

ЛЕКЦИЯ №15

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ

Проведение многих технологических процессов, осуществляемых в химической промышленности, часто бывает связано с необходимостью подвода или отвода тепловой энергии. Для решения этой задачи применяют различные теплоносители, представляющие собой жидкие или газообразные вещества, отдающие тепловую энергию в теплообменных аппаратах (теплообменниках). Промежуточные теплоносители используются для транспортировки тепловой энергии от её источников (печей, где теплота выделяется при сгорании топлива) к аппаратам, потребляющим тепловую энергию.

ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ

На Рис 15.1 приведены основные теплоносители, а также их рабочий температурный интервал. Самые высокие температуры имеют газообразные теплоносители (дымовые газы). Второй класс теплоносителей составляют пары жидкостей, которые в процессе теплообмена конденсируются (водяной пар, пары высококипящих органических жидкостей, пары металлов: лития, калия, кадмия и ртути). Третий класс теплоносителей – это жидкие теплоносители: вода (в том числе перегретая и находящаяся под давлением); высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ), представляющие собой органические жидкости с высокими температурами кипения (этиленгликоль, глицерин, нафталин и его производные, дифенил и его производные) и их смеси (например, дифенильная смесь); минеральные масла; ионные теплоносители, представляющие собой расплавы солей (например, нитрит-нитратная смесь); кремнийорганические жидкости; жидкометаллические теплоносители (ртуть, расплавы щелочных и щелочно-земельных металлов, расплавы свинца, висмута, кадмия, сурьмы, олова). Также для нагревания сред возможно применять электрический ток. Аппараты для нагрева электрическим током обладают многочисленными преимуществами: наиболее компактны из всех теплообменников, имеют широкий интервал температур нагрева, им присуща легкость регулировки и контроля. Однако стоимость единицы тепловой энергии, полученной при нагреве электрическим током, в несколько раз выше стоимости единицы тепловой энергии, полученной при сжигании топлива. Поэтому на химических предприятиях, где есть возможность получать тепловую энергию от тепловых станций, нагрев электрическим током не применяют. Используют его лишь на малотоннажных установках, там, где нет подведённых линий паропроводов.

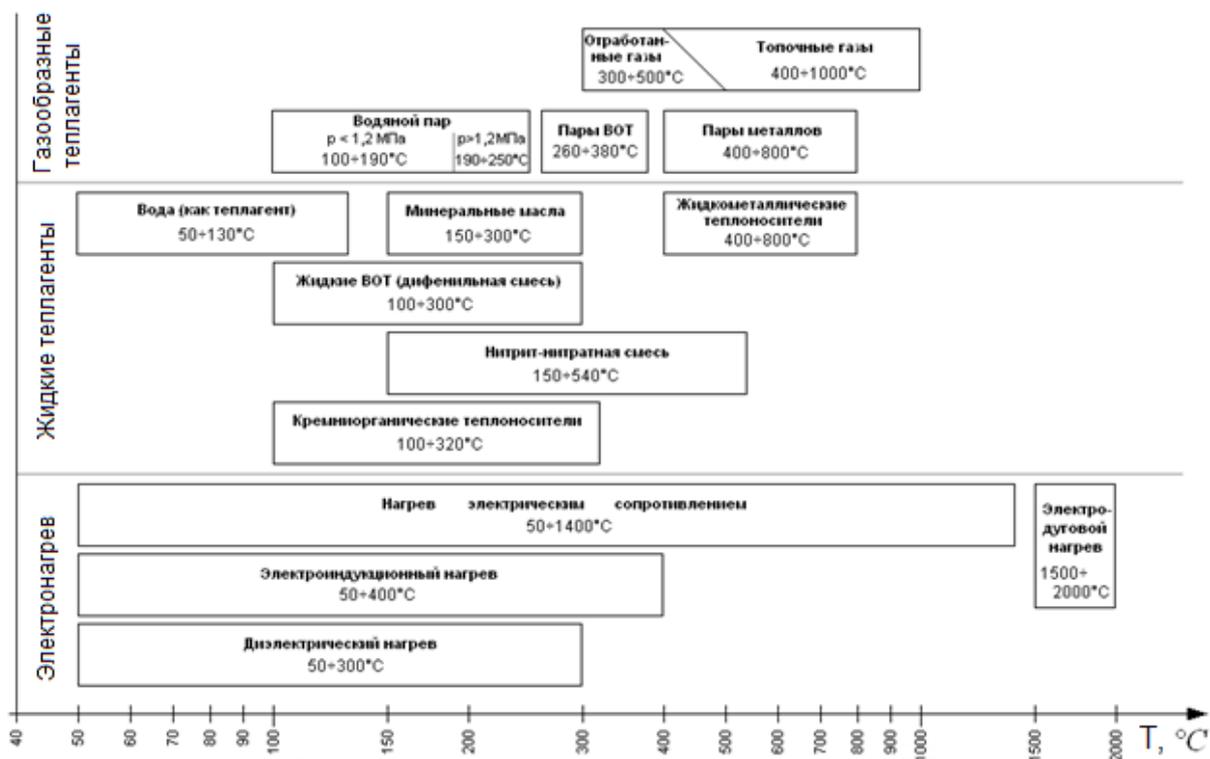
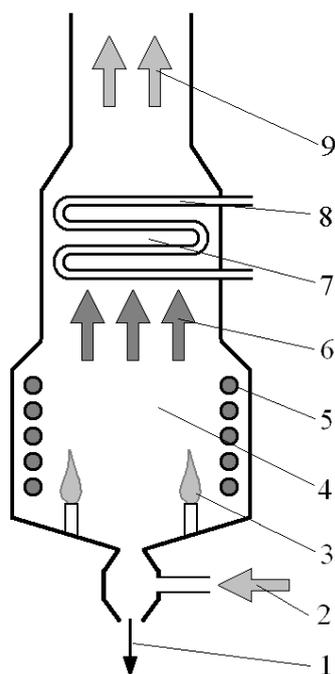


Рис.15.1. Рабочие интервалы температур теплоносителей и нагрева электрическим током

1. Дымовые газы

Основным источником тепловой энергии на химических предприятиях служат печи, где производится сжигание топлива (природного газа, каменного угля, мазута и т.д.) (Рис.15.2). Продуктом работы печей является тепловая энергия, которая служит для нагревания промежуточного теплоносителя в радиационной зоне печи. Образующиеся дымовые газы (смесь продуктов сгорания топлива с воздухом) либо отдают теплоту в конвективной зоне печи, либо направляются к потребителям.



Из-за трудностей транспортировки дымовых газов (больших тепловых потерь) потребляющие тепловую энергию дымовых газов аппараты размещают рядом с печами.

Рис.15.2. Схема трубчатой печи:

- 1 – удаление шлака; 2 – воздух; 3 – факел сгорающего топлива; 4 – радиационная зона печи; 5 – трубчатка радиационной зоны печи; 6 – дымовые газы; 7 – конвективная зона печи; 8 – трубчатка конвективной зоны печи; 9 – отработанные газы

Достоинства дымовых газов как теплоносителей:

- 1) Наиболее высокий из всех теплоносителей рабочий интервал температур (для печных и топочных дымовых газов $400 \div 1\ 000$ °С, для отработанных газов $300 \div 500$ °С).
- 2) Относительно низкая стоимость, благодаря получению непосредственно сжиганием топлива.

Недостатки дымовых газов как теплоносителей:

- 1) Малая удельная объёмная теплоёмкость (около $1,5$ кДж/($\text{м}^3 \cdot \text{К}$)), что вызывает необходимость пропускания через аппараты больших объёмов газов.
- 2) Низкие коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке (менее 50 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)), что приводит к необходимости создания в аппаратах больших поверхностей теплоотдачи.
- 3) Неравномерность нагрева и сложность регулирования нагрева из-за значительного изменения температуры дымовых газов в процессе теплообмена.
- 4) Загрязнение поверхности теплопередачи продуктами сгорания
- 5) Коррозия стенок аппарата вследствие высоких температур и содержания коррозионно-активных веществ (воды, остатков кислорода, оксидов серы и азота) в дымовых газах.
- 6) Экологическая опасность (загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива: оксидами азота, серы и фосфора, а также выброс в атмосферу парниковых газов).

Область применения

Дымовые газы, получаемые при сжигании твёрдого, жидкого или газообразного топлива – основной источник тепловой энергии на химических предприятиях. Другие теплоносители, являющиеся промежуточными теплоносителями (такие как водяной пар, горячая вода, ВОТ и др.), получают тепловую энергию от дымовых газов.

2. Водяной пар

Паровые котлы для получения насыщенного пара предназначены для снабжения насыщенным водяным паром химического предприятия. Высокие требования при получении пара предъявляются к качеству испаряемой воды. Подаваемая в парогенераторы вода должна быть очищена не только от механических примесей, но и от солей жёсткости – гидрокарбонатов кальция и магния, которые при нагревании способны выпадать на стенках труб в виде накипи. на стоимости получаемого пара.

Достоинства водяного пара как теплоносителей:

- 1) Высокий коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке ($5\ 000 \div 15\ 000\ \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$).
- 2) Большое количество теплоты, выделяемой при конденсации пара ($2\ 000 \div 2\ 300\ \text{кДж}/\text{кг}$).
- 3) Возможность транспортировки на значительные расстояния (при этом пар должен быть перегрет на $10 \div 20\ \text{К}$).
- 4) Равномерность обогрева, поскольку температура конденсации пара постоянна по всей длине аппарата.
- 5) Возможность регулирования температуры пара путём изменения давления.
- 6) Водяной пар нетоксичен, экологически безопасен, негорюч и невзрывоопасен.

Недостатки водяного пара как теплоносителей:

- 1) Значительное возрастание давления с увеличением температуры, вследствие чего использование пара высоких температур возможно только на оборудовании, рассчитанном на высокие давления, что ограничивает применение водяного пара.

Область применения

Водяной пар является наиболее распространённым теплоносителем в химической промышленности. Рабочий интервал температур насыщенного водяного пара ограничен $250\ ^\circ\text{C}$, однако на практике насыщенный водяной пар используют при $100 \div 190\ ^\circ\text{C}$, поскольку более высокие температуры пара соответствуют высоким давлениям. Использование пара с давлением свыше $1,2\ \text{МПа}$, как правило, экономически нецелесообразно вследствие усложнения аппаратного оформления процесса и заметного снижения удельной теплоты парообразования

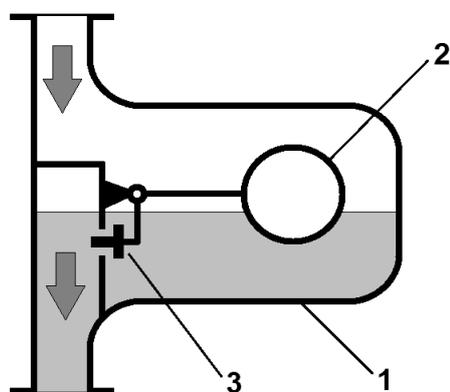


Рис.15.3. Схема устройства конденсатоотводчика со сферическим закрытым поплавком: 1 – корпус; 2 – поплавок; 3 – клапан

3. Пары высокотемпературных органических теплоносителей

Для нагревания выше 190 °С без существенного усложнения оборудования вместо водяного пара могут быть использованы пары высокотемпературных органических жидкостей (ВОТ). Широкое распространение получила дифенильная смесь – эвтектическая и азеотропная бинарная смесь, содержащая 26,5 % дифенила и 73,5 % дифенилового эфира, кипящая при атмосферном давлении при 258 °С и разлагающаяся при 400 °С.

Достоинства паров дифенильной смеси как теплоносителя:

1) Возможность нагрева до высоких температур без существенного повышения давления (рабочий интервал температур 260÷380 °С, при этом давление паров не превышает 1 МПа).

2) Низкая горючесть и взрывобезопасность паров (в случае просачивания паров в топочное пространство происходит их воспламенение, но пары горят слабо, образуя шлак, который часто герметизирует имеющуюся щель).

3) Нетоксичность (вдыхание паров не опасно, однако длительное пребывание в атмосфере паров дифенильной смеси вызывает раздражение слизистых оболочек и иногда головные боли).

4) Коррозионно неактивна по отношению к наиболее распространенным конструкционным материалам.

Недостатки паров дифенильной смеси как теплоносителя:

1) Коэффициент теплоотдачи при конденсации паров дифенильной смеси на порядок ниже коэффициента теплоотдачи при конденсации пара (около 1400÷1750 Вт/(м²·К)).

2) Теплота конденсации дифенильной смеси в 4–5 раз меньше, чем для водяного пара, однако вследствие большей плотности паров дифенильной смеси количество теплоты, выделяющееся на единицу объёма, для паров дифенильной смеси и водяного пара примерно одинаково.

3) Стоимость дифенильной смеси существенно выше стоимости водяного пара.

4) Быстрое разложение дифенильной смеси при нагревании выше 400°С. Если точное регулирование температуры в испарителе невозможно и дифенильная смесь может частично разлагаться, то необходимо предусмотреть в схеме аппарат для удаления продуктов разложения.

4. Вода

Горячая вода является побочным продуктом работы котлов для получения водяного пара. Также может быть использован конденсат от выпарных установок, теплообменников,

подогревателей и других аппаратов, где происходит конденсация водяного пара без охлаждения конденсата.

Интервал рабочих температур жидкой воды как горячего теплоносителя ограничен температурой её кипения и при атмосферном давлении составляет $50\div 95$ °С. Однако повышение давления до 0,5 МПа позволяет расширить интервал до 150 °С без серьёзного усложнения оборудования.

Достоинства воды как горячего теплоносителя:

- 1) Доступность воды.
- 2) Высокая теплоёмкость воды по сравнению с органическими жидкостями ($4,19$ кДж/(кг·К) у горячей воды, примерно $1,5\text{--}2$ кДж/(кг·К) у органических жидкостей).
- 3) Невысокая вязкость воды по сравнению с органическими жидкостями.
- 4) Высокий коэффициент теплоотдачи (примерно в 5–6 раз выше, чем у органических жидкостей).
- 5) Нетоксичность, пожаро- и взрывобезопасность, экологическая безопасность.

Недостатки воды как горячего теплоносителя:

- 1) Ограниченный температурный интервал вследствие резкого повышения давления для перегретой воды.
- 2) Высокие требования к качеству очистки воды от солей жёсткости, способных образовывать накипь на стенках аппаратов.
- 3) Коррозионная активность воды по отношению к обычной стали и чугуну, из которых выполняются большинство трубопроводов и аппаратов.

5. Минеральные масла

Минеральными маслами называют жидкие смеси высококипящих углеводородов (температура кипения $300\div 600$ °С), главным образом алкилнафтяных и алкилароматических, получаемые переработкой нефти. При использовании минеральных масел в качестве горячего теплоносителя часто применяют циркуляционный способ обогрева с естественной или принудительной циркуляцией. Однако образование в минеральных маслах твёрдых или газообразных продуктов их разложения и окисления требует установки в циркуляционном контуре устройств для удаления этих продуктов: фильтров, сепараторов и т.п.

Достоинства минеральных масел как горячего теплоносителя:

- 1) Возможность нагрева до высоких температур без повышения давления.
- 2) Отсутствие коррозионного действия большинства минеральных масел на материал трубопроводов и материалов.

3) Невысокая стоимость и доступность по сравнению с другими высокотемпературными теплоносителями.

4) Нетоксичность.

Недостатки минеральных масел как горячего теплоносителя:

1) Невысокая теплоёмкость минеральных масел и низкий коэффициент теплоотдачи приводят к низкой производительности теплообменной аппаратуры.

2) Высокая вязкость, ещё более возрастающая в ходе длительной эксплуатации из-за окисления и полимеризации.

3) Разложение минеральных масел при перегреве, что ограничивает рабочий интервал температур (не выше 200–300 °С).

4) Постепенное разложение, окисление или полимеризация минеральных масел, что влечёт необходимость их частой замены, а также установки в циркуляционном контуре дополнительных устройств, удаляющих твёрдые и газообразные продукты разложения.

5) Загрязнение поверхностей трубопроводов и аппаратов продуктами разложения или полимеризации минеральных масел.

6) Горючесть минеральных масел и взрывоопасность их паров.

6. Высокотемпературные органические теплоносители

Для получения высоких температур без существенного увеличения давления в системе используются высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ): индивидуальные органические вещества (этиленгликоль, глицерин, нафталин и его производные, дифенил и продукты его хлорирования, полифенолы), смеси (дифенильная смесь).

Достоинства жидких ВОТ как горячих теплоносителей:

1) Возможность нагрева до высоких температур без существенного повышения давления (нагрев жидкой дифенильной смесью при атмосферном давлении проводят до 255 °С, под избыточным давлением – до 380 °С).

2) Отсутствие коррозионного действия большинства ВОТ на материал трубопроводов и материалов.

3) Низкая токсичность большинства ВОТ.

Недостатки жидких ВОТ как горячих теплоносителей:

1) Меньшая, чем у воды, теплоёмкость ВОТ.

2) Меньший, чем у воды, коэффициент теплоотдачи (дифенильная смесь имеет коэффициент теплоотдачи около $200 \div 350 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$).

3) Горючесть большинства ВОТ.

4) Стоимость ВОТ существенно выше стоимости воды.

5) Большинство ВОТ разлагаются при резком повышении температуры (дифенильная смесь начинает быстро разлагаться при 400 °С).

Состав наиболее распространённых ВОТ

Дифенильная смесь (даутерм) – смесь, содержащая 26,5 % дифенила и 73,5 % дифенилового эфира, температура кипения при атмосферном давлении 258 °С.

Двойная нафталиновая смесь – эвтектическая бинарная смесь, содержащая 15 % нафталина и 85 % дифенилового эфира, температура плавления смеси 12 °С, температура термического разложения нафталина 320 °С.

Тройная нафталиновая смесь – эвтектическая трёхкомпонентная смесь, содержащая 15 % нафталина, 25,5 % дифенила и 59,5 % дифенилового эфира, рабочий интервал температур ограничен, с одной стороны, температурой плавления смеси 4 °С, с другой стороны – температурой термического разложения нафталина 320 °С.

7. Нагрев электрическим током

Наряду с топочными газами электрическая энергия представляет собой прямой источник тепловой энергии. Нагрев электрическим током имеет ряд существенных преимуществ: высокий КПД; широкий рабочий диапазон температур, превосходящий все иные теплоносители, и ограниченный только термической стойкостью материалов, из которых изготовлен теплообменный аппарат (электропечь); компактность оборудования; удобство подвода электрического тока к теплообменному оборудованию; возможность точного и быстрого регулирования нагрева.

Несмотря на столь существенные преимущества, нагрев электрическим током не находит широкого применения в химической технологии, что связано с высокой стоимостью электрической энергии.

Основные способы нагрева электрическим током:

- Нагрев электрическим сопротивлением прямого и косвенного действия;
- Электроиндукционный нагрев индукционными токами;
- Высокочастотный диэлектрический нагрев;
- Электродуговой нагрев.

ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ (ХЛАДАГЕНТЫ)

По фазовому состоянию хладагенты можно разделить на жидкие и газообразные. Газообразные хладагенты в химической технологии представлены в основном воздухом. Из жидких хладагентов наиболее широко в химической технологии применяется вода, которая является вторым после воздуха по доступности хладагентом.

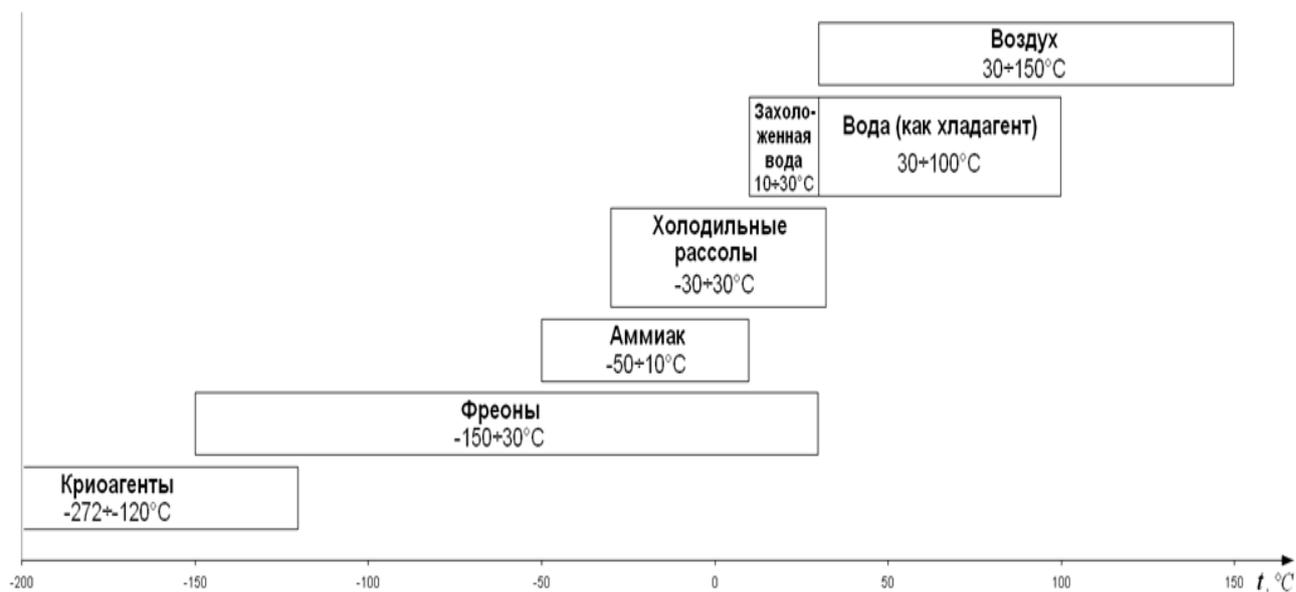


Рис.15.4. Интервалы рабочих температур хладагентов

1. Воздух

Получаемый из окружающей среды воздух обычно не требует никакой дополнительной обработки и подготовки и может быть сразу использован как хладагент. В редких случаях требуется очистка воздуха от пыли или влаги перед его использованием, но, даже с учётом этого, воздух остаётся наиболее дешёвым хладагентом.

Достоинства воздуха как хладагента:

- 1) Доступность (чаще всего, не требуется предварительной очистки и подготовки).
- 2) Дешевизна (воздух получают непосредственно из окружающей среды).
- 3) Воздух не загрязняет поверхности аппаратов.

Недостатки воздуха как хладагента:

1) Низкая плотность воздуха и низкая изобарная удельная теплоёмкость приводят к необходимости прокачивать через теплообменные аппараты значительные объёмы охлаждающего воздуха.

- 2) Низкий коэффициент теплоотдачи от стенки аппарата к воздуху

2. Вода

Вода, как и воздух, может являться прямым источником холода в том случае, если поступает из окружающей среды. Температура такой воды будет зависеть от её источника: речная, прудовая и озёрная вода в зависимости от времени года имеет температуру $4\div 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, артезианская вода – температуру $8\div 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. При проектировании теплообменного оборудования начальную температуру охлаждающей воды следует принимать исходя из наиболее неблагоприятных – летних условий. Таким образом, для воды как хладагента не следует рассчитывать на охлаждение ниже $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника должна составлять не более $40\div 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На химическом предприятии охлаждающая вода циркулирует по замкнутому контуру,

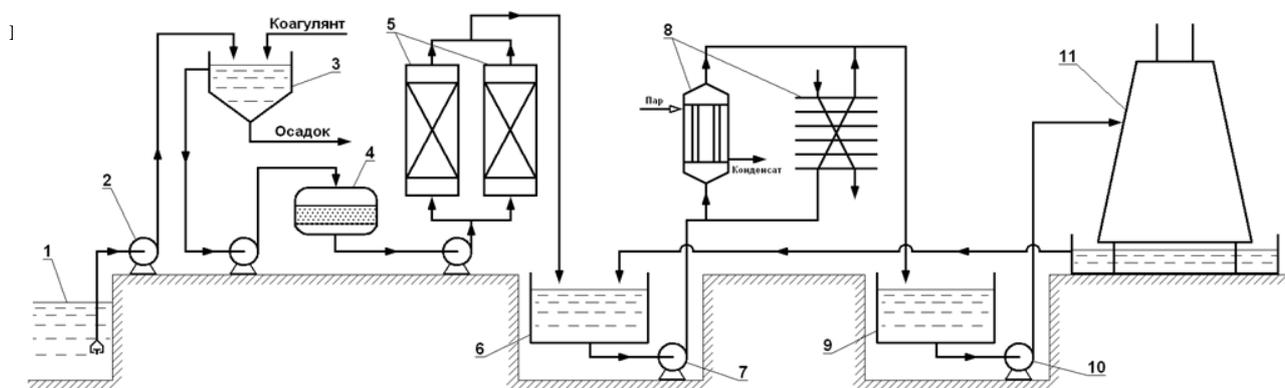


Рис.15.5. Схема водоподготовки и водооборотного цикла химического предприятия:

1 – водоём; 2 – насос водозабора; 3 – отстойник-коагулятор; 4 – фильтр со слоем кварцевого песка; 5 – ионообменные колонны; 6 – сборник холодной воды; 7 – насос холодной воды; 8 – теплообменники; 9 – сборник отработанной (тёплой) воды; 10 – насос тёплой воды; 11 – градирня

Достоинства воды как хладагента:

- 1) Невысокая стоимость воды.
- 2) Самая высокая среди хладагентов теплоёмкость ($4,18\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$).
- 3) Высокий коэффициент теплоотдачи от стенки к воде ($1\ 000\div 6\ 000\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$).
- 4) Нетоксична, экологически безопасна, взрыво- и пожаробезопасна).
- 5) Вода – один из прямых источников холода, либо может быть охлаждена воздухом в градирнях.

Недостатки воды как хладагента:

- 1) Коррозионная активность воды
- 2) В воде содержатся соли жёсткости, загрязняющие поверхность теплообменников

3. Холодильные рассолы

Холодильными рассолами называют водные растворы солей (хлорида кальция, хлорида натрия и др.), применяемые как промежуточные теплоносители для транспортировки холода от холодильной машины к потребляющим аппаратам.

Достоинства холодильных рассолов:

1) Невысокая стоимость холодильных рассолов по сравнению с фреонами (использование холодильных рассолов позволяет значительно сэкономить фреон, которого потребовалось бы гораздо больше, если для доставки холода к потребляющим аппаратам использовался непосредственно он).

2) Замерзание части рассола концентрирует оставшуюся часть, препятствуя дальнейшему замерзанию.

3) Высокая теплоёмкость рассола (при необходимости остановки холодильной машины рассол некоторое время способен поддерживать низкую температуру в системе).

4) Безопасность рассолов (нетоксичны, взрыво- и пожаробезопасны).

5) Рассолы безопасны для экологии (если соблюдать правила утилизации).

Недостатки холодильных рассолов:

1) Высокая коррозионная активность.

2) Наличие двойного перепада температур: в холодильной машине от фреона к рассолу и в аппарате от рассола к охлаждаемой среде. Это влечёт необходимость создания более глубокого холода в холодильной машине, чем при непосредственном охлаждении фреоном.

3) Высокая вязкость рассолов по сравнению с фреонами.

4. Аммиак как хладагент

Аммиак в нормальных условиях – бесцветный газ с резким запахом, под избыточным давлением легко сжижается. До настоящего времени аммиак продолжает оставаться самым распространенным холодильным агентом промышленных холодильных установок.

Достоинства аммиака как хладагента:

1) Аммиак может быть использован для подвода холода непосредственно к охлаждаемой среде (в отличие от фреонов).

2) Высокая теплоёмкость жидкого аммиака и низкая вязкость жидкого аммиака

3) Высокий коэффициент теплоотдачи от стенки к аммиаку.

4) Аммиак имеет оптимальные свойства в наиболее важном для холодильной техники температурном интервале от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5) Не оказывает корродирующего действия на материал трубопроводов и аппаратов.

6) Экологически безопасен

Недостатки аммиака как хладагента:

1) По физиологическому действию на организм относится к группе веществ удушающего и нейротропного действия.

2) Пожаро- и взрывоопасен.

5. Фреоны (хладоны)

Получение и область применения

Фреоны (хладоны) – техническое название группы насыщенных алифатических фторсодержащих углеводородов, применяемых в качестве хладагентов. Известно более 40 различных фреонов. Наиболее широко в качестве хладагентов применяют R12 (дифтордихлорметан) и R22 (хлордифторметан).

Достоинства фреонов:

1) Благодаря своему многообразию фреоны обеспечивают охлаждение в широком температурном интервале от $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2) Высокие объёмные холодопроизводительности значительной части фреонов (не уступающие аммиаку).

3) Фреоны химически инертны, не оказывает корродирующего действия на материал трубопроводов и аппаратов.

4) Фреоны не токсичны и безопасны для человека.

5) Фреоны пожаро- и взрывобезопасны.

6) Фреоны, являясь хорошими растворителями, смывают загрязнения с внутренних поверхностей трубопроводов и аппаратов.

Недостатки фреонов:

1) Пары фреонов, попадая в атмосферу, способствуют разрушению озонового слоя в атмосфере Земли.

2) При нагревании выше $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ или под действием открытого пламени образуют ядовитые вещества, в том числе фосген.

3) Более высокая стоимость фреонов по сравнению с аммиаком.