МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
(ОГУ)

Тепловые процессы: нагревание, охлаждение, конденсация и выпаривание

доцент кафедры химии
Левенец Т.В.

Нагревание широко применяют в химической технике для ускорения многих массообменных процессов и химических пре вращений. В зависимости от температурных и других условий проведения процесса применяют различные методы нагревания – для каждого конкретного процесса наиболее оправданный в технологическом и экономическом отношении метод.

Наибольшее распространение в химической технике получили следующие методы нагревания: *водяным паром, топочными газами, промежуточными теплоносителями, электрическим током.*

НАГРЕВАНИЕ ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Для нагревания применяют преимущественно насыщенный водяной пар давлением до 1–1,2 МПа. Использование пара более высокого давления обычно экономически неоправданно. Соответственно указанному давлению нагревание насыщенным водяным паром ограничено температурой 190°С. В процессе нагревания насыщенный пар конденсируется. При этом выделяется тепло, равное теплоте испарения жидкости.

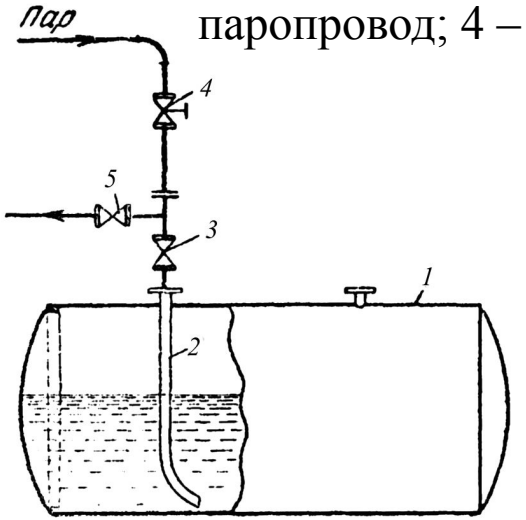
Широкому распространению нагревания водяным паром способствуют достоинства этого метода обогрева, а именно:

1) большое количество тепла, выделяющегося при конденсации единицы массы водяного пара (2260–1990 кДж на 1 кг конденсирующегося пара при давлениях соответственно 0,1–1,2 МПа);
2) высокий коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара к стенке – порядка 5000–18 000 Вт/(м^2-°С);
3) равномерность обогрева (так как конденсация пара происходит при по стоянной температуре).

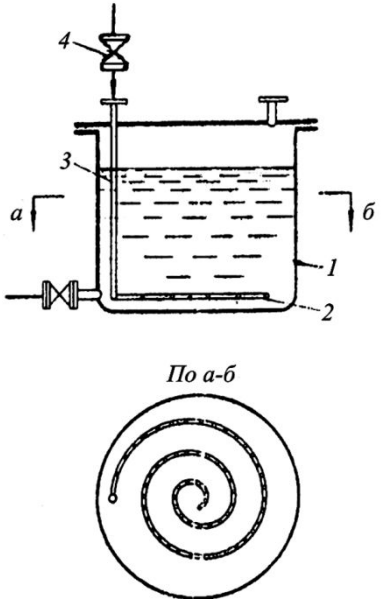
Нагревание «острым» паром

При таком способе водяной пар вводится непосредственно в нагреваемую жид кость; конденсируясь, он отдает жидкости тепло, а конденсат смешивается с этой жидкостью.

Для нагревания и одновременного перемешивания жидкости пар вводят через барботер – трубу с рядом небольших отверстий. Барботер располагают на дне резервуара в виде спирали или колец (паровой барботер: 1 – резервуар; 2 – барботер; 3 – паропровод; 4 – запорный вентиль).



Устройство для нагревания жидкости «острым» паром: 1 – резервуар; 2 – паровая труба; 3 – запорный вентиль; 4 – обратный клапан; 5 – продувочный вентиль



Расход «острого» пара при периодическом нагревании жидкости определяют из уравнения теплового баланса.

При обогреве «острым» паром происходит неизбежное разбавление нагреваемой жидкости конденсатом – водой. Обычно этот способ применяют для нагревания воды и водных растворов.

Нагревание «глухим» паром.

В том случае, когда нагреваемая жидкость может взаимодействовать с водой, или контакт между ними недопустим, или же нельзя разбавлять нагреваемую жидкость, применяют нагревание «глухим» паром. В этом случае жидкость нагревается паром через разделяющую их стенку в аппаратах с рубашками, со змеевиками и т. д.

Греющий «глухой» пар целиком конденсируется и выводится из парового пространства нагревательного аппарата в виде конденсата. Температуру конденсата можно с достаточной точностью принять равной температуре насыщенного греющего пара.

Расход «глухого» пара при непрерывном нагревании жид кости также определяют из уравнения теплового баланса.

НАГРЕВАНИЕ ТОПОЧНЫМИ ГАЗАМИ

Нагревание топочными газами – самый старый способ обогрева в химической промышленности. Этим способом осуществляется нагревание до температур 180–1000 °С. Дымовые (топочные) газы образуются при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива (преимущественно при атмосферном давлении) в топках или печах различной конструкции.

Особенностью нагрева дымовыми газами являются «жесткие» условия нагревания: значительные перепады температур и небольшие коэффициенты теплоотдачи от дымовых газов к стенкам обогреваемых аппаратов 15–35 Вт/(м^2-°С). Благодаря большим температурным перепадам при нагревании дымовыми газами достигаются высокие тепловые нагрузки. Однако этот метод нагревания имеет ряд недостатков: трудно регулировать процесс и избежать перегрева материалов из-за неравномерности обогрева; при разбавлении дымовых газов большим количеством воздуха происходит окисление металлов; и, наконец, следует отметить огнеопасность обогрева дымовыми газами.

Для изготовления нагревательной аппаратуры при нагревании до 420 °С применяют обычные углеродистые стали, до 420–520 °С – легированные стали, до 520–1000 °С – специальные жаростойкие и жаропрочные стали.

Непосредственное нагревание топочными газами осуществляется *в трубчатых печах,* а также в *печах для реакционных котлов* или *автоклавов.*

НАГРЕВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ

При нагревании многих материалов для сохранения качества продуктов или обеспечения безопасной работы недопустим даже кратковременный их перегрев. В этих случаях для обогрева применяют промежуточные теплоносители, которые сначала нагреваются топочными газами, а затем передают воспринятое тепло обрабатываемому материалу.

В качестве промежуточных теплоносителей применяют минеральные масла, перегретую воду, высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ), расплавленные смеси солей и др.

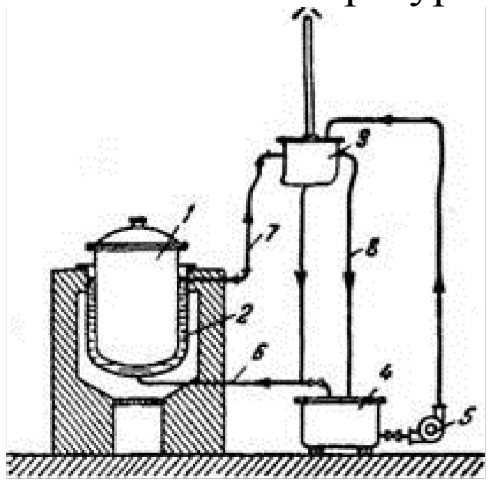


Рис. 258. Схема установки для нагревания на масляной бане: /—обогреваемый аппарат; 2—масляная рубашка; 3—сосуд-расширитель; 4—сборник для масла; 5—-насвс для подачи масла в рубашку; б, 7—трубопроводы; в—переливной трубопровод.

Нагревание топочными газами через жидкостную баню относится к простейшим способам нагревания промежуточными теплоносителями.

В случае нагревания на масляной бане (до температур 200–250 °С) аппарат снабжают рубашкой, заполненной маслом. Топочные газы омывают рубашку и передают тепло маслу, а масло через стенки аппарата – обрабатываемым мате риалам. Рубашка соединена трубопроводом с расширительным бачком, в который перетекает часть масла, когда объем его увеличивается при нагревании. В этот же бачок выбрасывается масло при бурном вскипании влаги (почти всегда содержащейся в свежем масле) в случае нагревания масла выше 100–120 °С.

Нагревание через жидкостные бани не обеспечивает высоких коэффициентов теплопередачи, так как в рубашке в жидком промежуточном теплоносителе возникают только очень слабые конвекционные токи. Для повышения коэффициентов теплопередачи используют установки с *циркулирующим жидким промежуточным теплоносителем.*

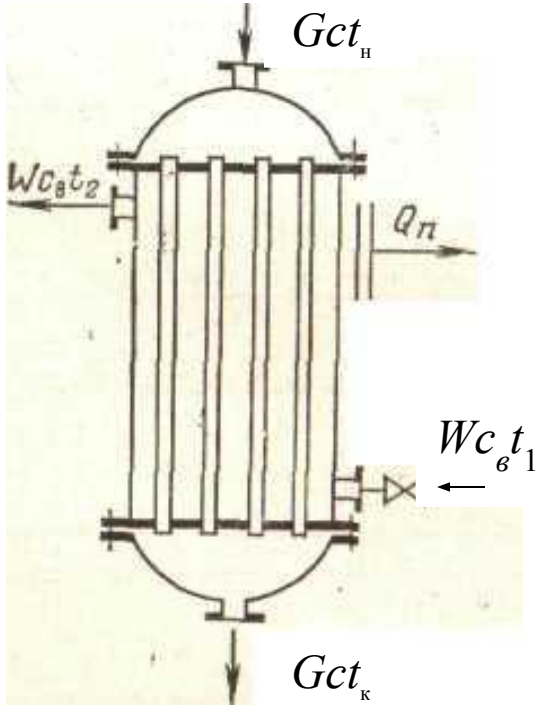
Нагревание дымовыми газами с циркулирующим жидким промежуточным теплоносителем. Этот процесс осуществляется на *установках с естественной или принудительной циркуляцией теплоносителя.*

ОХЛАЖДЕНИЕ

В химической технике очень часто возникает необходимость охлаждать газы, пары и жидкости. Для их охлаждения обычно используют наиболее распространенные и доступные теплоносители – воду и воздух. Охлаждение происходит в результате теплообмена между охлаждаемой и охлаждающей средами, при этом температура охлаждающей среды должна быть ниже температуры охлаждаемой.

В зависимости от времени года и климатических условий охлаждение воздухом осуществляется до 25–30 °С. Водой удается охладить теплоносители до более низких температур. Обычно температуру охлаждающей воды, которая также зависит от времени года и климатических условий, принимают равной 15– 25 °С. Вода, отбираемая из артезианских скважин, имеет температуру 8–12 ° С.

Охлаждение водой и воздухом осуществляют в различных теплообменниках, при этом охлаждающая и охлаждаемая среды либо разделены стенкой (если контакт между этими средами по каким-либо причинам недопустим), либо непосредственно контактируют между собой.



Кожухотрубчатый теплообменник, в котором охлаждение водой производится через стенку, показан на рисунке. Охлаждающая вода вводится в нижнюю часть межтрубного пространства теплообменника и выводится из верхней. Охлаждаемый теплоноситель вводится в верхнюю часть трубного пространства и выводится из нижней. При таком направлении движе ния конвекционные токи, вызываемые изменением плотностей жидкостей при изменении температур, совпадают с направлением потоков.

КОНДЕНСАЦИЯ

В химической технике широко распространены процессы конденсации (ожижения) паров различных веществ путем отвода от них тепла. Эти процессы осуществляют в аппаратах, называемых *конденсаторами.*

Различают два вида конденсации: 1) *поверхностную* (или просто *конденсацию)*, при которой конденсирующиеся пары и охлаждающий агент разделены стенкой и конденсация паров происходит на внутренней или внешней поверхности холодной стенки; 2) *конденсацию смешением,* при которой конденсирующиеся пары непосредственно соприкасаются с охлаждающим агентом.

Поверхностная конденсация осуществляется в теплообменниках – поверхностных конденсаторах. В общем случае в поверхностный конденсатор поступает перегретый пар. Очень часто охлаждающим агентом является вода.

Конденсация смешением. Если конденсации подвергаются пары жидкостей, не растворимых в воде, или пар, являющийся неиспользуемым отходом того или иного процесса, охлаждение и конденсацию этих паров можно проводить путем непосредственного смешения с водой. Этот процесс осуществляется в аппаратах, называемых конденсаторами смешения.

В зависимости от способа вывода из аппаратов потоков различают *мокрые* и *сухие* конденсаторы смешения.

ВЫПАРИВАНИЕ

Выпаривание – процесс концентрирования растворов твердых нелетучих веществ путем удаления жидкого летучего растворителя в виде паров. Сущность выпаривания заключается в переводе растворителя в парообразное состояние и отводе полученного пара от оставшегося сконцентрированного раствора. Вы паривание обычно проводится при кипении, т. е. в условиях, когда давление пара над раствором равно давлению в рабочем объеме аппарата.

Процесс выпаривания относится к числу широко распространенных. Последнее объясняется тем, что многие вещества, например едкий натр, едкое кали, аммиачная селитра, сульфат аммония и др., получают в виде разбавленных водных растворов, а на дальнейшую переработку и транспорт они должны поступать в виде концентрированных продуктов.

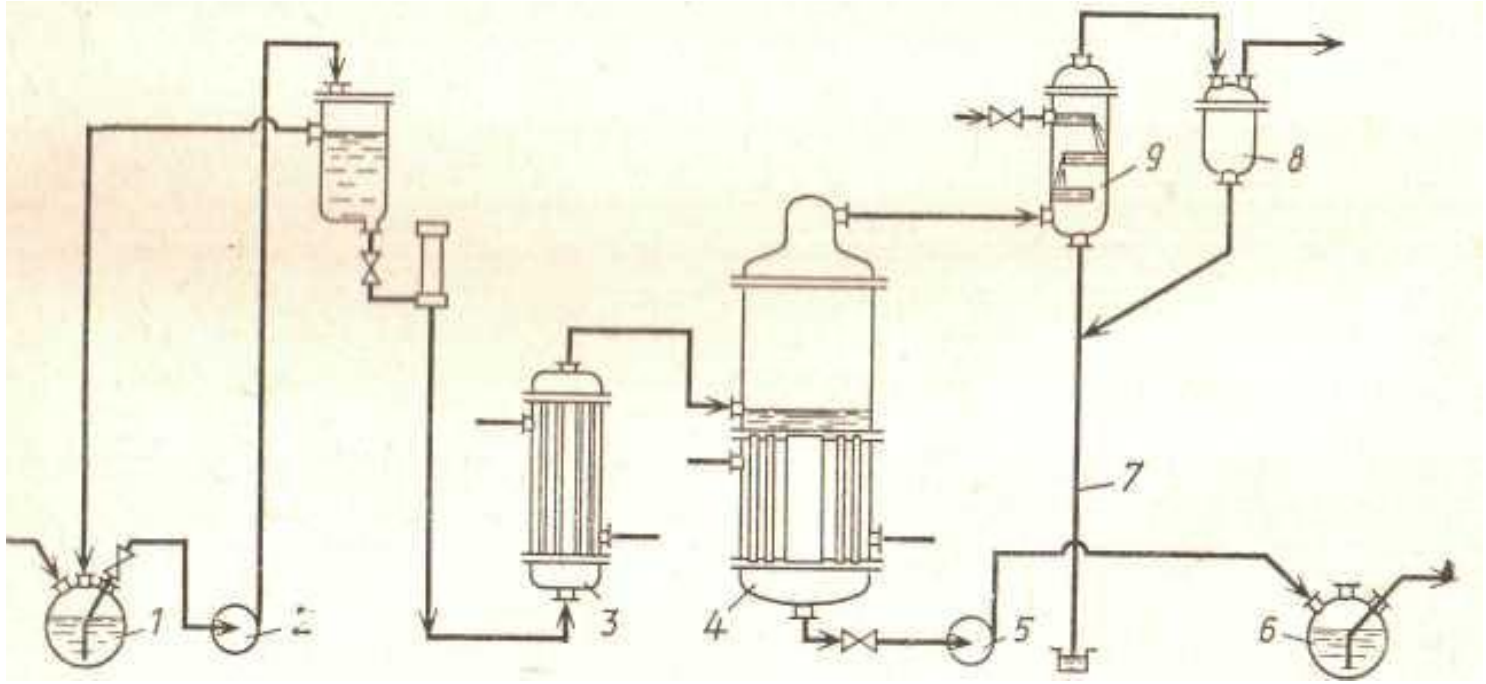
В химической технике используют следующие основные способы выпаривания: *простое выпаривание,* проводимое как непрерывным, так и периодическим методами, *многократное выпаривание,* осуществляемое только непрерывно, и *выпаривание с применением теплового насоса.* Два последних способа проведения процесса обеспечивают значительную экономию тепла и поэтому имеют преобладающее значение.

Все перечисленные процессы проводят как под давлением, так и под вакуумом, в зависимости от параметров греющего пара и свойств выпариваемых растворов.

ПРОСТОЕ ВЫПАРИВАНИЕ

Простое выпаривание осуществляется на установках небольшой производительности, когда экономия тепла не имеет большого значения. Кроме того, простое выпаривание на установках периодического действия оправдано в случае выпаривания растворов, отличающихся высокой депрессией.

Как было указано, простое выпаривание проводят либо непрерывным методом, либо периодическим. Проведение периодического процесса возможно двумя приемами: *с одновременной загрузкой исходного раствора* и с *порционной загрузкой.* Схема установки простого выпаривания непрерывным методом представлена на рисунке.



1 – емкость;

2,5 – насосы;

3 – подогреватель;

4 – выпарной аппарат;

6 – сборник готового продукта;

7 – барометрическая труба;

8 – ловушка;

9 – барометрический конденсатор

Материальный баланс простого выпаривания может быть выражен двумя равенствами:

$$G_{н} = G_{к} + W \ , \qquad G_{н} x_{н} = G_{к} x_{к}$$

где $G_{н}$ – количество поступающего раствора, кг/ч; $G_{к}$ – количество упаренного раствора, кг/ч; W – количество выпариваемой воды, кг/ч; x_{a} и $x_{к}$ – соответственно начальная и конечная концентрации раствора, % (масс).

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Аппараты, предназначенные для проведения тепловых процессов, называют *теплообменными.* Эти аппараты имеют разнообразное конструктивное оформление, которое зависит от характера протекающих в них процессов и условий проведения этих процессов. По принципу действия теплообменные аппараты делят на *рекуперативные, регенеративные* и *смесительные.*

В рекуперативных аппаратах – рекуператорах – теплоносители разделены стенкой и тепло передается от одного теплоносителя к другому через эту разделяющую их стенку.

В регенеративных аппаратах – регенераторах – одна и та же поверхность твердого тела омывается попеременно различными теплоносителями. При омывании твердого тела одним из теплоносителей оно нагревается за счет его тепла; при омывании твер дого тела другим теплоносителем оно охлаждается, передавая тепло последнему. Таким образом, в регенераторах, кроме теплоносителей, обменивающихся теплом, необходимо наличие твердых тел, которые воспринимают тепло от одного теплоноси теля и аккумулируют его, а затем отдают другому.

В смесительных аппаратах передача тепла происходит при непосредственном соприкосновении и смешении теплоносителей.

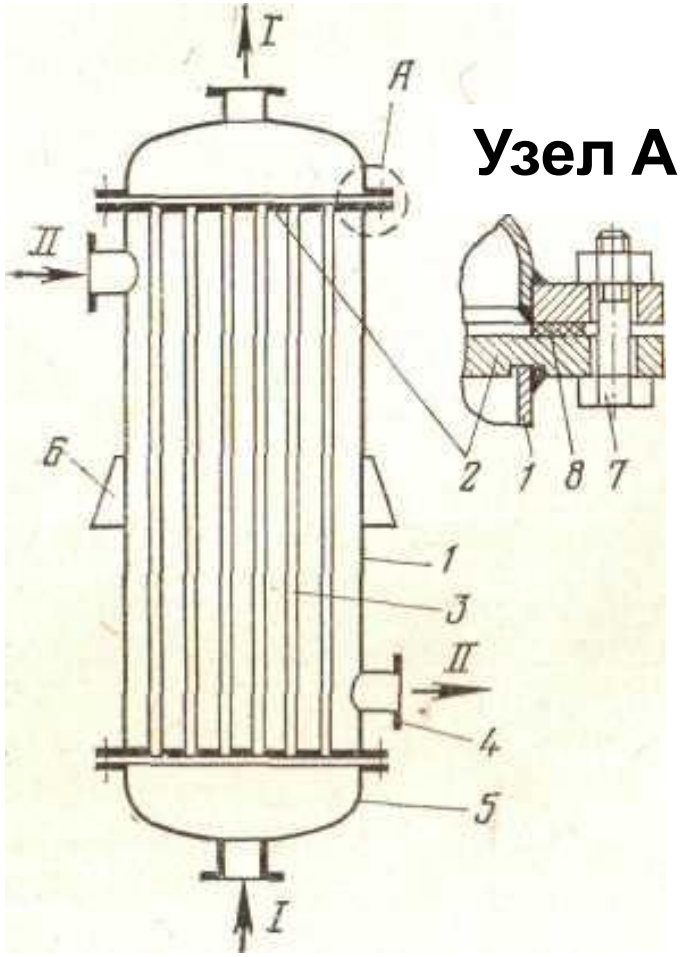
РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Существенным для теплообменных аппаратов рекуперативного типа является наличие стенки из теплопроводного материала разделяющей потоки теплоносителей. Эта стенка служит поверхностью теплообмена, через которую теплоносители обмениваются теплом.

В зависимости от конструктивного выполнения поверхности теплообмена рекуператоры разделяют на теплообменники – кожухотрубчатые, двухтрубчатые, змеевиковые, спиральные, ороси тельные, специальные – и на трубчатые выпарные аппараты.

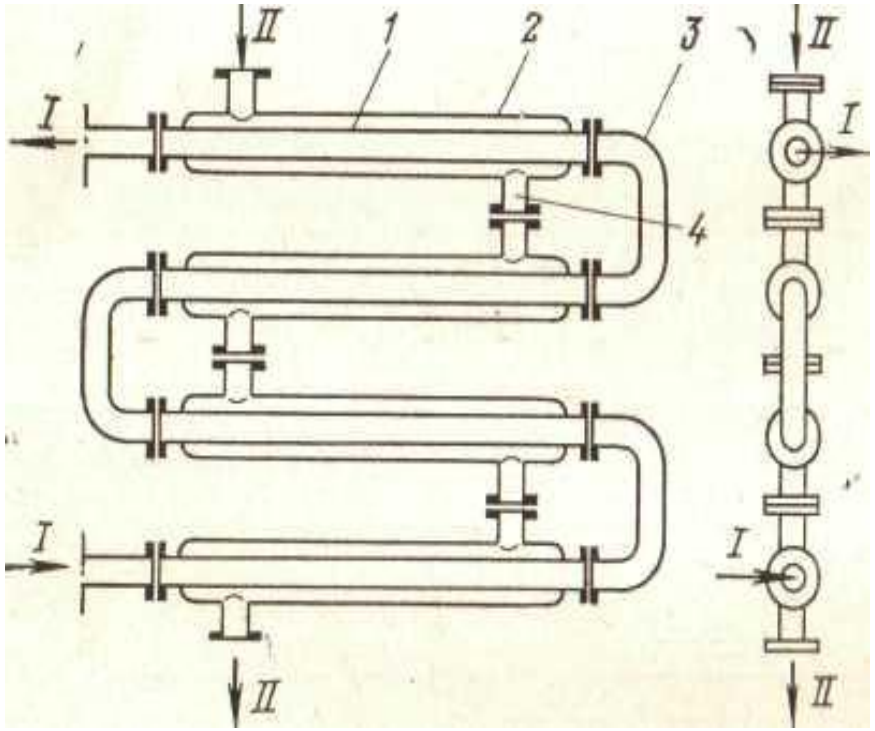
Кожухотрубчатые теплообменники – наиболее распространенный в химической технике тип теплообменной аппаратуры. Они допускают создание больших поверхностей теплообмена в одном аппарате, просты в изготовлении и надежны в работе.

Кожухотрубчатый вертикальный теплообменник с неподвижными трубными решетками



Теплообменник состоит из цилиндрического кожуха *1*, к которому с двух сторон приварены трубные решетки *2*. В трубных решетках плотно закреплен пучок труб *3*. К кожуху с помощью фланцев присоединены болтами 7 днища (камеры) *5*. Уплотнение создается прокладкой *8*. Для ввода и вывода теплоносителей к кожуху и днищам приварены патрубки. Теплообменник устанавливают на опорных лапах *6*. Один поток теплоносителя (*I*) направляется через патрубок в нижнюю камеру, проходит по трубкам и выходит через патрубок в верхней камере. Другой поток теплоносителя (*II*) вводится через верхний патрубок на кожухе в межтрубное пространство теплообменника, омывает снаружи трубы и выводится через нижний патрубок. Тепло от одного теплоносителя другому передается через стенки труб. В отличие от показанного на рисунке противоточного движения теплоносителей может осуществляться параллельный ток.

Теплообменники типа «труба в трубе»



Теплообменники этого типа представляют собой батарею из нескольких теплообменных элементов, расположенных один под другим. Каждый из элементов состоит из внутренней трубы *1* и охватывающей ее наружной трубы *2*. Внутренние трубы отдельных элементов соединены последовательно коленами (калачами) *3*. Наружные трубы соединены также последовательно патрубками *4*. Теплоноситель *I* движется по внутренним трубам, теплоноситель *II* – по кольцевым каналам между трубами *1* и *2*.

Теплообмен между теплоносителями осуществляется через стенки внутренних труб. В двухтрубчатых теплообменниках обеспечиваются высокая скорость теплоносителей (даже при малых расходах) и высокая интенсивность теплообмена. Однако эти теплообменники громоздки и металлоемки; поэтому их применяют преимущественно для проведения процессов нагревания или охлаждения при высоких давлениях. При необходимости создания больших поверхностей теплообмена устанавливают несколько параллельно соединенных батарей.

Змеевиковые теплообменники

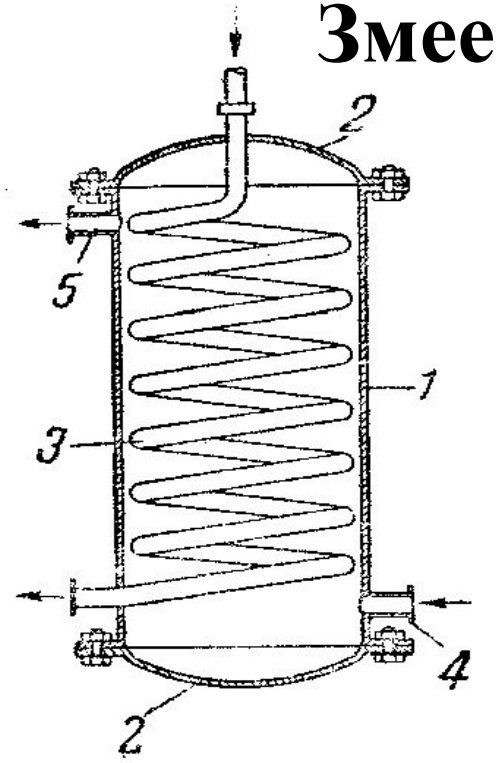


Рис. 47. Змеевиковый теплообменник:

1—корпус; 2—крышки; 3—змеевик; 4—штуцер для входа жидкости; 5—штуцер для выхода жидкости.

Теплообменники этого типа отличаются простотой устройства. Теплообменный элемент – змеевик – представляет собой трубу, согнутую каким-либо образом. Змеевик погружен в жидкость, которая нагревается или охлаждается теплоносителем, движущимся по змеевику.

Он состоит из стального корпуса *1*, закрытого с обеих сторон стальными крышками *2*, которые болтами прикреплены к кожуху; внутри кожуха расположен змеевик *3* из стальных труб, выходящий одним концом через верхнюю крышку, а другим концом через боковую поверхность вблизи нижней крышки. В нижней и верхней частях корпуса аппарата имеются штуцеры *4* и *5* для входа и выхода второго продукта, участвующего в теплообмене. Если змеевиковый теплообменник применяется для для охлаждения и конденсации холодной водой, то пары вводятся в змеевик сверху, а охлаждающая вода в кожух аппарата снизу