

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Рашидов Карим Юсуфович**

<sup>1</sup>с.н.с., Национальный научно-исследовательский институт ВИЭ  
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан  
rashidovkarim78@gmail.com, +99890 984-65-99

**Низамов Акбар Миккамович**

<sup>2</sup>ст.препод. Ташкентский государственный технический университет,  
nizamovakbar52@gmail.com +998977052111

**Эргашев Жавохир Юлдашович**

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет,  
Javohirergashev211002@gmail.com +99890 831-30-07

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены различные конструкции теплообменных аппаратов, применяемых в нефтегазовой промышленности, приведена классификация теплообменных аппаратов и устройств, кратко изложены принцип их работы, конструктивные особенности, а также недостатки.

### ANNOTATSIYA

Maqolada neft va gaz sanoatida ishlatiladigan issiqlik almashinish apparatlarining turli xil konstruktsiyalari ko'rib chiqilgan, issiqlik almashinish apparatlari va qurilmalarining tasnifi keltirilgan, ularning ishlash printsiplari, konstruktiv xususiyatlari, shuningdek kamchiliklari qisqacha bayon etilgan.

### ABSTRACT

The article discusses various designs of heat exchangers used in the oil and gas industry, provides a classification of heat exchangers and devices, briefly outlines the principle of their operation, design features, as well as disadvantages.

**Ключевые слова:** теплообменные аппараты; кожух; трубная решетка; трубопроводы; теплоноситель; развальцовка.

**Kalit so'zlari:** issiqlik almashinish apparatlari; qobiq; quvurli panjara ; quvurlar; issiqlik tashuvchi; razvoltsovka.

**Keywords:** heat exchangers; casing; pipe grate; pipelines; coolant; rolling.

### Области применения теплообменных аппаратов:

**Теплообменник** – техническое устройство, предназначенное для передачи тепла между нагретой средой и холодной. Чаще всего теплообмен осуществляется через элементы конструкции аппарата, хотя встречаются

агрегаты, принцип действия которых основан на смешении двух сред [1, 2]. Широко применяются в системах отопления, в металлургии, в энергетике, в тепловых пунктах, в химической и пищевой промышленности, в системах кондиционирования и вентилировании воздуха; в коммунальном хозяйстве; в атомной и холодильной отрасли.

### Виды теплообменных аппаратов

Теплообменные аппараты подразделяются на несколько групп в зависимости от:

типа взаимодействия сред (поверхностные и смешительные); типа передачи тепла (рекуперативные и регенеративные); типа конструкции; направления движения теплоносителя и тепло потребителя (одноходовые и многоходовые).

Наиболее наглядно классификация теплообменных аппаратов представлена на следующем изображении (см. рис. 1).



**Рис. 1. Виды устройств теплообменников в зависимости от принципа работы**

### По типу взаимодействия сред

**Поверхностные:** Теплообменные аппараты данного вида подразумевают, что среды (теплоноситель и теплопотребитель) между собой не смешиваются, а теплопередача происходит через контактную поверхность – пластины в пластинчатых теплообменниках или трубки в кожухотрубных.

**Смесительные:** Кроме поверхностных теплообменников используются агрегаты, в основе эксплуатации которых лежит непосредственный контакт двух веществ. К смешительным теплообменникам относятся: паровые барботеры; сопловые подогреватели; градирни; барометрические конденсаторы.

### **По типу передачи тепла**

**Рекуперативные:** В данном виде устройств теплопередача происходит непрерывно через контактную поверхность. Примером такого теплообменного аппарата является пластинчатый разборный теплообменник.

**Регенеративные:** Отличаются от рекуператоров тем, что движение теплоносителя и теплопотребителя имеют периодический характер. Основная область применения таких установок – охлаждение и нагрев воздушных масс.

### **По типу конструкции**

Вариаций конструкций теплообменных аппаратов очень много. Их выбор и подбор конкретной модели зависит от большого количества условий эксплуатации и технических характеристик: мощность теплообменника; давление в системе; тип сред (агрессивные или нет); рабочие температуры; прочие требования.

### **По направлению движения сред**

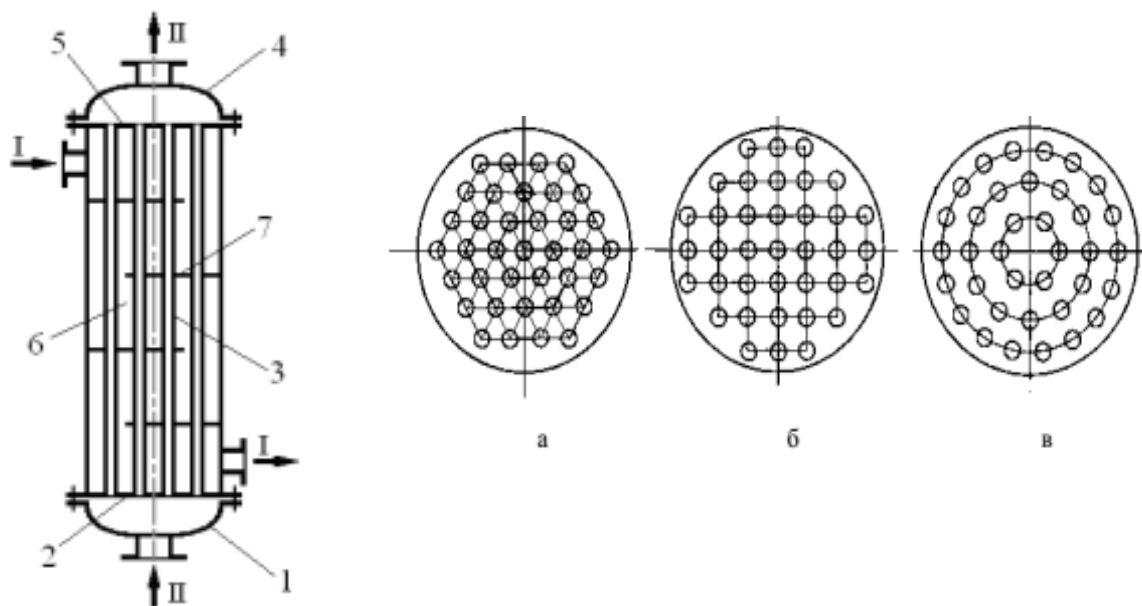
**Одноходовые теплообменники:** В данном виде агрегатов теплоноситель и теплопотребитель пересекают внутренний объем теплообменника однократно по кратчайшему пути. Подобная схема движения в ТО используется в простых случаях, когда не требуется повышать теплоотдачу от теплоносителя хладагенту. Кроме того, одноходовые теплообменники требуют более редкого обслуживания и промывки, так как на внутренних поверхностях скапливается меньше отложений и загрязнений.

**Многоходовые теплообменники:** Применяются, когда рабочие среды плохо отдают или принимают тепло, поэтому КПД теплообменного аппарата увеличивают за счет более длительного контакта теплоносителя с пластинами агрегата.

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.2) поступает во входную камеру, образованную днищем и нижней трубной решеткой 2. Во входной камере поток теплоносителя распределяется по трубам 3, движется вверх, попадая в верхнюю камеру, образованную крышкой 4 и верхней трубной решеткой 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.



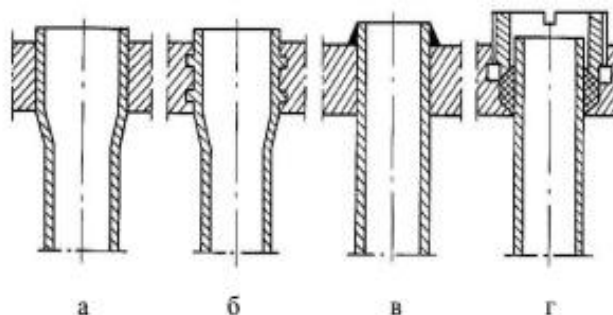
**Рис.2. Кожухотрубчатый одноходовой теплообменник:**

1 – днище; 2 – нижняя трубная решетка; 3 – трубы; 4 – крышка; 5 – верхняя трубная решетка; 6 – межтрубное пространство; 7 – сегментные перегородки; I, II – теплоносители [1-5].

**Рис. 3. Способы размещения труб в трубных решетках:**

а – по вершинам равносторонних треугольников; б – по вершинам квадратов; в – по концентрическим окружностям [1-5].

Размещение и способы крепления труб в трубных решетках. Наиболее распространенный способ размещения труб в трубных решетках – по вершинам равносторонних треугольников (рис.3, а). Применяются и другие способы размещения труб (рис.3, б, в). Способ размещения должен обеспечить максимальную компактность аппарата, высокое значение коэффициента теплоотдачи, низкое гидравлическое сопротивление и возможность очистки межтрубного пространства. Для обеспечения герметизации теплообменников и предотвращения смешения теплоносителей разработаны различные способы крепления труб в трубных решетках (рис.4). Чаще всего трубы закрепляют при помощи развальцовки, это наиболее удобный и распространенный метод. Если материал труб не поддается развальцовке, или при большом давлении теплоносителя - используют сварку. Применение сальниковых уплотнений дорого, сложно и недостаточно надежно, хотя значительно упрощает разбор теплообменника для его чистки. Кроме того, крепление труб с помощью сальникового уплотнения является одним из способов компенсации температурных деформаций теплообменника.



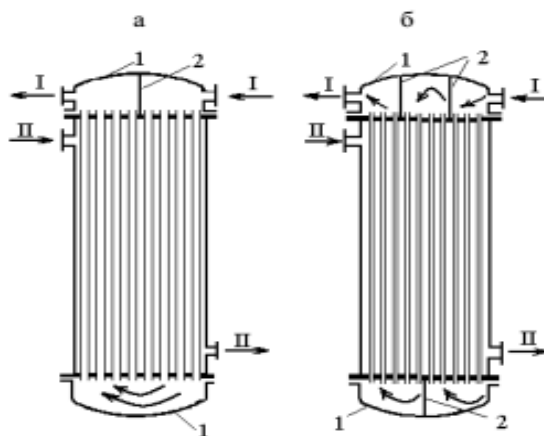
**Рис.4. Крепление труб в трубных решетках:**

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 нем. 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.5). В многоходовом по трубному пространству кожухотрубчатом теплообменнике с помощью поперечных перегородок 2, установленных в крышке и днище теплообменника, пучок труб разделен 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



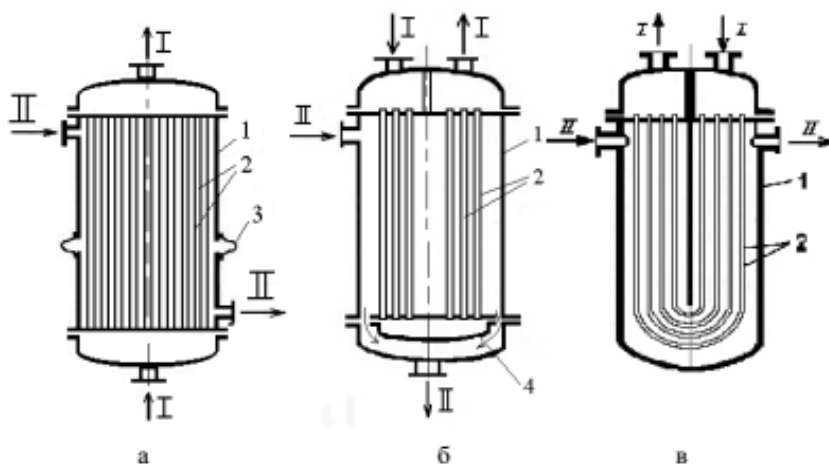
**Рис.5. Схема многоходовых (по трубному пространству) кожухотрубчатых теплообменников:**

а – двухходовой, б – четырехходовой; 1 – крышки и днища, 2 – перегородки; I, II – теплоносители [1-5].

Увеличение скорости движения теплоносителей в трубном и межтрубном пространствах теплообменника влечет 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 влечет за собой значительные механические напряжения в трубных решетках, и может привести к нарушению плотности соединения труб с трубными решетками. Поэтому при значительных разностях температур кожуха и труб и большой длине труб теплообменника применяют теплообменники нежесткой конструкции (Рис.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.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 [1-5].

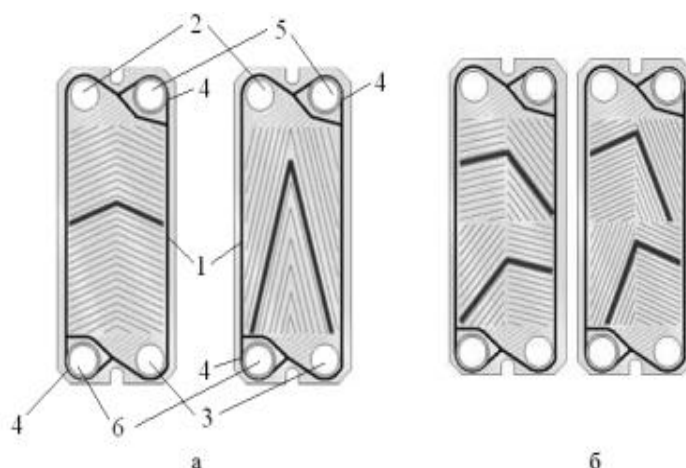
В теплообменнике с U-образными трубами нет нижней решетки, трубы могут удлиняться или сокращаться независимо от кожуха. Такие аппараты не имеют ограничений по температурным деформациям и давлению в межтрубном пространстве, как аппараты с линзовым компенсатором. Однако в таких аппаратах усложняется монтаж труб, затруднена очистка их внутренней поверхности. В теплообменнике с плавающей головкой нижняя трубная решетка не связана с кожухом и снабжена отдельной крышкой. Обладает теми же достоинствами, что и аппарат с U-образными трубами, к тому же, он лишен 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) Надежны 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.7). Пластины развернуты одна относительно другой на  $180^\circ$ , собраны в пакет и закреплены в раме. При этом образуется система узких волнистых каналов (рис.8) шириной  $3\div 6$  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.



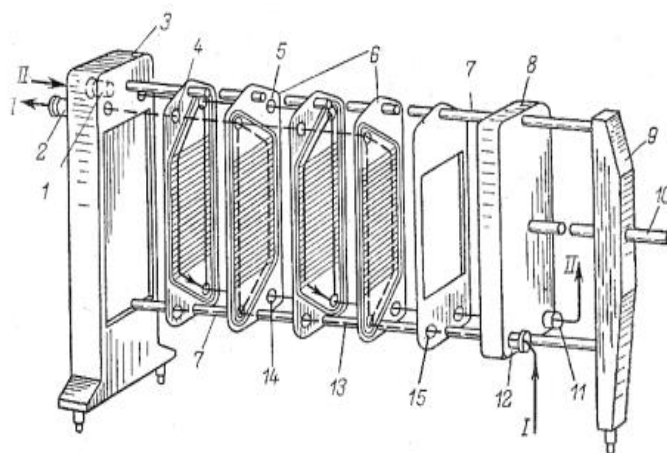
**Рис.7. Гофрированные пластины пластинчатых теплообменников:**  
 а – обычные (симметричные) пластины; б – пластины с рисунком «ассиметричная ёлочка» 1 – прокладка, ограничивающая пространство первого теплоносителя; 2, 3 – отверстия для входа и выхода первого теплоносителя; 4 – прокладка, ограничивающая пространство второго теплоносителя; 5, 6 – отверстия для прохода второго теплоносителя [1-5].



**Рис.8. Характер движения потока жидкости в канале, образованном двумя соседними гофрированными пластинами**



Разборный пластинчатый теплообменник (рис.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, двигаясь по проходу 5, распределяется по чётным каналам. Отработанный теплоноситель II собирается в проход 14 и по нему направляется к выходному штуцеру 11.



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

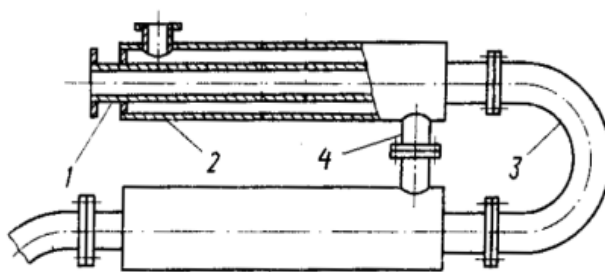
1 – штуцер ввода теплоносителя II; 2 – штуцер вывода теплоносителя I;  
3 – неподвижная плита; 4 – проход для движения отработанного  
теплоносителя I; 5 – проход для движения свежего теплоносителя  
II; 6 – гофрированные пластины; 7 – верхний направляющий  
стержень; 8 – подвижная плита; 9 – неподвижная 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 [1-5].

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  $3000\div 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  (что более чем в 3 раза выше, чем в кожухотрубчатых), благодаря высокой скорости теплоносителей в каналах ( $1\div 3 \text{ м/с}$ ), 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  $30 \text{ м}^2$ , часто называют теплообменниками типа «труба в трубе». Они представляют собой набор последовательно соединённых элементов, состоящих из двух концентрически расположенных труб (рис.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.10. Неразборный однопоточный теплообменник типа «труба в трубе»:**

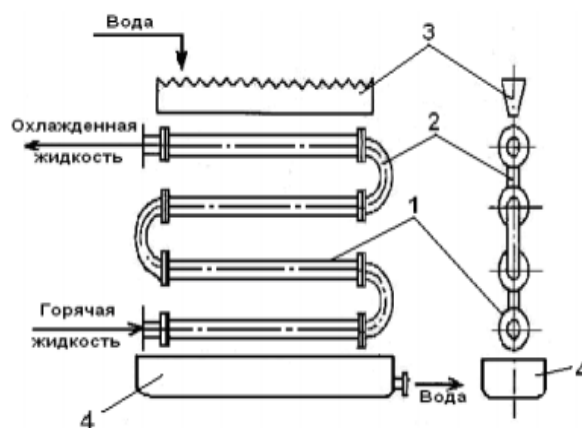
1 – внутренняя труба; 2 – внешняя труба; 3 – соединительное колено (калач); 4 – соединительный патрубок

Достоинства двухтрубчатых 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.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.11. Оросительный холодильник:**

1 – трубы; 2 – соединительные колена (калачи); 3 – желоб для распределения охлаждающей воды; 4 – корыто для сбора воды [1-5].

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).

## ВЫВОДЫ

1. Приведены и рассмотрены конструктивные особенности одноходовых теплообменных аппаратов;

2. Приведены и рассмотрены конструктивные особенности многоходовых теплообменных аппаратов;

3. Приведены и рассмотрены конструктивные особенности пластинчатых теплообменных аппаратов;

4. Приведены и рассмотрены конструктивные особенности двухтрубчатых теплообменных аппаратов;

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Скобло А. И., Трегубова И. А., Молоканов Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ООО "Недра- Бизнесцентр", 2000. — 677 с.: ил.

2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. 10-е изд. стереотип., доработ. — М.: ООО ТИД "Альянс", 2004. — 753 с.

3. Вихман Г. Л., Круглов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М.: Машиностроение, — 1-е изд., испр. и доп. 2001. 328 с.

4. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. 3. Процессы и аппараты химической технологии: Учебное для техник. М.: Госхимиздат, 2002. 848 с.

5. Банных О.П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников. Учебное пособие. СПбНИУ ИТМО, 2012 г. – 42 с.