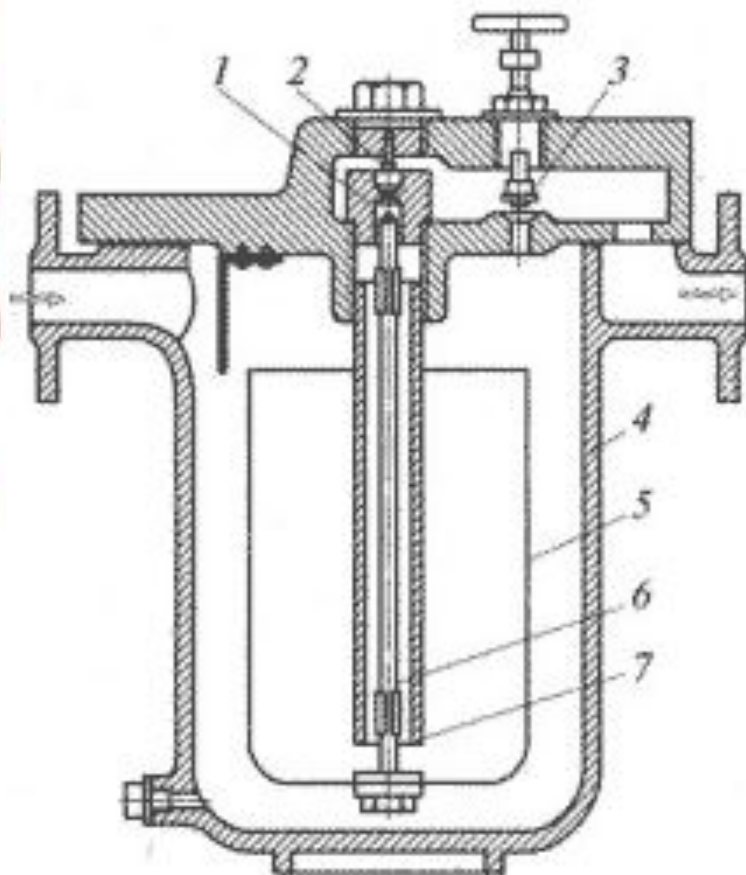
2. Стержень

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-шпindelь 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.**

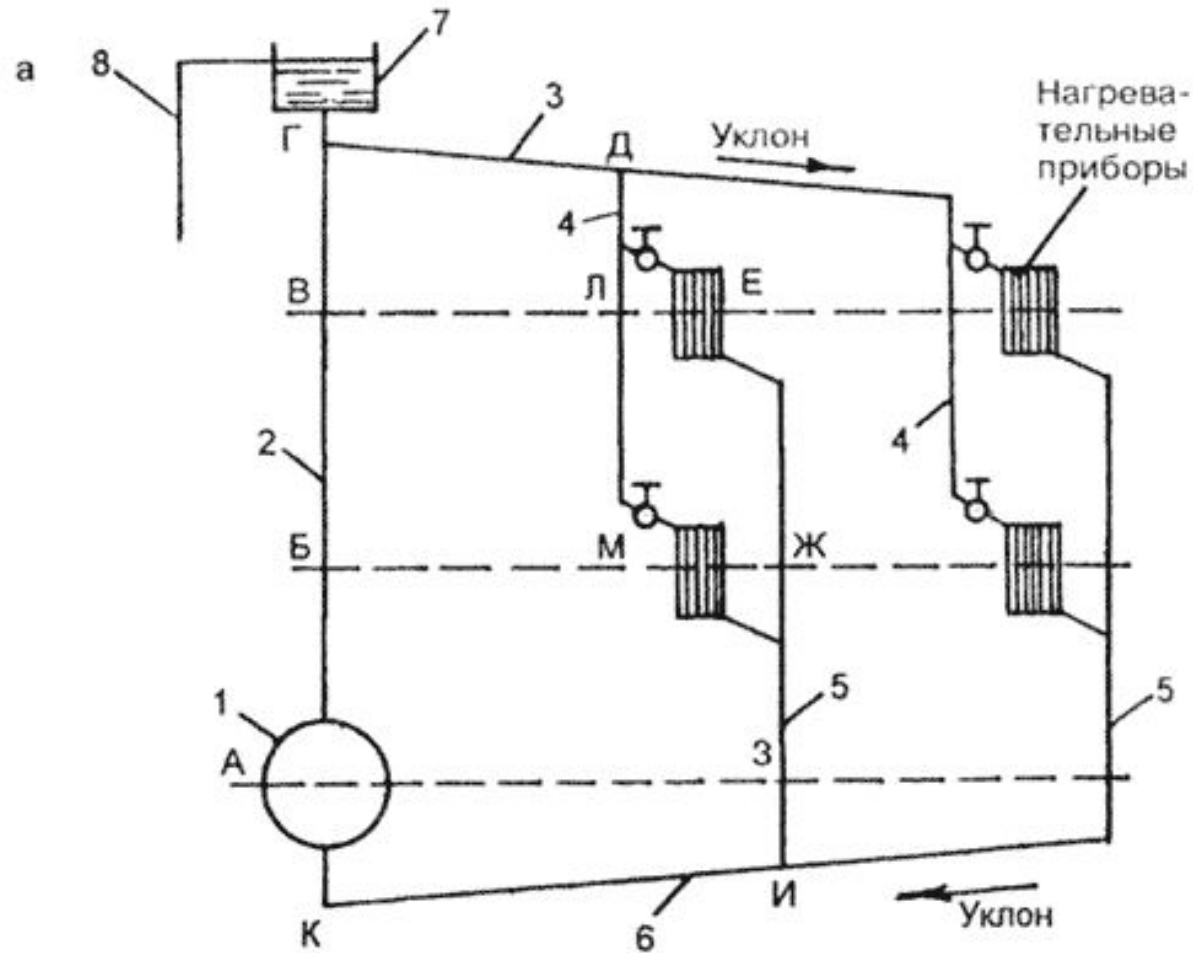
Использование перегретой воды для нагревания до 350 °С связано с высоким давлением (до 22 Мпа), что неэкономично.

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 $0,2\text{ м/с}$ высота расположения теплообменника относительно печи $4 - 5\text{ м}$.**

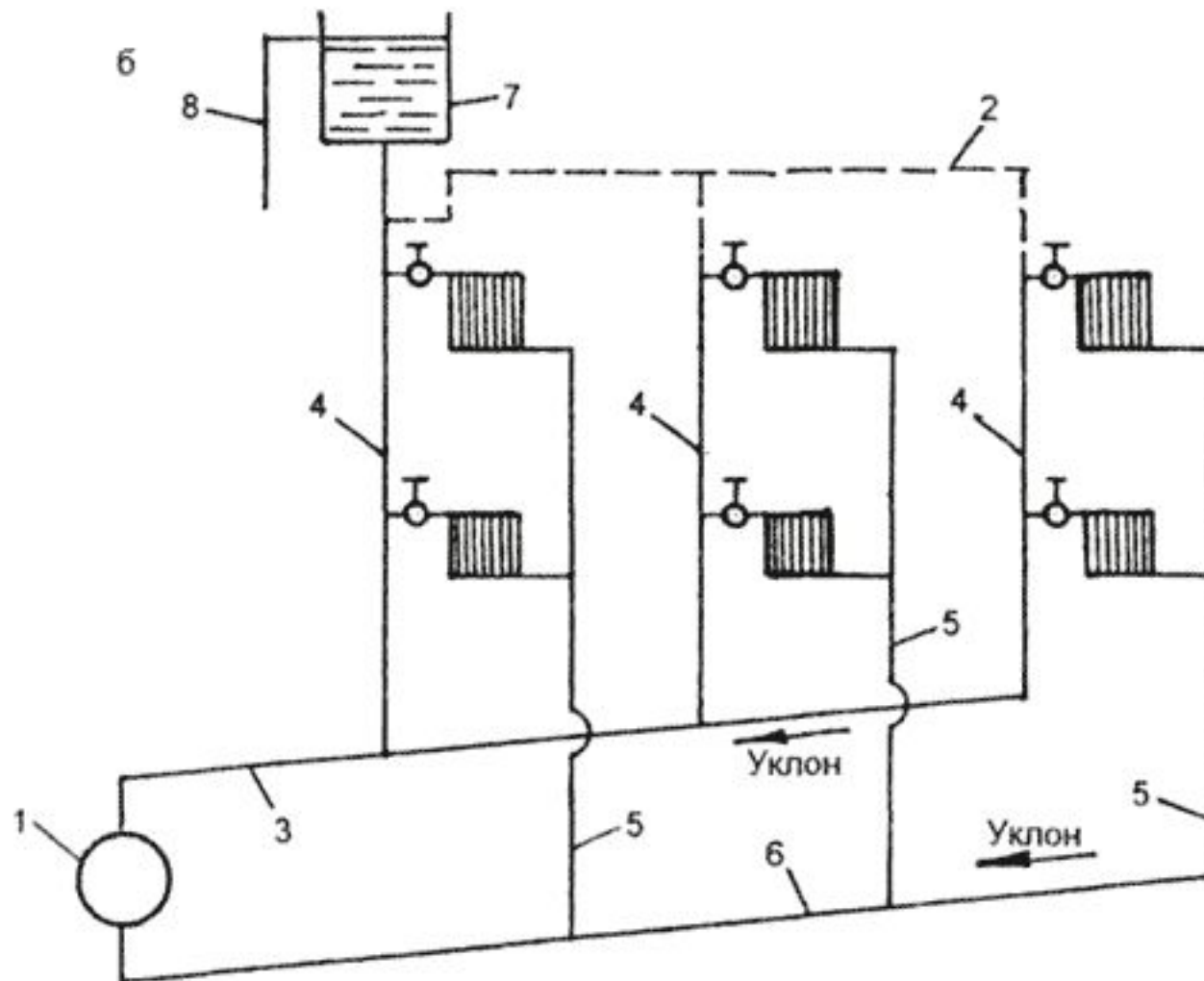


Системы водяного отопления с естественной циркуляцией (верхняя разводка)



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)



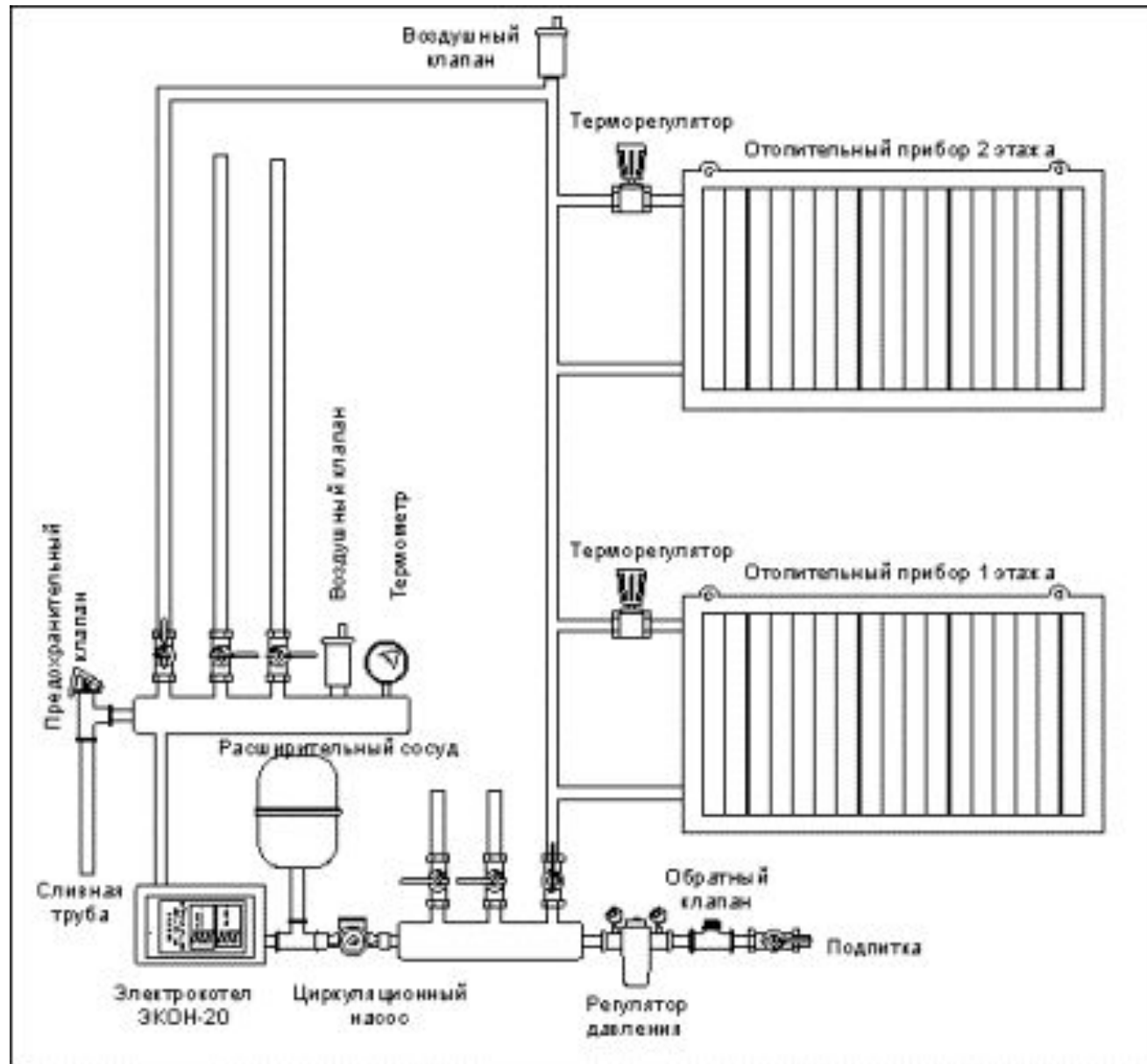
1 - котел; 2 - воздушная линия; 3 - разводящая линия; 4 - горячие стояки; 5 - обратные стояки; 6 - обратная линия; 7 - расширительный бак; 8 - сигнальная линия

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 °С;**
- **среднетемпературный – 230 - 650 °С;**
- **низкотемпературный - менее 230 °С.**

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 нагревания до 1100°C .**
- **Для снижения температуры до $500-800^{\circ}\text{C}$ 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 ($\alpha = 35-60 \text{ Вт/м}^2\text{К}$)
- 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:*

$$Q_H = [339C + 1030H - 109(O - S) - 25,1W] 10^3 \text{ Дж/кг}$$

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

□ *Для газообразного топлива:*

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

CO, H₂, CH₄, C₂H₄, H₂S – 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:*

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

□ *Для газообразного топлива:*

$$V_0 = \frac{0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 + 1,5H_2S - O_2}{21} \text{ м}^3 / 1\text{м}^3 \text{ топлива}$$

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).

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 $(\alpha - 1) V_0$.

Объем топочных газов

$$V_{\text{тон}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_0(1 - \alpha) \text{ м}^3/\text{кг топлива}$$

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°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 промышленности 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 ($t_{кип} = 258^{\circ}\text{C}$, $r = 220$ кДж/кг при $p = 0,1$ Мпа ; $t_{кип} = 380^{\circ}\text{C}$, $r = 220$ кДж/кг при $p = 0,8$ 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



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 цилиндрические и компрессорные масла.

Распространенными марками являются АТМ-300, Мобильтерм –600.

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

Достоинства:

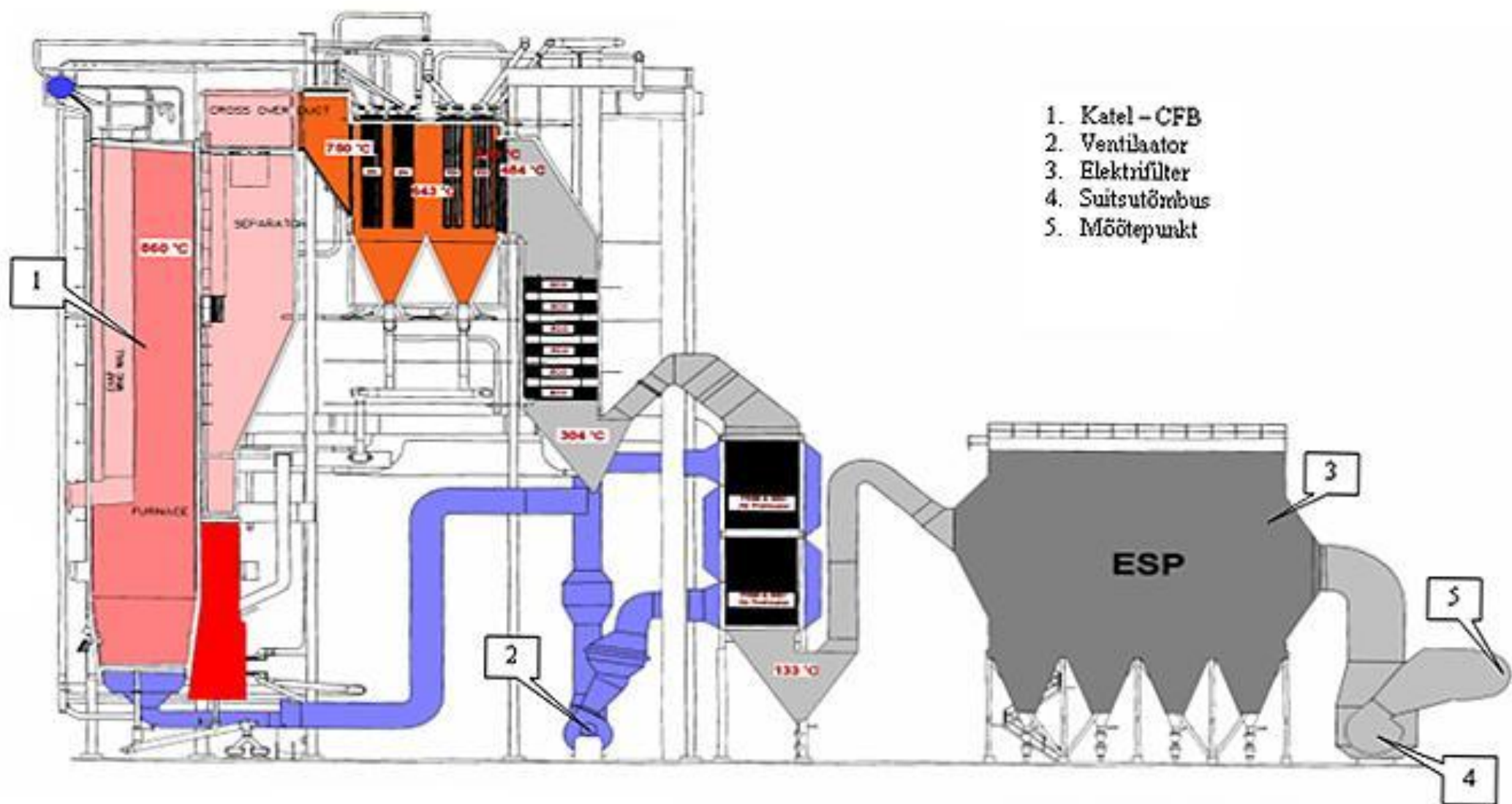
- высокая химическая и термическая стойкость
- хорошая теплоотдача
- низкая температура плавления
- высокая химическая инертность.

Нагревание жидкими металлами

- **Жидкие металлы: литий, натрий, калий, ртуть, свинец, некоторые сплавы.**
 - **Используют для нагревания до 300 - 800 °С.**
 - **Эффективным теплоносителем является Рb + Вi. 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, не должна соприкасаться с воздухом.**



Блок-схема котла с кипящим слоем



Успехов в учёбе

Sergei Chekryzhov

43