

ЛЕКЦИЯ №16

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Теплообменные аппараты в зависимости способа передачи теплоты подразделяют на поверхностные, смесительные (контактные), регенеративные (Рис.16.1).

Поверхностные теплообменники представляют собой наиболее значительную группу аппаратов, используемых в химической технологии. В таких аппаратах теплоносители разделены стенкой, через которую теплота передаётся за счёт теплопроводности материала стенки. Главной характеристикой таких аппаратов является площадь поверхности стенки, поскольку именно от её размера зависит количество теплоты, передаваемое в аппарате от одного теплоносителя к другому. Форма поверхности стенки может быть трубчатой, плоской или иной.

В *смесительных (контактных) теплообменниках* теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей. В *регенеративных теплообменниках* процесс переноса тепла от горячего теплоносителя к холодному происходит на насадке, которая нагревается горячим теплоносителем, а затем сама нагревает холодный теплоноситель.

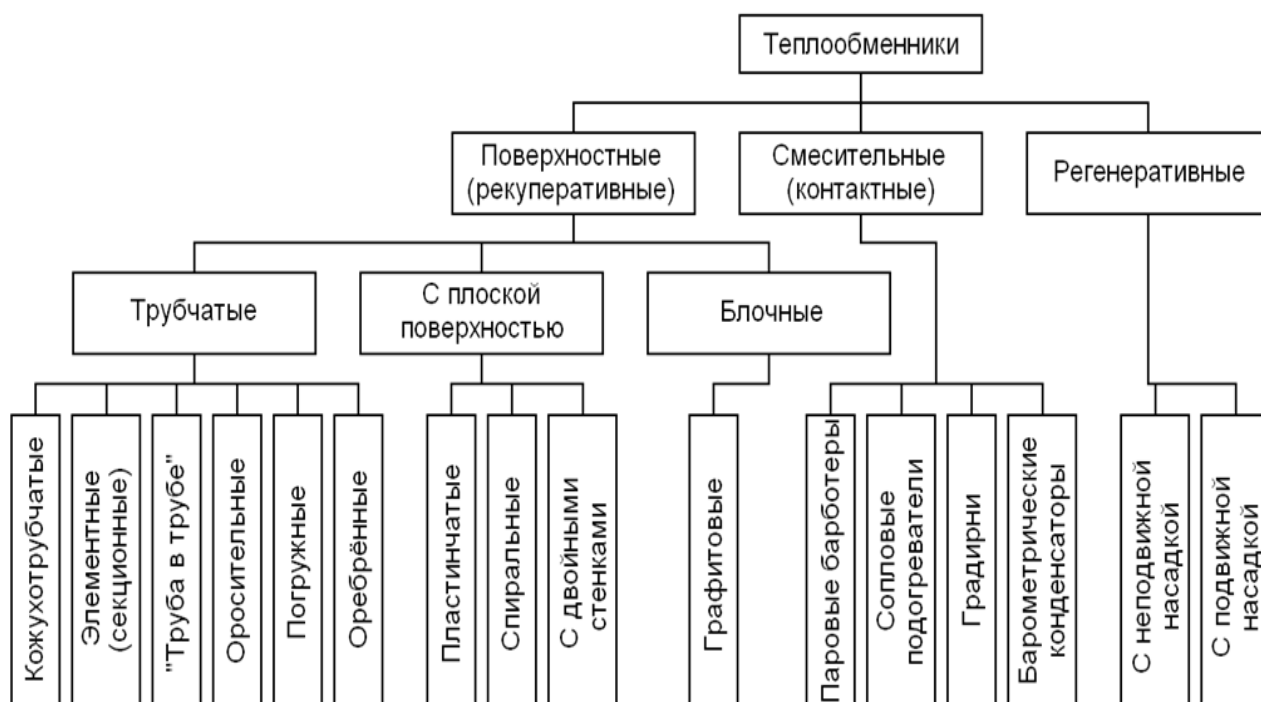


Рис.16.1. Классификация теплообменных аппаратов

По назначению поверхностные теплообменные аппараты подразделяют на следующие типы:

холодильники – для охлаждения жидких или газовых сред;

подогреватели – для нагрева жидких или газовых сред жидким теплоносителем или конденсирующимся паром;

конденсаторы – для конденсации паров при охлаждении водой или другим хладагентом;

испарители – для испарения жидкостей при обогреве паром или жидким высокотемпературным теплоносителем.

Кожухотрубчатые теплообменники

Устройство и принцип работы вертикального одноходового кожухотрубчатого теплообменника

Холодный теплоноситель II через штуцер на днище 1 (Рис.16.2) поступает во входную камеру, образованную днищем и нижней трубной решёткой 2. Во входной камере поток теплоносителя распределяется по трубам 3, движется вверх, попадая в верхнюю камеру, образованную крышкой 4 и верхней трубной решёткой 5, и покидает аппарат через штуцер на крышке. Горячий теплоноситель I поступает в межтрубное пространство 6 и движется сверху вниз, обтекая трубы. В межтрубном пространстве установлены сегментные перегородки 7, способствующие турбулизации течения теплоносителя.

Такое движение теплоносителей (нагреваемый – снизу вверх, а охлаждаемый – сверху вниз) способствует более эффективному переносу теплоты, так как направление естественной конвекции из-за разности температур совпадает с направлением вынужденной конвекции.

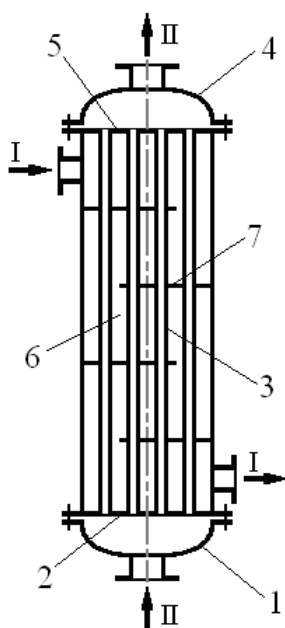


Рис.16.2. Кожухотрубчатый одноходовой теплообменник: 1 – днище; 2 – нижняя трубная решётка; 3 – трубы; 4 – крышка; 5 – верхняя трубная решётка; 6 – межтрубное пространство; 7 – сегментные перегородки; I, II – теплоносители

Размещение и способы крепления труб в трубных решётках

Наиболее распространённый способ размещения труб в трубных решётках – по вершинам равносторонних треугольников (рис.16.3, а). Применяются и другие способы размещения труб (рис.16.3, б, в). Способ размещения должен обеспечить максимальную компактность аппарата, высокое значение коэффициента теплоотдачи, низкое гидравлическое сопротивление и возможность очистки межтрубного пространства.

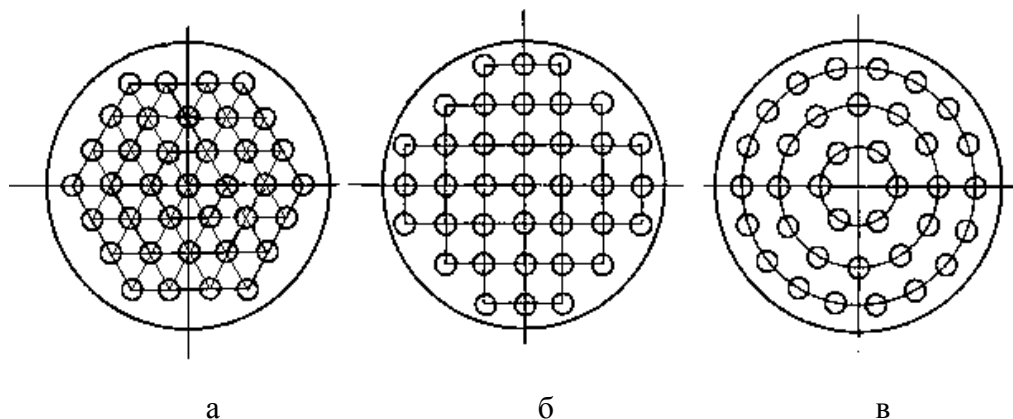


Рис. 16.3. Способы размещения труб в трубных решётках:

а – по вершинам равносторонних треугольников; б – по вершинам квадратов; в – по концентрическим окружностям

Для обеспечения герметизации теплообменников и предотвращения смешения теплоносителей разработаны различные способы крепления труб в трубных решётках (рис.16.4). Чаще всего трубы закрепляют при помощи развальцовки, это наиболее удобный и распространённый метод. Если материал труб не поддается развальцовке, или при большом давлении теплоносителя - используют сварку. Применение сальниковых уплотнений дорого, сложно и недостаточно надёжно, хотя значительно упрощает разбор теплообменника для его очистки. Кроме того, крепление труб с помощью сальникового уплотнения является одним из способов компенсации температурных деформаций теплообменника.

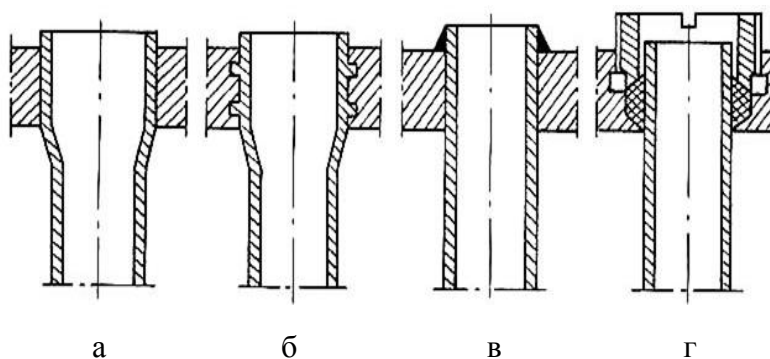


Рис.16.4. Крепление труб в трубных решетках:

а – развальцовка; б – развальцовка с канавками; в – сварка; г – сальниковые уплотнения

Многоходовые кожухотрубчатые теплообменники

Теплоноситель, поступающий в трубное пространство одноходового теплообменника, распределяется по всем трубам равномерно. Однако, в случае относительно небольших расходов теплоносителя, это приводит к малой скорости теплоносителя в трубах и, как следствие, к низкому значению коэффициента теплоотдачи в трубном пространстве.

Для интенсификации теплоотдачи в трубном пространстве необходимо увеличить скорость теплоносителя в нём. Для этого теплоноситель распределяют не по всем трубам, а направляют его таким образом, чтобы он последовательно поступал только в первую часть труб, затем в вторую часть и т.д. При этом площадь сечения потока, поступающего в часть труб меньше, чем в исходном варианте одноходового теплообменника, следовательно, скорость теплоносителя возрастает. Такие теплообменники называют *многоходовыми* по трубному пространству (рис.16.5).

В многоходовом по трубному пространству кожухотрубчатом теплообменнике с помощью поперечных перегородок 2, установленных в крышке и днище теплообменника, пучок труб разделён на секции или ходы, по которым последовательно движется теплоноситель. Очевидно, что в таких теплообменниках скорость движения теплоносителя по трубам, при неизменном его расходе, увеличивается кратно числу ходов.

Для увеличения скорости, турбулизации потока, повышения коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника применяют сегментные перегородки. Применение сегментных перегородок эффективно только для теплоносителей, которые нагреваются или охлаждаются, т.е. не изменяющих фазового состояния.

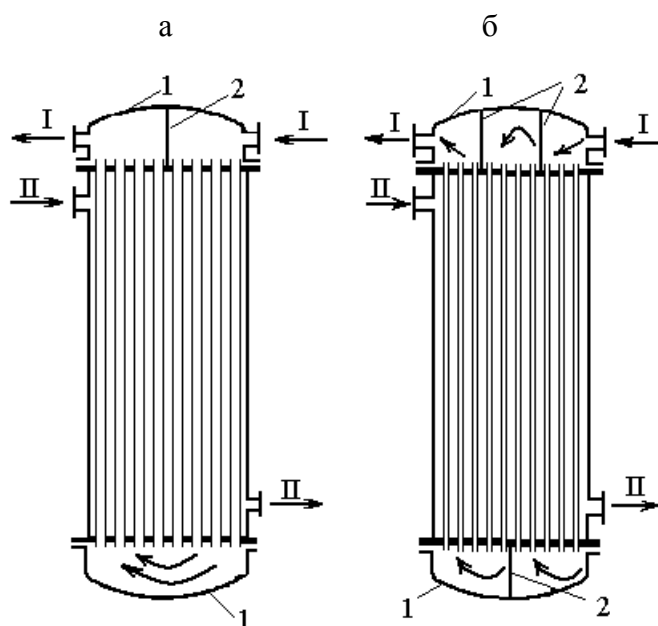


Рис.16.5. Схема многоходовых (по трубному пространству) кожухотрубчатых теплообменников:
а – двухходовой, б – четырёхходовой;
1 – крышки и днища, 2 – перегородки;
I, II – теплоносители

Увеличение скорости движения теплоносителей в трубном и межтрубном пространствах теплообменника влечёт за собой увеличение гидравлического сопротивления, а также снижение движущей силы теплопередачи. Поэтому выбор конструкции кожухотрубчатого теплообменника должен быть сделан на основе техно-экономического анализа.

Устройства для компенсации температурных деформаций

Кожух теплообменника и его трубы контактируют с разными теплоносителями, температура этих элементов конструкции теплообменника различна. Если разница температур кожуха и труб достаточно велика (более 50 К), то кожух и трубы удлиняются существенно неодинаково, что влечёт за собой значительные механические напряжения в трубных решётках, и может привести к нарушению плотности соединения труб с трубными решётками. Поэтому при значительных разнице температур кожуха и труб и большой длине труб теплообменника применяют теплообменники нежёсткой конструкции (Рис.16.6).

При небольших температурных деформациях (не более 10–15 мм) и невысоких давлениях в межтрубном пространстве (не более 0,5 МПа) в качестве устройства для компенсации температурных деформаций может быть использован *линзовый компенсатор* - гибкая складка на кожухе теплообменника. Линзовый компенсатор прост, дешев, однако он значительно снижает прочность кожуха.

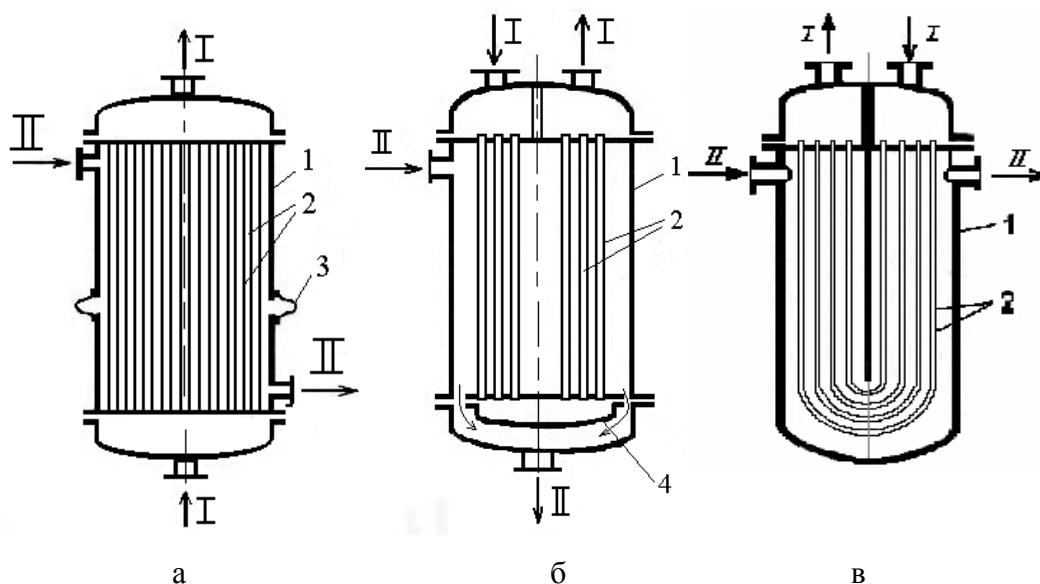


Рис.16.6. Кожухотрубчатые теплообменники с устройствами для компенсации температурных деформаций: а – теплообменник с линзовым компенсатором; б – теплообменник с U-образными трубами; в – теплообменник с плавающей головкой; 1 – кожух; 2 – трубы; 3 – линзовый компенсатор; 4 – плавающая головка; I, II – теплоносители

В теплообменнике с *U-образными трубами* нет нижней решетки, трубы могут удлиняться или сокращаться независимо от кожуха. Такие аппараты не имеют ограничений по температурным деформациям и давлению в межтрубном пространстве, как аппараты с линзовым компенсатором. Однако в таких аппаратах усложняется монтаж труб, затруднена очистка их внутренней поверхности.

В теплообменнике с *плавающей головкой* нижняя трубная решётка не связана с кожухом и снабжена отдельной крышкой. Обладает теми же достоинствами, что и аппарат с *U-образными трубами*, к тому же, он лишён недостатков, связанных с проблемой монтажа труб и механической очистки их внутренних поверхностей. Однако стоимость таких аппаратов несколько выше, чем теплообменников с другими способами компенсаций температурных деформаций.

Достоинства кожухотрубчатых теплообменников:

- 1) Большая площадь поверхности теплопередачи при относительно компактных размерах кожухотрубчатого теплообменника.
- 2) Простота изготовления.
- 3) Расход материала на изготовление сравнительно невелик.
- 3) Надёжны в работе.
- 4) Способны работать под большими давлениями.

Недостатки кожухотрубчатых теплообменников:

- 1) Не способны эффективно работать при низких расходах теплоносителей.
- 2) Трудности изготовления из материала, не допускающего развальцовки и сварки.
- 3) Трудности при осмотре, чистке и ремонте.

Пластинчатые теплообменники

Устройство и принцип работы

Пластинчатые теплообменники относятся к подклассу теплообменников с плоской поверхностью теплопередачи, образованной гофрированными параллельными пластинами. (рис.16.7). Пластины развернуты одна относительно другой на 180°, собраны в пакет и закреплены в раме. При этом образуется система узких волнистых каналов (рис.16.8) шириной 3÷6 мм, по которым и протекают теплоносители. Такая установка пластин обеспечивает чередование горячих и холодных каналов. В процессе теплообмена жидкости движутся навстречу друг другу (в противотоке). Двойное резиновое уплотнение практически исключает смешение и потерю теплоносителей.

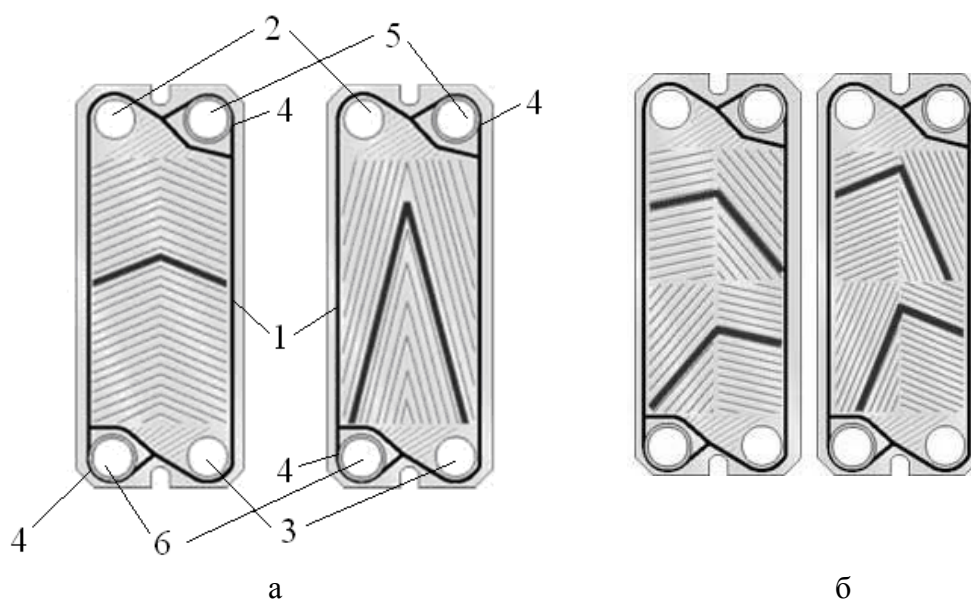


Рис.16.7. Гофрированные пластины пластинчатых теплообменников:

а – обычные (симметричные) пластины; б – пластины с рисунком «ассиметричная ёлочка»; 1 – прокладка, ограничивающая пространство первого теплоносителя; 2, 3 – отверстия для входа и выхода первого теплоносителя; 4 – прокладка, ограничивающая пространство второго теплоносителя; 5, 6 – отверстия для прохода второго теплоносителя



Рис.16.8. Характер движения потока жидкости в канале, образованном двумя соседними гофрированными пластинами

Разборный пластинчатый теплообменник (рис.16.9) представляет собой пакет гофрированных пластин, зажатый в специальном станке, подобном тому, что используется для рамного фильтр-пресса. Сжатие пакета пластин в станке, состоящем из подвижной плиты 8 и неподвижной плиты, направляющих стержней 7 и 13, стойки 9 и стяжного винтового устройства 10, обеспечивает плотное прилегание прокладок между пластинами 6. Теплоноситель I поступает через штуцер 12 и движется по проходу 15, образованному отверстиями в пластинах. Продвигаясь по проходу, теплоноситель I распределяется по нечётным каналам (считая слева направо), образованным гофрированными пластинами 6. Отработанный теплоноситель I собирается в проход 4, и по нему направляется к выходному штуцеру 2. Теплоноситель II, поступающий через штуцер 1 и двигаясь по проходу 5, распределяется по чётным каналам. Отработанный теплоноситель II собирается в проход 14 и по нему направляется к выходному штуцеру 11.

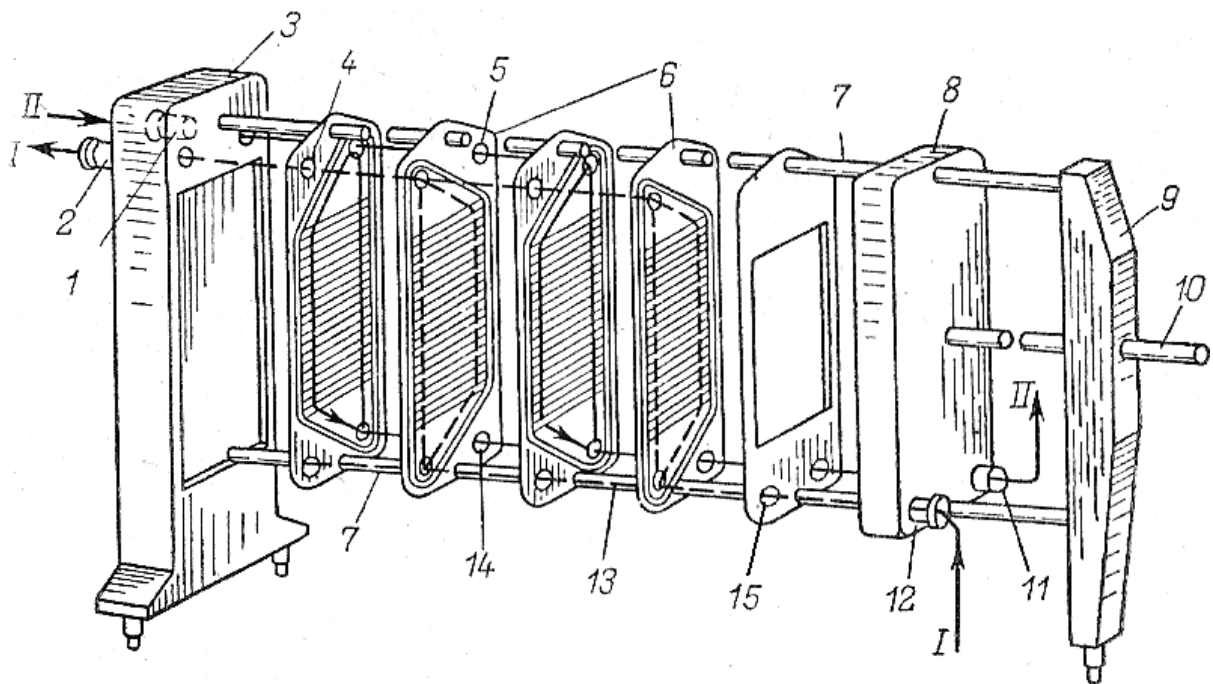


Рис.16. 9. Разборный пластинчатый теплообменник типа «фильтр-пресс»:

1 – штуцер ввода теплоносителя II; 2 – штуцер вывода теплоносителя I; 3 – неподвижная плита; 4 – проход для движения отработанного теплоносителя I; 5 – проход для движения свежего теплоносителя II; 6 – гофрированные пластины; 7 – верхний направляющий стержень; 8 – подвижная плита; 9 – неподвижная стойка; 10 – стяжное винтовое устройство; 11 – проход для движения отработанного теплоносителя II; 12 – штуцер ввода теплоносителя I; 13 – нижний направляющий стержень; 14 – проход для движения отработанного теплоносителя II; 15 – проход для движения свежего теплоносителя I

Разборные пластинчатые теплообменники достаточно просты в изготовлении, их легко разбирать для чистки и ремонта. Однако герметизация пластин представляет серьёзную проблему, поэтому они не могут работать при высоких давлениях. Эта проблема практически исчезает в сварных или паяных пластинчатых теплообменниках, однако последние являются неразборными, они подлежат замене при загрязнении пластин, что удорожает процесс теплообмена. Применяют также полуразборные пластинчатые теплообменники, где пластины сварены попарно.

Одно из существенных преимуществ пластинчатых теплообменников заключается в возможности различных схем пакетной компоновки пластин. Пакетом в данном случае названа группа пластин, образующих систему параллельных каналов, в которых данный теплоноситель движется только в одном направлении (сверху вниз или наоборот). Пакет по существу аналогичен одному ходу по трубам в многоходовых кожухотрубчатых теплообменниках. При заданном расходе теплоносителя увеличение числа пакетов приводит к увеличению скорости теплоносителя, что интенсифицирует теплоотдачу, но увеличивает гидравлическое сопротивление.

Достоинства пластинчатых теплообменников:

1) Пластинчатые теплообменники компактны (в 4÷8 раз меньше по габаритным размерам равных по площади поверхности теплопередачи кожухотрубчатых теплообменников).

2) Пластинчатые теплообменники обеспечивают высокий коэффициент теплопередачи 3000÷4000 Вт/(м²·К) (что более чем в 3 раза выше, чем в кожухотрубчатых), благодаря высокой скорости теплоносителей в каналах (1÷3 м/с), при сравнительно невысоких для таких скоростей гидравлических сопротивлениях.

3) Разборные пластинчатые теплообменники удобны для обслуживания, чистки и ремонта.

4) Имеется возможность различных схем компоновки пластин, что позволяет подобрать оптимальный режим работы при заданных расходах теплоносителей.

Недостатки пластинчатых теплообменников:

1) Невозможность работы при высоких давлениях из-за недостаточной герметичности прокладок у разборных пластинчатых теплообменников и опасности деформации пластин у сварных (разборные теплообменники работают при давлениях до 1 МПа, сварные – до 4 МПа).

2) Проблема обслуживания сварных пластинчатых теплообменников – чистка и ремонт затруднены.

Двухтрубные теплообменники

Устройство и принцип работы

Двухтрубные теплообменники, применяемые при небольших тепловых нагрузках, когда требуемая поверхность теплообмена не превышает 30 м^2 , часто называют теплообменниками типа «труба в трубе». Они представляют собой набор последовательно соединённых элементов, состоящих из двух концентрически расположенных труб (рис.16.10). Один теплоноситель I движется по внутренним трубам 1, другой теплоноситель II – по кольцевому зазору, образованному внешними и внутренними трубами 2. Внутренние трубы соединяются с помощью калачей 3, а наружные - с помощью соединительных патрубков 4.

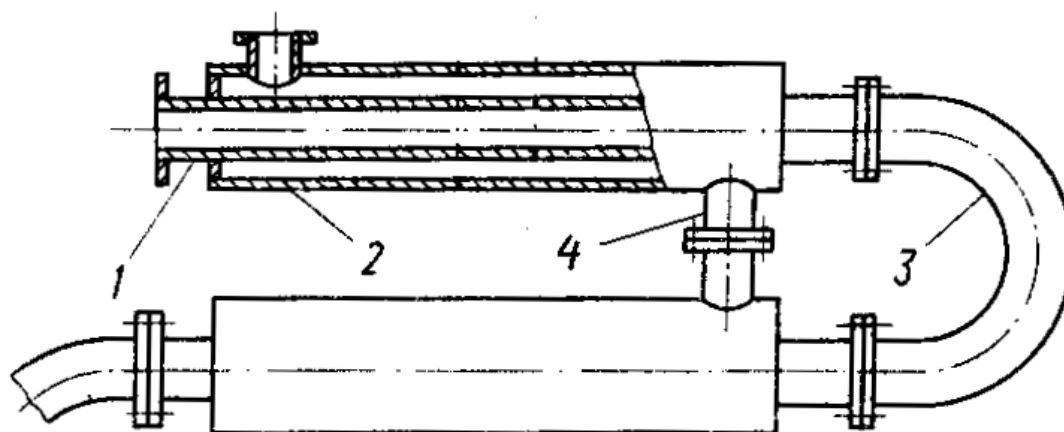


Рис.16.10. Неразборный однопоточный теплообменник типа «труба в трубе»:

1 – внутренняя труба; 2 – внешняя труба; 3 – соединительное колено (калач); 4 – соединительный патрубок

Достоинства двухтрубных теплообменников:

- 1) Высокие коэффициенты теплоотдачи благодаря высоким скоростям движения теплоносителей.
- 2) Возможность работы при небольших расходах теплоносителей.
- 3) Возможность работы при высоких давлениях.

Недостатки двухтрубчатых теплообменников:

- 1) Относительно небольшие площади поверхности теплопередачи при значительных габаритных размерах теплообменника.
- 2) Большой расход материала на изготовление.
- 3) В неразборных двухтрубных теплообменниках затруднена чистка.

Оросительные теплообменники

Устройство и принцип работы

Оросительные теплообменники применяют главным образом в качестве холодильников для жидкостей и газов или как конденсаторы паров. Оросительный теплообменник представляет собой змеевик (рис.16.11), по которому протекает охлаждаемый теплоноситель. Снаружи трубы орошаются водой, которую подают в распределитель - желоб 3. Вода, последовательно перетекая по наружным поверхностям труб змеевика, частично испаряется. Неиспарившаяся вода поступает в корыто 4. За счёт испарения части воды процесс теплообмена идёт интенсивнее, а расход воды на охлаждение в оросительных теплообменниках ниже, чем в холодильниках других типов. Однако при этом происходит необратимая потеря испарившейся воды, а также увлажнение окружающего воздуха. Поэтому оросительные теплообменники чаще устанавливают на открытом воздухе, а при установке в помещениях снабжают кожухом и подключают к системе вытяжной вентиляции.

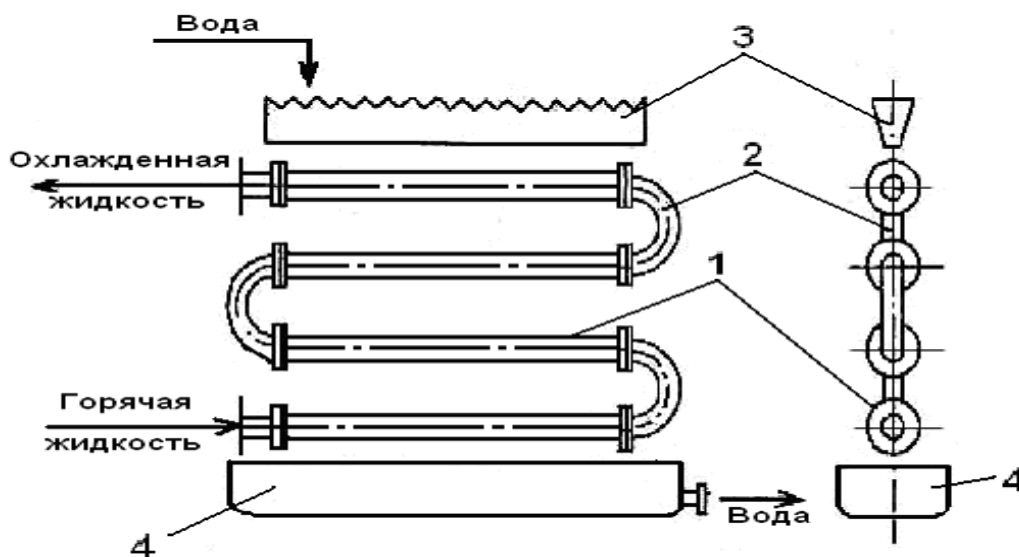


Рис.16.11. Оросительный холодильник:

1 – трубы; 2 – соединительные колена (калачи); 3 – желоб для распределения охлаждающей воды; 4 – корыто для сбора воды

Достоинства оросительных теплообменников:

- 1) Простота изготовления и низкая стоимость.
- 2) Лёгкость чистки наружных стенок труб.
- 3) Интенсификация теплообмена за счёт частичного испарения воды.
- 4) Меньший расход охлаждающей воды

Недостатки оросительных теплообменников:

- 1) Безвозвратная потеря испарившейся воды и увлажнение воздуха.
- 2) Громоздкость оросительных теплообменников (особенно снабжённых кожухами для работы внутри помещений).
- 3) Неравномерность смачивания труб (нижние ряды могут слабо смачиваться и практически не участвовать в теплообмене).

Погружные теплообменники

Устройство и принцип работы

Погружные теплообменники (рис.16.12) представляют собой змеевик 2, помещённый в сосуд 1 с жидким теплоносителем I. Другой теплоноситель II движется внутри змеевика. Скорость движения теплоносителя I в сосуде аппарата мала вследствие большой площади сечения аппарата, что обуславливает низкие значения коэффициента теплоотдачи между наружной поверхностью змеевика и теплоносителем I. Иногда для увеличения этого коэффициента теплоотдачи увеличивают скорость циркуляции теплоносителя в аппарате путём установки направляющего стакана 3, который упорядочивает движение теплоносителя, заставляя его направленно обтекать змеевик. При этом жидкость движется либо за счёт естественной конвекции, либо принудительно под действием мешалки 4. Зачастую погружной змеевик крепят к крышке аппарата, что позволяет при чистке и ремонте извлекать его из аппарата вместе со снятой крышкой.

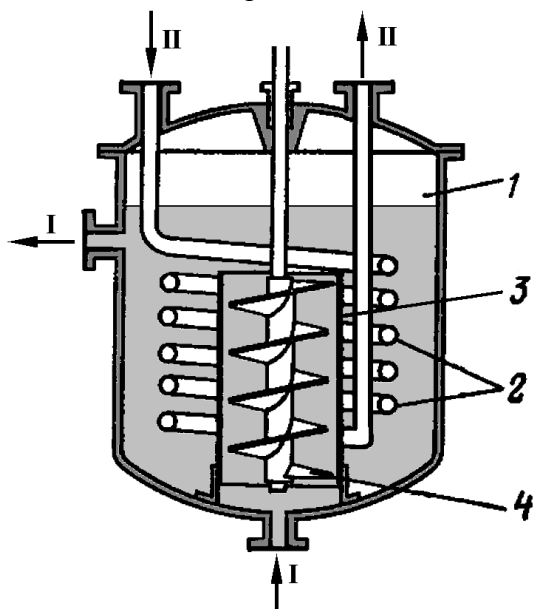


Рис.16.12. Теплообменный аппарат с погружным змеевиком:

1 – сосуд аппарата; 2 – змеевик; 3 – стакан;
4 – мешалка; I, II – теплоносители

Достоинства погружных теплообменников:

- 1) Простота устройства и низкая стоимость изготовления.
- 2) Доступность наружной поверхности для чистки.

- 3) Возможность работы при больших давлениях внутри змеевика.
- 4) Высокий коэффициент теплоотдачи внутри змеевика за счёт высокой скорости теплоносителя в змеевике.

Недостатки погружных теплообменников:

- 1) Небольшая поверхность теплопередачи (менее 15 м^2).
- 2) Недоступность внутренней поверхности змеевика для чистки.
- 3) Низкий коэффициент теплоотдачи со стороны наружной поверхности змеевика.

Оребрённые теплообменники

Устройство и принцип работы

Оребренные теплообменники используются в таких процессах теплообмена, в которых коэффициенты теплоотдачи теплоносителей резко различаются по величине. Увеличение поверхности теплообмена с помощью оребрения труб со стороны теплоносителя с низким коэффициентом теплоотдачи позволяет существенно повысить тепловую нагрузку теплообменника. Этот принцип используют при нагреве и охлаждении газов и сильновязких жидкостей.

Очевидно, что материал, из которого изготавливают ребристые трубы, должен иметь большой коэффициент теплопроводности. Для снижения гидравлического сопротивления поверхность рёбер должна быть параллельна направлению движения потока теплоносителя. Форма рёбер может быть различной. Наиболее часто используют рёбра прямоугольного (рис.16.13, а) и трапециевидного (рис.16.13, б) сечения.

Конструкции оребренных теплообменников весьма разнообразны.

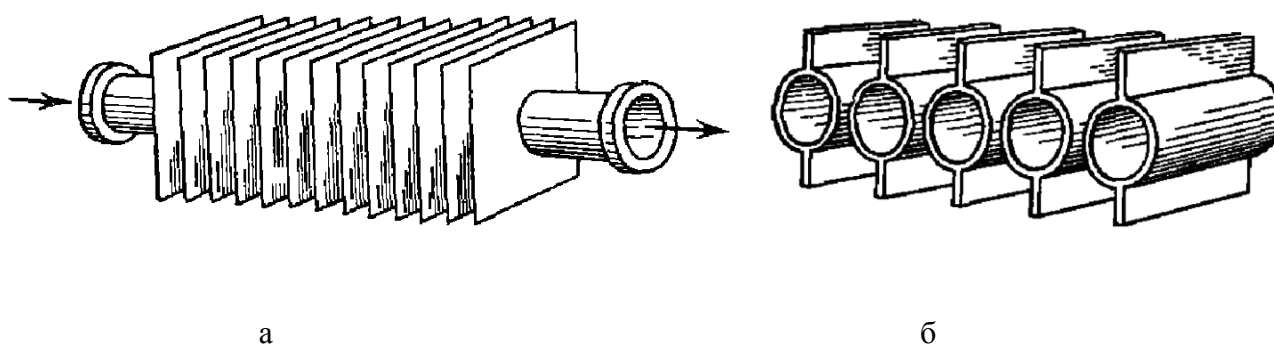


Рис.16.13. Оребрение труб поперечное (а) и продольное «плавниковое» (б)

На рис.16.14 представлен широко распространённый теплообменник для нагрева воздуха – пластинчатый калорифер. Соприкасаясь с пластинами теплообменника, воздух нагревается, его плотность уменьшается, и он за счет естественной конвекции поднимается вверх, а на его место приходит новая порция холодного воздуха. По такому принципу работают бытовые системы отопления, которые также являются оребрёнными воздушными калориферами. Однако принудительная циркуляция воздуха существенно улучшает теплоотдачу. С этой целью пластинчатый калорифер помещают в корпус, а подачу воздуха осуществляют с помощью вентиляторов и воздуходувок.

Теплообменники воздушного охлаждения получают все более широкое применение. Это объясняется гораздо меньшей стоимостью воздуха как хладагента, по сравнению с водой.

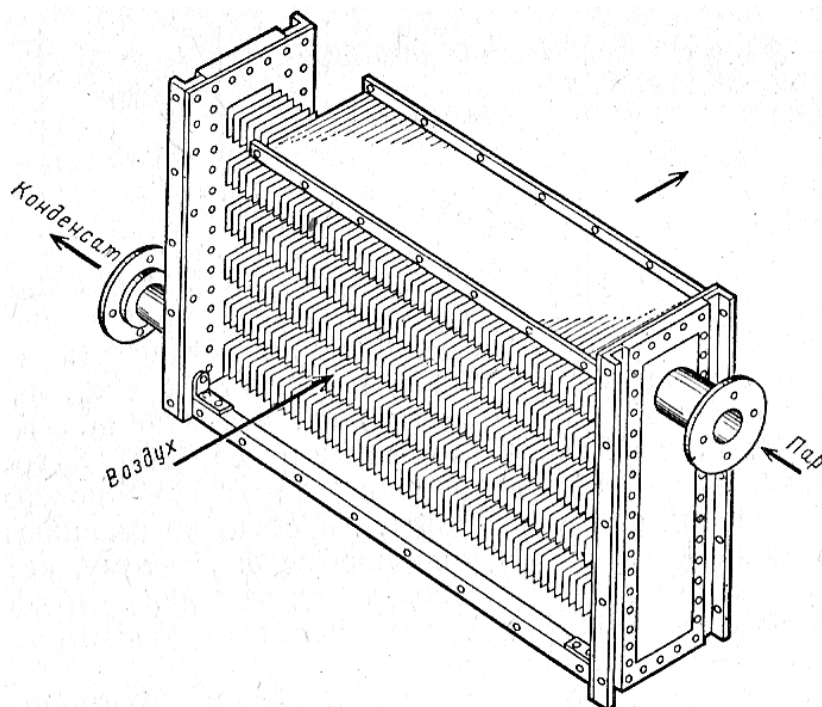


Рис.16.14. Пластинчатый калорифер для нагрева воздуха

Достоинства оребрённых теплообменников:

- 1) Возможность работы со сложными (с точки зрения теплообмена) теплоносителями – воздухом и высоковязкими жидкостями.
- 2) Большая поверхность теплоотдачи со стороны сложного (с точки зрения теплообмена) теплоносителя при высокой компактности теплообменного аппарата.

3) Возможность использования в качестве хладагента воздуха, что экономически выгодно, поскольку позволяет сэкономить на более дорогой, чем воздух, водооборотной воде.

Недостатки оребренных теплообменников:

1) Для изготовления пластин-ребрений требуется материал с высокой теплопроводностью (сталь подходит не всегда, зачастую используется алюминий или медь).

2) Теплообменники воздушного охлаждения всё же существенно более громоздки, чем теплообменники для охлаждения водой.

Спиральные теплообменники

Устройство и принцип работы

В спиральных теплообменниках (рис.16.15) поверхность теплообмена образована двумя длинными металлическими листами 1 и 2, свёрнутыми по спирали. Внутренние концы листов приварены к глухой перегородке 3. Между листами образованы два изолированных друг от друга спиральных канала прямоугольного сечения шириной $2\div 12$ мм. По каналам противотоком движутся теплоносители I и II. Иногда ширину канала фиксируют дистанционной полосой (штифтом), которая обеспечивает одинаковое по всей длине каналов расстояние между листами, а также способствует упрочнению конструкции аппарата в целом. С торцов аппарат закрыт плоскими крышками 4 с уплотняющей прокладкой, изготавливаемой из резины, паронита, асбеста или мягкого металла. Крышки крепят болтами к фланцам 5. Штуцера для ввода и вывода теплоносителей крепятся на крышки и возле наружных концов свёрнутых в спираль листов. Спиральные теплообменники могут быть установлены как вертикально, так и горизонтально.

Спиральные теплообменники бывают разборными и неразборными сварными. Сварные теплообменники дешевле, но они не обладают таким преимуществом, как возможность разборки, из-за чего затруднена их очистка.

Достоинства спиральных теплообменников:

1) Спиральные теплообменники компактны, обеспечивают большую площадь поверхности теплоотдачи (до 100 м^2) при относительно небольших габаритных размерах.

2) Спиральные теплообменники обеспечивают высокий коэффициент теплопередачи, благодаря высокой скорости теплоносителей в каналах (1÷2 м/с), при сравнительно невысоких для таких скоростей гидравлических сопротивлениях.

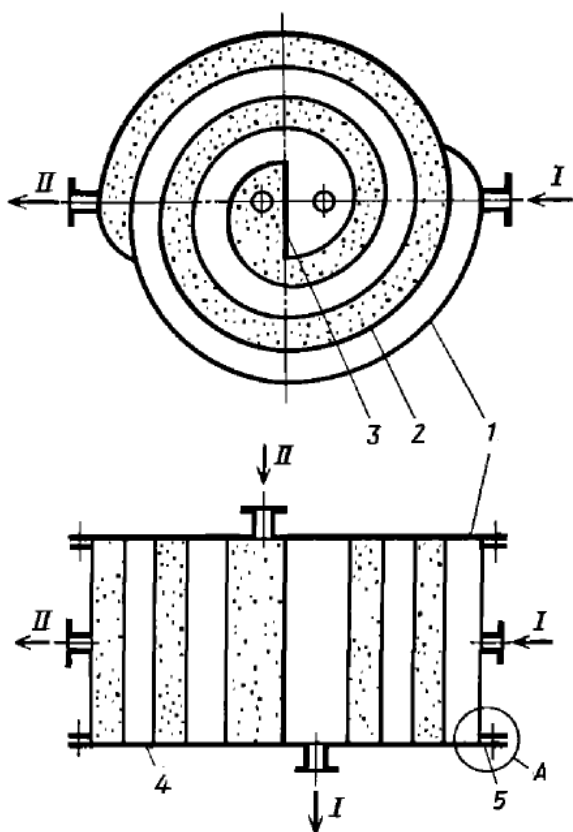


Рис.16.15. Схема устройства вертикального спирального теплообменника:

1, 2 – металлические листы;
3 – пластина-перегородка; 4 – крышки; 5 – фланцы; I, II – теплоносители

в:

1) Невозможность работы при высоких давлениях (не более 1 МПа) из-за недостаточной герметичности прокладок.

2) Сложны в изготовлении.

Аппараты с двойными стенками (рубашками)

Устройство и принцип работы

Теплообменные аппараты с рубашками (рис.16.16) используются в химической технологии как обогреваемые или охлаждаемые сосуды для проведения химических реакций. Как правило, они работают под избыточным давлением и в зависимости от характера технологического процесса носят название автоклавов, нитраторов, полимеризаторов, варочных аппаратов и др.

На рис.16.16 представлен аппарат с греющей рубашкой. Корпус 1 аппарата снабжён с наружной стороны рубашкой 2, в которую сверху подаётся пар. К корпусу рубашку крепят с

помощью сварки или болтами (шпильками). В случае, когда рубашка приварена, её очистка и ремонт затруднены.

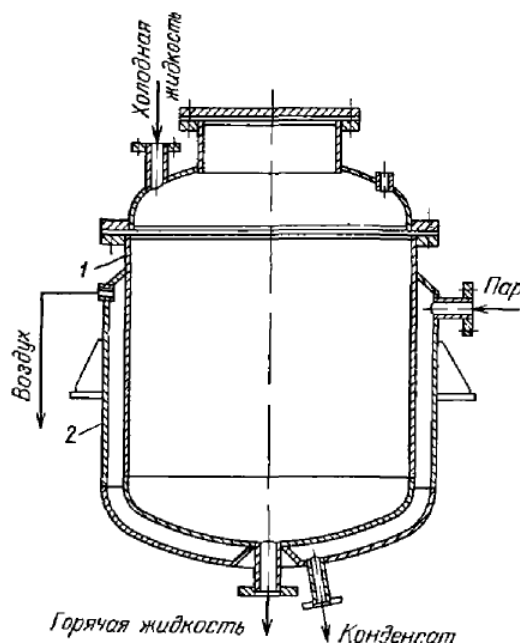


Рис.16.16. Аппарат с греющей рубашкой :
1 – корпус аппарата; 2 – греющая рубашка

Достоинства аппаратов с рубашками:

- 1) Удобство доступа к внутренней поверхности аппарата для её очистки.
- 2) Простота устройства.
- 3) Высокий коэффициент теплоотдачи при использовании пара в качестве теплоносителя

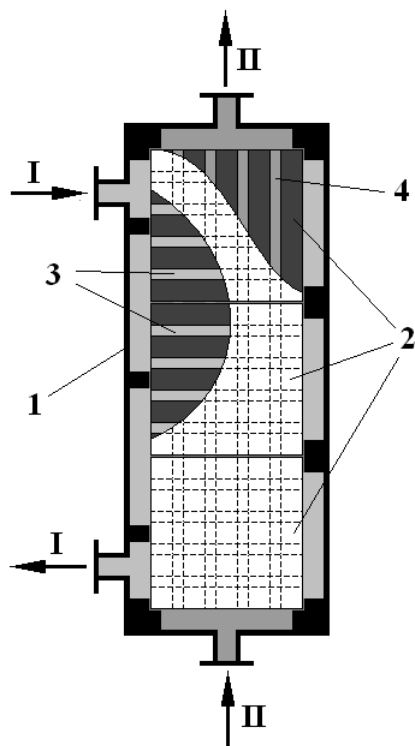
Недостатки аппаратов с рубашками:

- 1) Небольшая поверхность теплопередачи (менее 15 м²).
- 2) Ограниченность давления в рубашке (до 1 МПа) вследствие того, что стенка рубашки может деформироваться под действием высоких давлений.
- 3) Низкий коэффициент теплоотдачи с внутренней стороны корпуса аппарата, для повышения которого используется перемешивание с помощью мешалок или барботажем сжатого воздуха или пара.
- 4) Невысокий коэффициент теплоотдачи в рубашке при использовании жидкого теплоносителя из-за его низких скоростей течения.

Блочные теплообменники

Устройство и принцип работы

Основным элементом блочного теплообменника (рис.16.17) является блок 2, имеющий форму параллелепипеда, в котором просверлены вертикальные 4 и горизонтальные 3 сквозные непересекающиеся отверстия. Теплообменный аппарат состоит из одного или нескольких блоков, помещённых в корпус 1. Теплоноситель II, движущийся по



вертикальным каналам-отверстиям, может иметь один или два хода, в зависимости от конструкции крышки и дна. Теплоноситель I, движущийся по горизонтальным каналам-отверстиям, имеет число ходов на единицу большее, чем число блоков в теплообменнике.

Рис.16.17. Схема устройства блочного теплообменника:

1 – корпус аппарата; 2 – блоки; 3 – горизонтальные каналы; 4 – вертикальные каналы; I, II - теплоносители

Достоинства блочных теплообменников:

1) Химическая стойкость материала теплообменника (чаще всего, графита) позволяет использовать теплообменник для нагрева или охлаждения химически агрессивных жидкостей, когда использование теплообменников из других материалов невозможно.

2) Высокая теплопроводность графита ($92 \div 116 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), благодаря которой значительная толщина стенок между каналами не ухудшает теплопередачу.

Недостатки блочных теплообменников:

1) Блочные теплообменники более громоздки, чем сравнимые по площади поверхности теплопередачи кожухотрубчатые и пластинчатые.

2) Более высокая стоимость блочного теплообменника ограничивает его использование (блочные теплообменники целесообразно использовать только в том случае, если использование других теплообменных аппаратов невозможно из-за химической агрессивности теплоносителей).

Градирни

Устройство и принцип работы

Одними из самых распространенных смесительных теплообменников являются градирни - устройства для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха. Иногда градирни называют также охладительными башнями (англ. cooling tower).

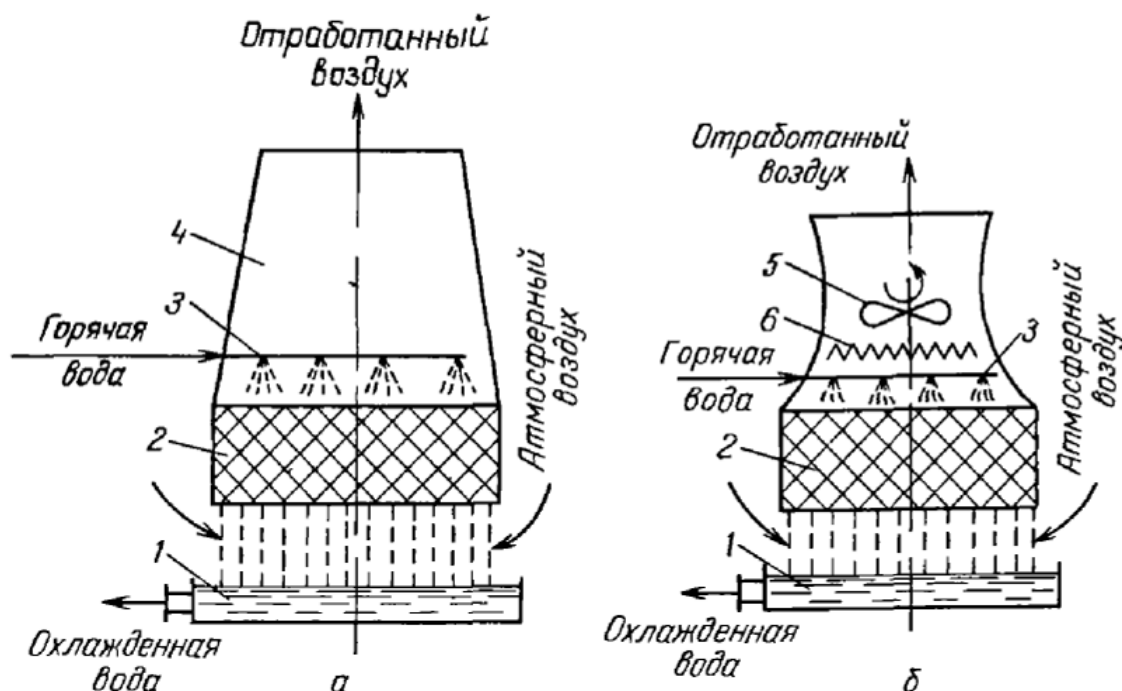


Рис.16.18. Градирни с естественной (а) и принудительной (б) тягой:

1 – поддоны; 2 – слои насадки; 3 – распределители охлаждающей воды; 4 – полая часть градирни для обеспечения естественной тяги; 5 – осевой вентилятор; 6 – брызгоотбойник

Градирни (рис.16.18) представляют собой полые башни, в которых сверху разбрызгивается охлаждаемая вода, а снизу вверх движется воздух. Движение воздуха обеспечивается либо естественной тягой, либо, если размеры градирни недостаточны для возникновения тяги, с помощью вентилятора. Расположенная внутри градирни насадка 2 служит для увеличения поверхности контакта между водой и воздухом. Вода в градирне охлаждается не столько за счёт передачи теплоты более холодному воздуху, сколько за счёт испарительного охлаждения – охлаждения большей части воды за счёт испарения меньшей её части. Так испарение 1 % воды приводит к охлаждению остальной части воды примерно на 5,5 °С.

Наиболее широко градирни используются в водооборотных циклах химических предприятий, где служат для охлаждения отработанной воды, после которого вода может

быть повторно использована как хладагент, что значительно сокращает расходы на водоподготовку.

Достоинства градирен:

- 1) Низкая стоимость процесса охлаждения (благодаря тому, что в качестве хладагента выступает воздух).
- 2) Простота конструкции.
- 3) Относительно невысокая стоимость обслуживания.
- 4) Большая производительность по охлаждаемой воде.

Недостатки градирен:

- 1) Громоздкость конструкции (особенно у градирен с естественной тягой).
- 2) Невосполнимые потери воды вследствие испарения.
- 3) Небольшая глубина охлаждения (в градирне вода охлаждается не более чем на 15–20 градусов от своей первоначальной температуры).

Регенеративные теплообменники

Устройство и принцип работы

Регенеративные теплообменники периодического действия (рис.16.19) обычно состоят из двух аппаратов цилиндрической или прямоугольной формы, корпуса которых заполнены насадкой в виде свёрнутой в спираль гофрированной металлической ленты, кирпича, кусков шамота, листового металла и других материалов. Цикл работы каждого из аппаратов состоит из двух периодов: периода нагрева насадки и периода её охлаждения. В то время как в первом аппарате происходит нагрев насадки путём пропускания через неё горячего теплоносителя, во втором аппарате насадка охлаждается, отдавая теплоту проходящему через неё холодному теплоносителю.

Затем с помощью клапанов происходит переключение аппаратов и в первый аппарат поступает холодный теплоноситель, контактируя с нагретой в предыдущем периоде насадкой, а во второй аппарат – горячий теплоноситель, нагревая остывшую насадку. Таким образом, в целом установка работает непрерывно, благодаря автоматическому переключению потоков.

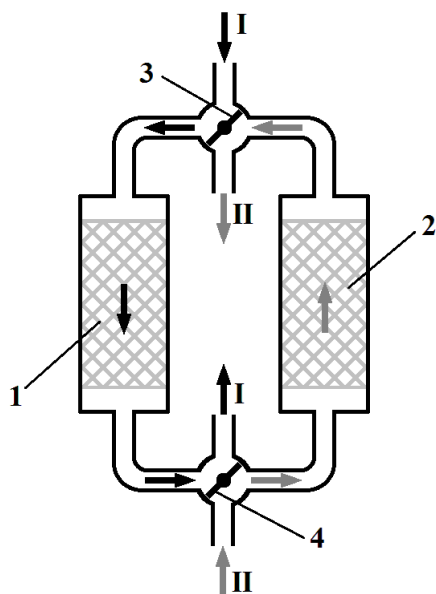


Рис.16.19. Схема устройства регенеративных теплообменников с неподвижной насадкой:

1, 2 – регенеративные теплообменники с насадкой;
3,4 клапаны; I, II – теплоносители

Достоинства регенеративных теплообменников:

- 1) Простота устройства.
- 2) Возможность работы со значительными количествами теплоносителей.
- 3) Относительно невысокая стоимость обслуживания.
- 4) Возможность работы при высоких температурах (например, с дымовыми газами доменных печей).

Недостатки регенеративных теплообменников:

- 1) Громоздкость конструкции.
- 2) Необходима значительная разница температур теплоносителей, чтобы движущая сила процесса теплопередачи была достаточной на обеих стадиях процесса.