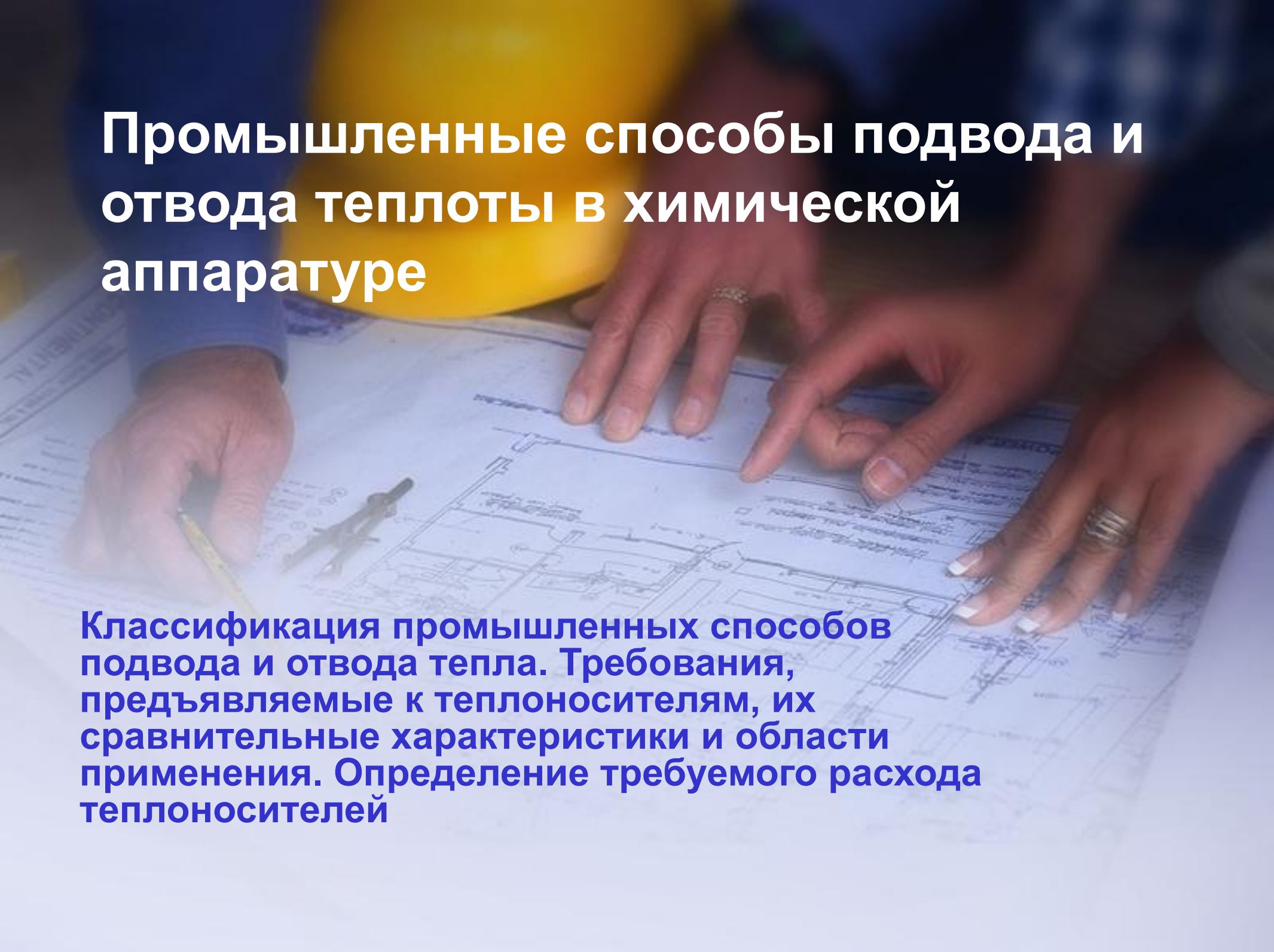



# Промышленные способы подвода и отвода теплоты в химической аппаратуре



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. The drawing includes some Cyrillic characters and technical symbols.
- 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 2000<sup>0</sup>С;**
- **Среднетемпературные 150-700<sup>0</sup>С;**
- **Низкотемпературные (отопление, вентиляция, кондиционирование, теплонасосные, холодильные) -150+150<sup>0</sup>С;**
- **Криогенные (разделение воздуха) ниже -150<sup>0</sup>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 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

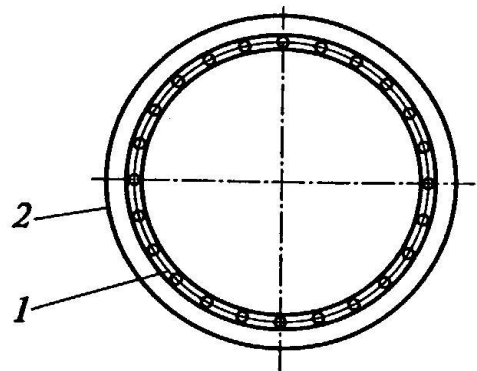
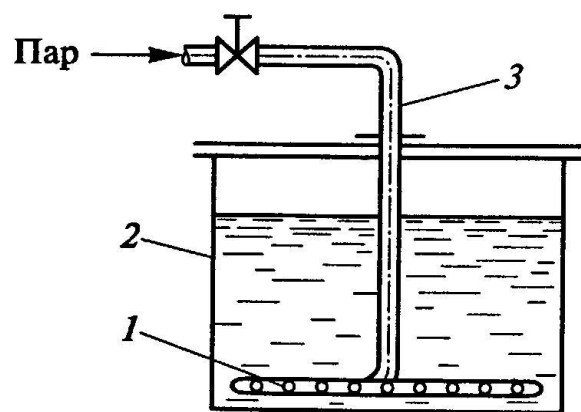
$Q_{пот}$  – потери тепла от стенок в окружающую среду, Вт (для аппаратов, находящихся в помещении,  $Q_{пот} = 3 - 5 \%$  от всей подводимой теплоты)

$I_n$  – 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.

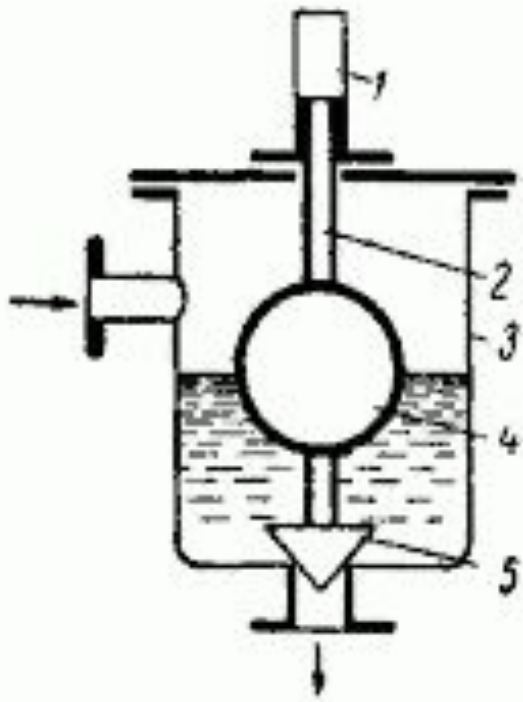
Температуру стекающего конденсата принимают равной температуре пара.

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

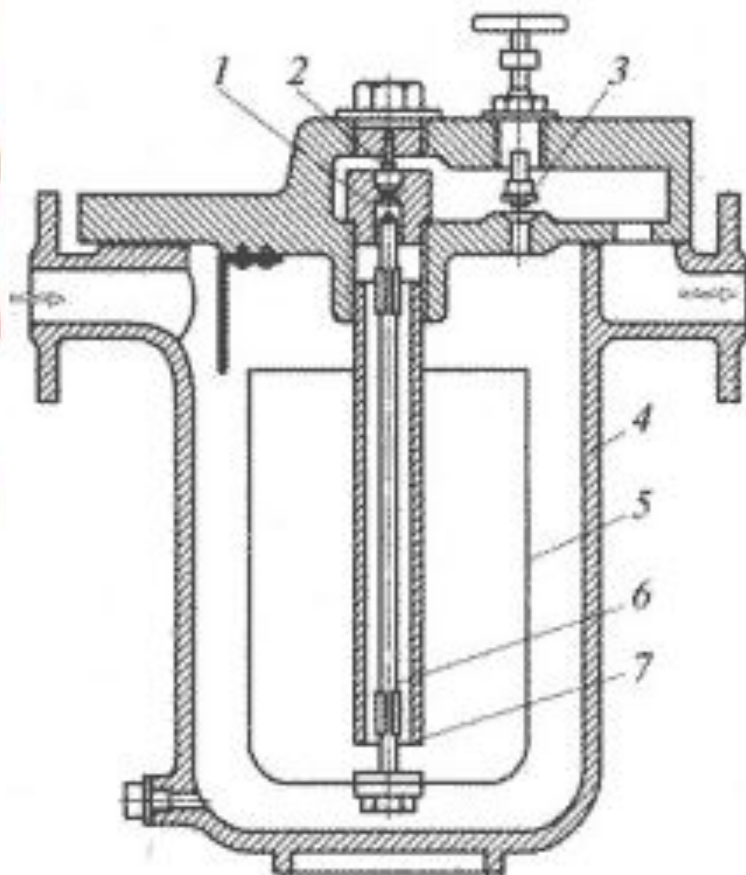
2. Стержень

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

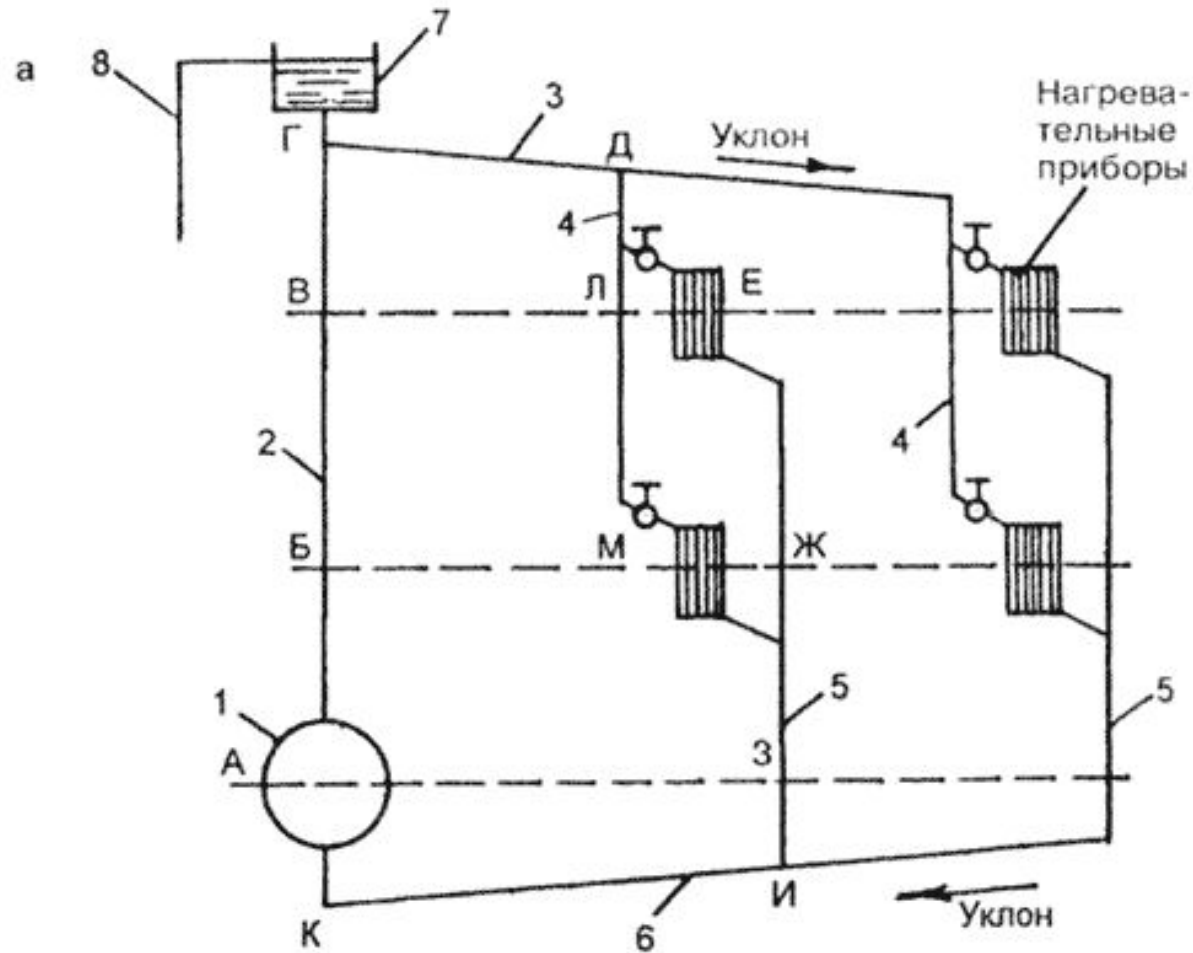
- **Используют для нагрева до 100°C**
  - **Коэффициенты теплоотдачи при нагревании горячей водой во много раз ниже, чем коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара. Нагревание горячей водой сопровождается снижением ее температуры вдоль теплообменной поверхности, что затрудняет регулирование температуры 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 0,2м/с высота расположения теплообменника относительно печи 4 – 5 м.**

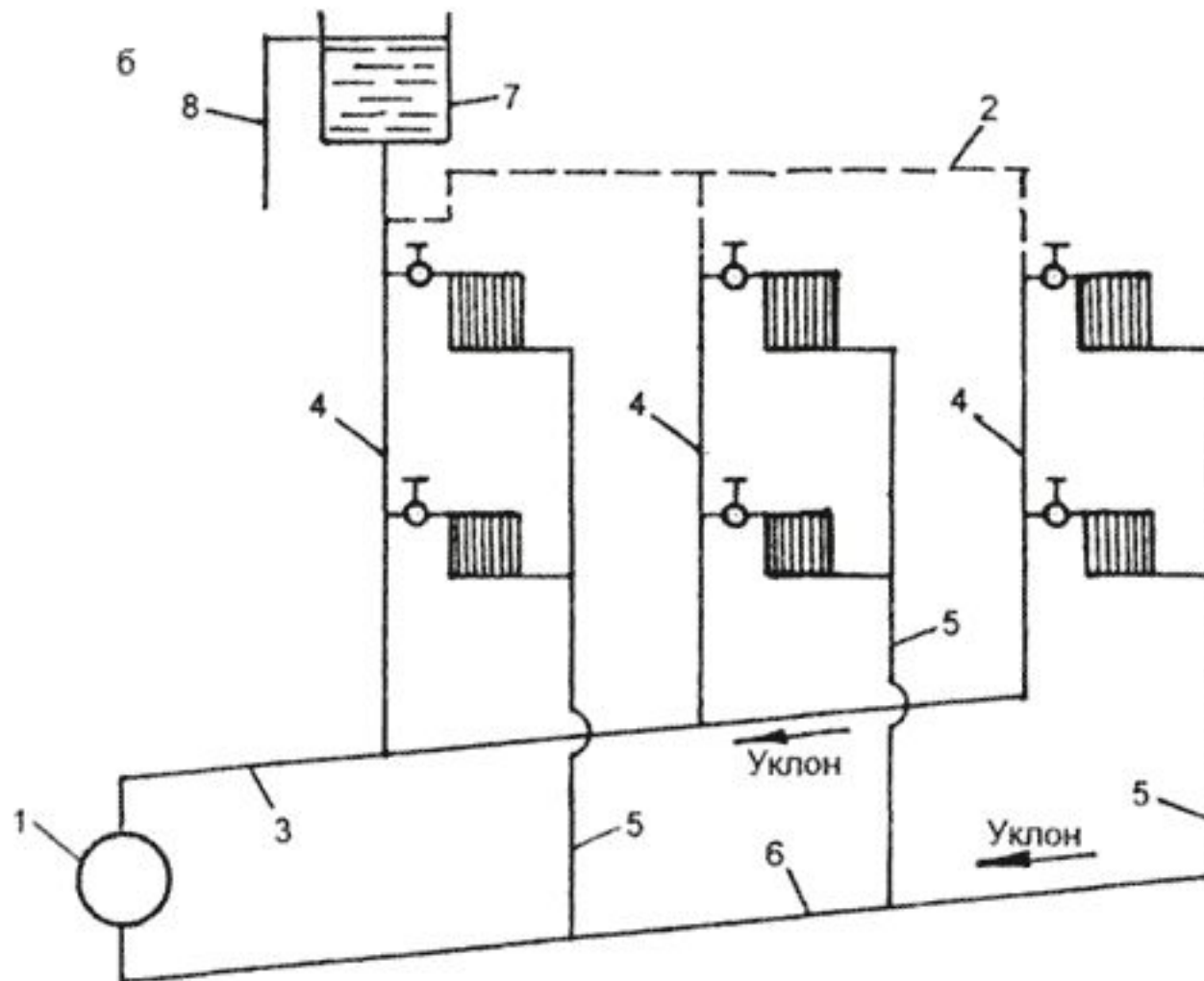


# Системы водяного отопления с естественной циркуляцией (верхняя разводка)



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)



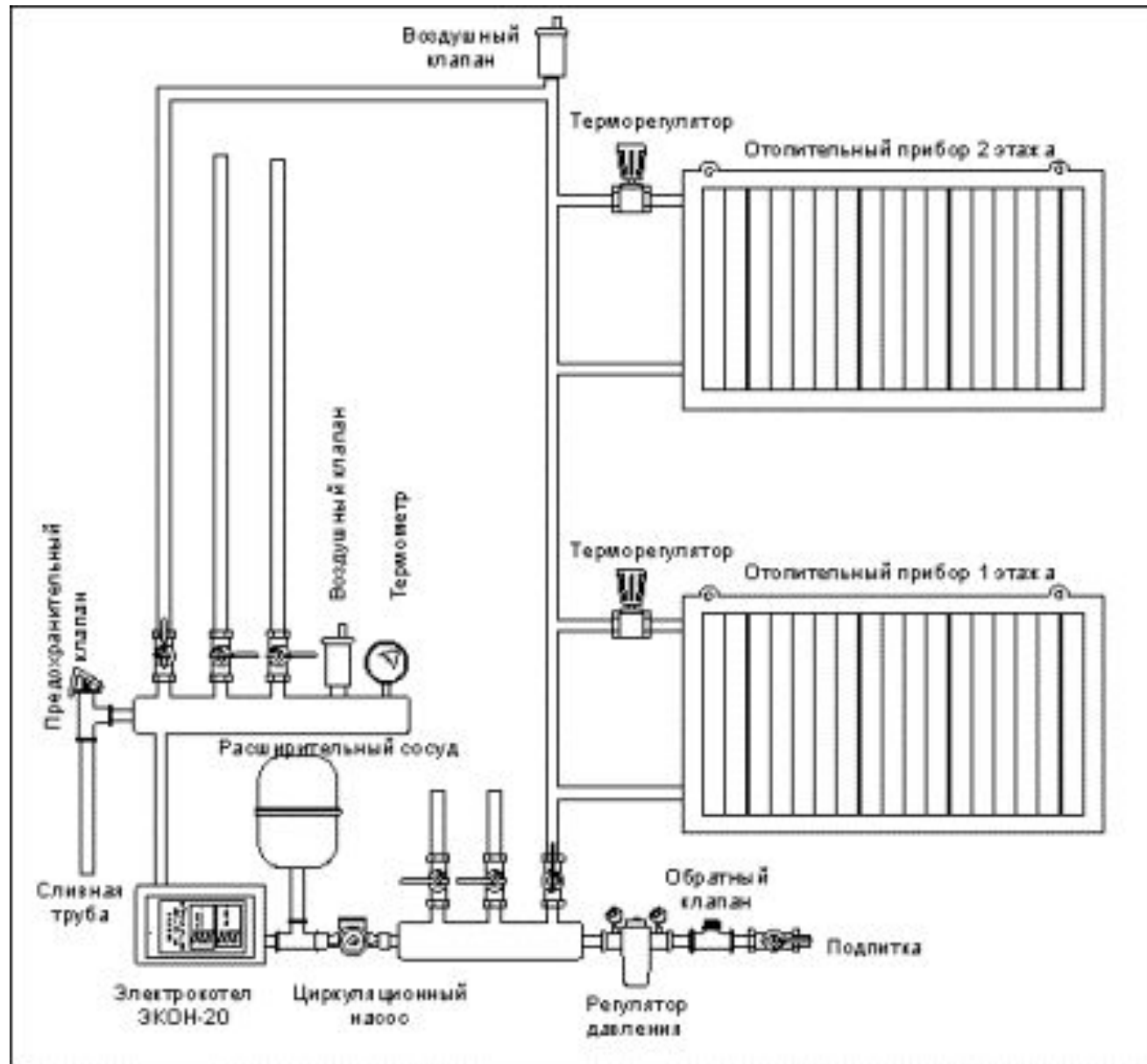
1 - котел; 2 - воздушная линия; 3 - разводящая линия; 4 - горячие стояки;  
5 - обратные стояки; 6 - обратная линия; 7 - расширительный бак; 8 - сигнальная  
линии

# 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  $1100^{\circ}\text{C}$ .
- 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, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S – 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 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ), 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  $\alpha$  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  $250^{\circ}\text{C}$ ) и парообразном ( до  $380^{\circ}\text{C}$  ) состояниях. Коэффициент теплоотдачи при конденсации ее паров  $\alpha$  равен 1200-1700 Вт/м<sup>2</sup>К
- большая термическая стойкость, низкая температура плавления ( $12^{\circ}\text{C}$ )
- 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 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.

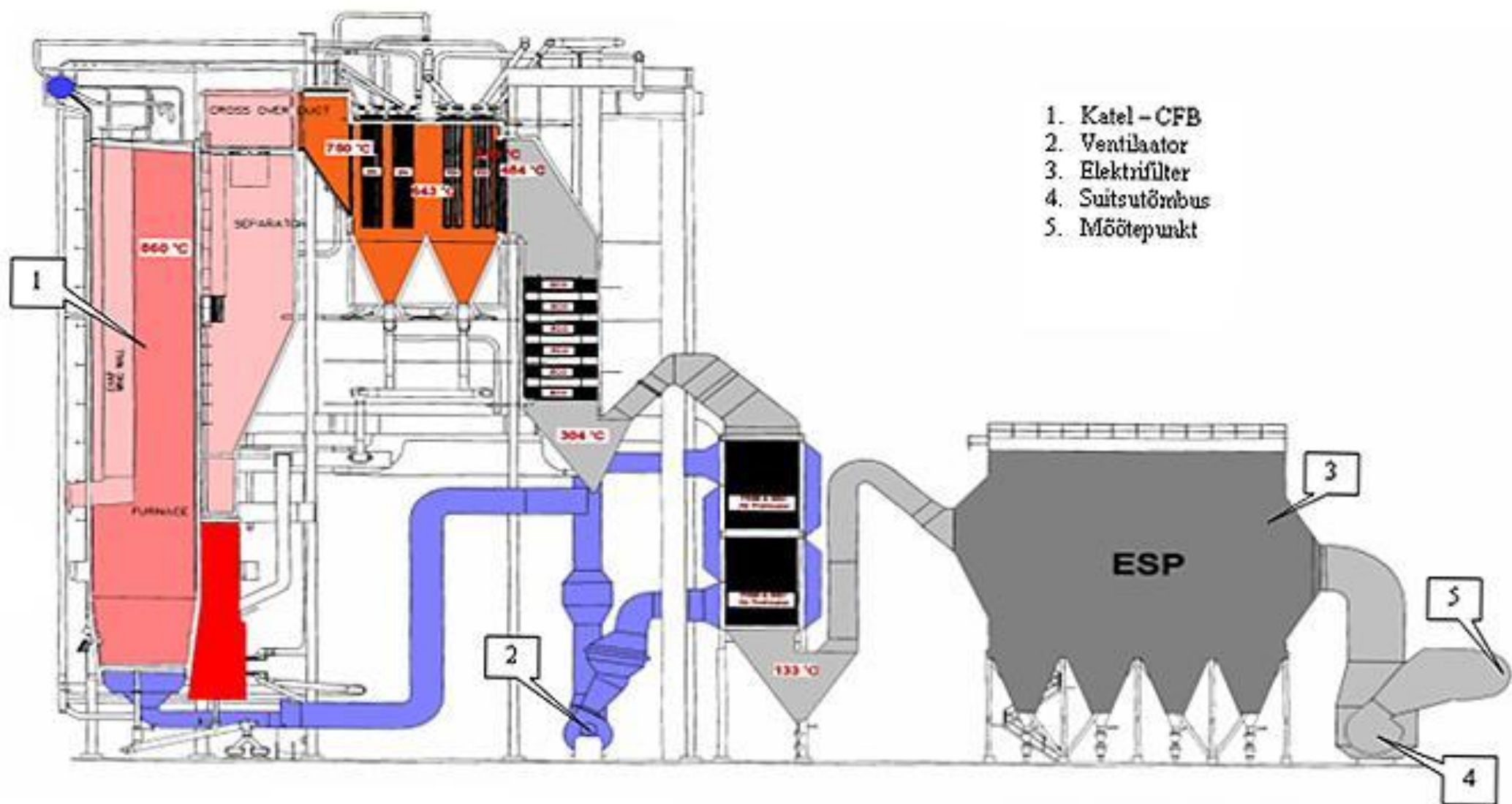
# Нагревание жидкими металлами

- **Жидкие металлы: литий, натрий, калий, ртуть, свинец, некоторые сплавы.**
  - **Используют для нагревания до 300 - 800 °С.**
  - **Эффективным теплоносителем является 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