

## Теплообменники

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для обмена теплом между греющей и обогреваемой рабочими средами. Последние в ряде случаев называются теплоносителями.

Необходимость передачи тепла от одного теплоносителя к другому возникает во многих отраслях техники: в энергетике, в химической, металлургической, нефтяной, пищевой и других отраслях промышленности.

Тепловые процессы, происходящие в теплообменных аппаратах, могут быть самыми разнообразными: нагрев, охлаждение, испарение, кипение, конденсация, плавление, затвердевание и более сложные процессы, включающие в себя несколько из перечисленных. В процессе теплообмена может участвовать несколько теплоносителей: тепло от одного из них может передаваться нескольким и от нескольких одному.

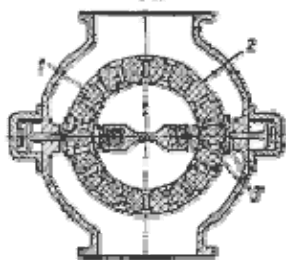
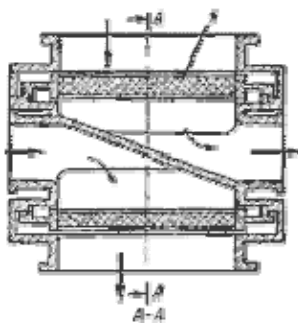
Классификация теплообменных аппаратов:

- 1) по назначению: подогреватели, конденсаторы, охладители, испарители, паропреобразователи и т. п.;
- 2) по принципу действия: поверхностные и смесительные.

Независимо от принципа действия теплообменные аппараты, применяющиеся в различных областях техники, как правило, имеют свои специфические названия. Эти названия определяются технологическим назначением и конструктивными особенностями. Однако с теплотехнической точки зрения все аппараты имеют одно назначение - передачу тепла от одного теплоносителя к другому или между поверхностью твердого тела и движущимся теплоносителем. Последнее определяет те общие положения, которые лежат в основе теплового расчета теплообменного аппарата.

В аппаратах поверхностного типа теплоносители ограничены твердыми стенками, частично или полностью участвующими в процесс теплообмена между ними. Поверхностью нагрева называется часть поверхности этих стенок, через которую передаете тепло.

Рекуперативными называются такие теплообменные аппараты, в которых теплообмен между теплоносителями происходит через разделительную стенку. При теплообмене в аппаратах такого типа тепловой поток в каждой точке поверхности разделительной стенки сохраняет постоянное направление.



**Рис. 1.1.** Теплообменник с барабанным ротором.

Регенеративными называются такие теплообменные аппараты, в которых два или большее число теплоносителей попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева. Во время соприкосновения с различными теплоносителями поверхность нагрева или получает тепло или аккумулирует его, а затем отдает, или, наоборот, сначала отдает аккумулированное тепло, а затем нагревается. В разные периоды теплообмена (нагрев или охлаждение поверхности нагрева) направление теплового потока в каждой точке поверхности нагрева изменяется на противоположное.

В большинстве рекуперативных теплообменников тепло передается непрерывно через стенку от теплоносителя к другому теплоносителю.

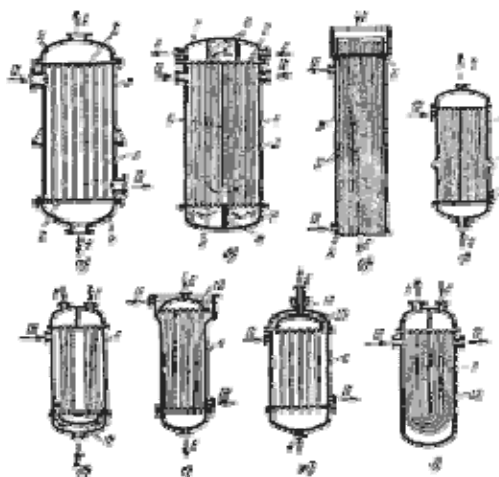
Такие теплообменники называются теплообменниками непрерывного действия. Теплообменники, в которых периодически изменяются подача и отвод теплоносителей, называются теплообменниками периодического действия. Большинство регенеративных теплообменников работает по принципу периодического действия. Разные теплоносители поступают в них в различные периоды времени. Теплообменники такого типа могут работать и непрерывно. В этом случае вращающаяся насадка (или стенка) попеременно соприкасается с потоками разных теплоносителей и непрерывно переносит тепло из одного потока в другой.

Ротор 1 разделён на секции 2, в каждой из которых размещается пакет из проволочной сетки. Эквивалентный диаметр отверстия в проволочной насадке составляет десятые доли миллиметра.

Объем теплообменника с помощью стенок и уплотняющих устройств 3 разделен на две полости, через одну из которых протекает горячий теплоноситель (газ), через другую - холодный. Уплотнения имеются также и на торцевой части ротора. Во время работы теплообменника вследствие вращения ротора нагретые элементы насадки непрерывно переходят из полости горячего в полость холодного газа, а охладившиеся элементы - наоборот. Скорость вращения ротора составляет обычно 6-15 об/мин. Теплообменники такого типа обладают высокой компактностью, но при разных давлениях теплоносителей перетекание газа из одной полости в другую в местах уплотнения существенно снижает их эффективность. Поэтому при

неодинаковых давлениях теплоносителей эффективность теплообменника такой схемы во многом зависит от качества уплотнения между его полостями.

**Рис. 1. 2. Типы кожухотрубных теплообменников.**  
**а** — односторонней; **б** — многосторонней; **в** — плавающей; **г** — с ленточным компенсатором; **д** — с плавающей головкой закрытого типа; **е** — с плавающей головкой открытого типа; **ж** — с сальниковым компенсатором; **з** — с U-образными трубами; **1** — кожух; **2** — трубный решет; **3** — трубы; **4** — входная камера; **5** — выходная камера; **6** — продольная перегородка; **7** — камера; **8** — перегородки в камере; **9** — ленточный компенсатор; **10** — плавающая головка; **11** — сальник; **12** — U-образные трубы.



Смешивающими называются такие теплообменные аппараты, в которых тепло- и массообмен происходит при непосредственном контакте и смешении теплоносителей. Поэтому смешивающие теплообменники иногда называют контактными. Наиболее важным фактором в рабочем процессе смешивающего теплообменного аппарата является поверхность соприкосновения теплоносителей. Для увеличения поверхности теплообмена на пути движения теплоносителей размещают насадку. Подробно конструкции теплообменных аппаратов такого типа будут рассмотрены далее.

В качестве теплоносителей в зависимости от назначения производственных процессов могут применяться самые разнообразные газообразные, жидкие и твердые вещества.

С точки зрения технической и экономической целесообразности их применения теплоносители должны обладать следующими качествами:

1. Иметь достаточно большую теплоту парообразования, плотность и теплоемкость, малую вязкость. При таких характеристиках теплоносителей обеспечивается достаточная интенсивность теплообмена и уменьшаются их массовые и объемные количества, необходимые для заданной тепловой нагрузки теплообменного аппарата. Необходимо также, чтобы теплоносители имели высокие температуры при малых давлениях, что способствует установке относительно небольших поверхностей теплообмена.
2. Иметь необходимую термостойкость и не оказывать неблагоприятного воздействия на материалы аппаратуры. Теплоносители должны быть химически стойкими и неагрессивными даже при достаточно длительном воздействии высоких температур. Желательно, чтобы теплоносители не давали в процессе работы отложений на поверхность теплообмена, так как отложения понижают коэффициент теплоотдачи и теплопроизводительность оборудования.
3. Быть недорогими и достаточно доступными в отечественных ресурсах. Дорогостоящие или малодоступные вещества увеличивают капитальные затраты и эксплуатационные расходы, что иногда приводит к явной нецелесообразности применения их с экономической точки зрения.

При выборе теплоносителей необходимо в каждом отдельном случае детально учитывать их термодинамические и физико-химические свойства, а также технико-экономические показатели. Водяной пар как греющий теплоноситель получил больше распространение вследствие ряда своих достоинств:

1. Высокие коэффициенты теплоотдачи при конденсации водяного пара позволяют получать относительно небольшие поверхности теплообмена.
  2. Большое изменение энтальпии при конденсации водяного пара позволяет расходовать малое его весовое количество для передачи сравнительно больших количеств тепла.
  3. Постоянная температура конденсации при заданном давлении дает возможность наиболее просто поддерживать постоянный режим и регулировать процесс в аппаратах.
- Основным недостатком водяного пара является значительное повышение давления в зависимости от температуры насыщения. Обогрев паром применяют в процессах нагревания, происходящих при умеренных температурах (порядка 60-150 °С).

Наиболее употребляемое давление греющего пара в теплообменниках составляет от 0,2 до 1,2 МПа. Для высоких температур теплообменники с паровым обогревом получаются очень тяжелыми и громоздкими по условиям обеспечения прочности, имеют толстые фланцы и стенки весьма дороги и поэтому применяются редко.

Горячая вода получила большое распространение в качестве греющего теплоносителя, особенно в

отопительных вентиляционных установках. Подогрев воды осуществляется в специальных водогрейных котлах, производственных технологических агрегатах (например, в печах) или водонагревательных установках ТЭЦ и котельных. Горячую воду как теплоноситель можно транспортировать по трубопроводам на значительные расстояния (на несколько километров). Однако горячая вода, поступающая от тепловых сетей, как греющий теплоноситель производственных теплообменников используется редко, поскольку в течение отопительного сезона при качественном регулировании отпуска тепла температура ее непостоянна и изменяется от 70 до 150 °С.

Дымовые и топочные газы как греющая среда применяются обычно на месте их получения для непосредственного обогрева промышленных изделий и материалов, если физико-химические характеристики последних не изменяются при загрязнении сажей и золой. Если по условиям эксплуатации загрязнение обрабатываемого материала недопустимо, дымовые газы направляются в рекуперативный теплообменник, где отдают свое тепло воздуху, а последний нагревает обрабатываемый материал.

Достоинством топочных газов является возможность нагрева ими материала до весьма высоких температур, которые требуются иногда по технологическим условиям производства. Но это достоинство не всегда может быть использовано, потому что вследствие трудности регулировки возможны перегрев материала и ухудшение его качества; с другой стороны, по условиям техники безопасности не всегда можно пользоваться огневым обогревом. Высокая температура топочных газов приводит к большим тепловым потерям. Газы, покидающие топку с температурой выше 1000 °С, доходят до потребителя с температурой не выше 700 °С, так как осуществить удовлетворительную термоизоляцию при таком высоком уровне температур достаточно трудно.

Недостатки дымовых и топочных газов как греющей среды:

1. Малая плотность газов влечет за собой необходимость получения больших объемов для обеспечения достаточной теплопроизводительности, а последнее приводит к созданию громоздких трубопроводов.
2. Вследствие малой удельной теплоемкости газов их необходимо подавать в аппараты в большом количестве с высокой температурой; последнее обстоятельство вынуждает применять огнеупорные материалы для трубопроводов. Прокладка таких газопроводов, а также создание запорных и регулирующих приспособлений по тракту течения газа представляют большие трудности.
3. Вследствие низкого коэффициента теплоотдачи со стороны газов теплоиспользующая аппаратура должна иметь большие поверхности нагрева и поэтому получается весьма громоздкой.

Классификация поверхностных теплообменных аппаратов по отдельным группам.

Кожухотрубчатые теплообменники представляют собой аппараты, выполненные из пучков труб, скрепленных при помощи трубных решеток (досок) и ограниченных кожухами и крышками с патрубками. Трубное и межтрубное пространства в аппарате разобщены, а каждое из них может быть разделено перегородками на несколько ходов. Перегородки предназначены для увеличения скорости и, следовательно, коэффициента теплоотдачи теплоносителей. Теплообменники этого типа предназначаются для теплообмена: между различными жидкостями, между жидкостями и паром, между жидкостями и газами. Они применяются в случаях, когда требуется большая поверхность теплообмена.

Применяются типовые конструкции кожухотрубчатых теплообменников.

При нагреве жидкости паром в большинстве случаев пар вводится в межтрубное пространство, а нагреваемая жидкость протекает по трубкам. В кожухотрубчатых теплообменниках проходное сечение межтрубного пространства в 2-3 раза больше проходного сечения внутри труб. Поэтому при одинаковых расходах теплоносителей, имеющих одинаковое агрегатное состояние, скорости теплоносителя в межтрубном пространстве более низкие и коэффициенты теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невысокие, что снижает коэффициент теплопередачи в аппарате. Теплопередающая поверхность аппаратов может составлять от нескольких сотен квадратных сантиметров до нескольких тысяч квадратных метров.

Корпус (кожух) кожухотрубчатого теплообменника представляет собой цилиндр, сваренный из одного или нескольких стальных листов. Кожухи различаются главным образом способом соединения с трубной решеткой и крышками. Толщина стенки кожуха определяется максимальным давлением рабочей среды и диаметром аппарата, но не делается тоньше 4 мм. К цилиндрическим кромкам кожуха привариваются фланцы для соединения с крышками или днищами. На наружной поверхности кожуха привариваются патрубки и опоры аппарата.

Трубки кожухотрубчатых аппаратов изготовляют прямыми или изогнутыми (U-образными) диаметром от 12 до 57 мм. Материал трубок выбирается в зависимости от среды, омывающей ее поверхность. Применяются трубки из стали, латуни и из специальных сплавов.

Крышки кожухотрубчатых аппаратов имеют форму плоских плит, конусов, сфер, а чаще всего выпуклых или вогнутых эллипсов.

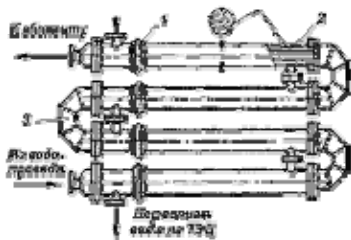


Рис. 1.3. Секционный теплообменник.

- 1 — линзовый компенсатор
- 2 — соединительные патрубки
- 3 — болт

Секционные теплообменники представляют собой разновидность трубчатых аппаратов, состоят из нескольких последовательно соединенных секций, каждая из которых представляет собой кожухотрубчатый теплообменник с малым числом труб и кожухом небольшого диаметра (рис. 1.3).

В секционных теплообменниках при одинаковых расходах жидкостей скорости движения теплоносителей в трубах и межтрубном пространстве почти равновелики, что обеспечивает повышенные коэффициенты теплопередачи по сравнению с обычными трубчатыми теплообменниками. Простейшим из этого типа теплообменников является теплообменник "труба в трубе": в наружную трубу вставлена труба меньшего диаметра. Все элементы аппарата соединены сваркой.

Недостатки секционных теплообменников: высокая стоимость единицы поверхности нагрева, так как деление ее на секции вызывает увеличение количества наиболее дорогих элементов аппарата - трубных решеток, фланцевых соединений, переходных камер, компенсаторов и т. д.; значительные гидравлические сопротивления вследствие различных поворотов и переходов вызывают повышенный расход электроэнергии на привод прокачивающего теплоноситель насоса.

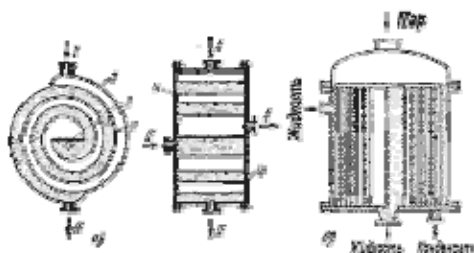


Рис. 1.4. Типы спиральных теплообменников: а — горизонтальный спиральный теплообменник; б — вертикальный спиральный теплообменник; 1, 2 — листы; 3 — разъемная перегородка; 4 — крышка.

Кожухи серийных секционных теплообменников изготавливают из труб длиной до 4 м, внутренним диаметром от 50 до 305 мм. Число труб в секции от 4 до 151, поверхность нагрева от 0,75 до 26 м<sup>2</sup>, трубы латунные диаметром 16/14 мм.

Спиральные теплообменники состоят из двух спиральных каналов прямоугольного сечения, по которым движутся теплоносители 1 и 2.

Каналы образуются металлическими листами, которые служат поверхностью теплообмена. Внутренние концы спиралей соединены разделительной перегородкой. Для обеспечения жесткости конструкции и фиксирования расстояния между спиралью приваривают бобышки. Спирали изготавливают так, что торцы листов лежат в одной плоскости. С торцов спирали закрывают крышками и стягивают болтами. Для лучшей герметизации и устранения перетекания теплоносителей между крышками и листами по всему сечению теплообменника помещают прокладку из резины, паранита асбеста или мягкого металла. Спиральные теплообменники выполняются горизонтальными и вертикальными; часто их устанавливают блоками по два, четыре и восемь аппаратов.

Горизонтальные спиральные теплообменники применяют для теплообмена между двумя жидкостями. Для теплообмена между конденсирующимся паром и жидкостью используют вертикальные спиральные теплообменники; такие теплообменники применяют в качестве конденсаторов и паровых подогревателей для жидкости.

Достоинства спиральных теплообменников: компактность (большая поверхность теплообмена в единице объема, чем у многоходовых трубчатых теплообменников) при одинаковых коэффициентах тепле передачи и меньшее гидравлическое сопротивление для прохода тег поносителей.

Недостатки: сложность изготовления и ремонта и пригодность работы под избыточным давлением не свыше 1,0 МПа.

Пластинчатые теплообменники имеют плоские поверхности теплообмена. Обычно такие теплообменники применяют для теплоносителей, величины коэффициентов теплоотдачи которых одинаковы.

Недостатками изготовлявшихся до недавнего времени пластинчатых теплообменников являлась малая герметичность и незначительные перепады давлений между теплоносителями.

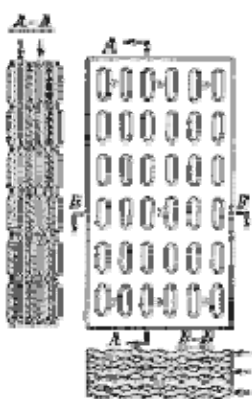


Рис. 1.5. Кольцевой элемент пакета пластинчатого теплообменника.

В последнее время изготавливаются компактные разборные пластинчатые теплообменники, состоящие из штампованных металлических листов с внешними выступами, расположенными в коридорном или шахматном порядке; такие конструкции применяются для теплообмена между жидкостями и газами и работают при перепадах давлений до 12 МПа.

Пленочные конденсаторы поверхностного типа применяются в холодильных и других промышленных установках. В вертикальных конденсаторах пары аммиака (или другого вещества) поступают в межтрубное пространство и конденсируются на внешней поверхности вертикальных труб, имеющих длину 3-6 м;

Охлаждающая вода поступает в бак, дном которого является верхняя трубная решетка, и из него стекает по внутренней поверхности трубе (в виде пленки).

Достоинством пленочных конденсаторов является более интенсивный теплообмен и пониженный расход охлаждающей воды.

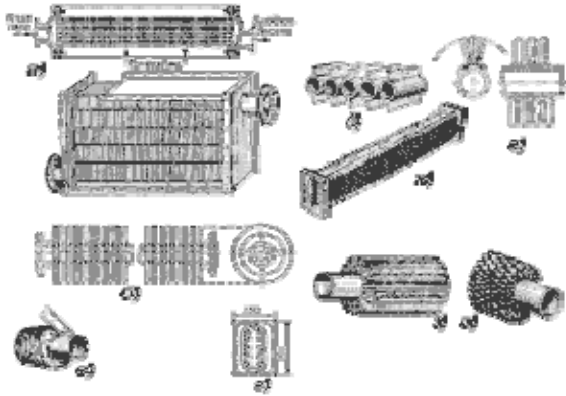


Рис. 1.6. а — пластинчатый; б — чугунная труба с круглым ребром; в — труба со спиральным ребром; г — чугунная труба с внутренним ребром; д — платиновое ребро труба; е — чугунная труба с двухсторонним шиповатым ребром; ж — проволочное (биструйное) ребро труба; з — продольное ребро труба; и — многоребристая труба.

Ребристые теплообменники применяются в тех случаях, когда коэффициент теплоотдачи для одного из теплоносителей значительно ниже, чем для второго. Поверхность теплообмена со стороны теплоносителя с низким коэффициентом теплоотдачи увеличивают по сравнению с поверхностью теплообмена со стороны другого теплоносителя. В таких аппаратах поверхность теплообмена имеет на одной стороне ребра различной формы.

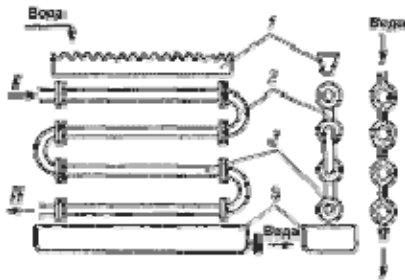


Рис. 1.7. Оросительный теплообменник. 1 — желоб для подачи воды; 2 — вала; 3 — труба; 4 — поддон.

Оросительные теплообменники состоят из змеевиков, орошаемых снаружи жидким теплоносителем (обычно водой) и применяются главным образом в качестве холодильников или конденсаторов. Змеевики выполняют из прямых горизонтальных труб, расположенных друг над другом и последовательно соединенных между собой сваркой или на фланцах. Орошающая вода подается на верхнюю трубу, стекает с нее на нижележащую трубу и, пройдя последовательно по поверхности всех труб, стекает в поддон, расположенный под холодильником. Около 1-2% общего количества орошающей воды обычно испаряется. Вследствие сильного испарения орошающей воды оросительные холодильники обычно устанавливают на открытом воздухе.

Испарители и парообразователи широко применяются для уменьшения и восполнения потерь конденсата, а также во многих технических процессах. Парообразователи вырабатывают пар пониженного давления на греющем паре более высокого давления, сохраняя при этом конденсат. Испарители применяются на электростанциях для восполнения потерь конденсата.

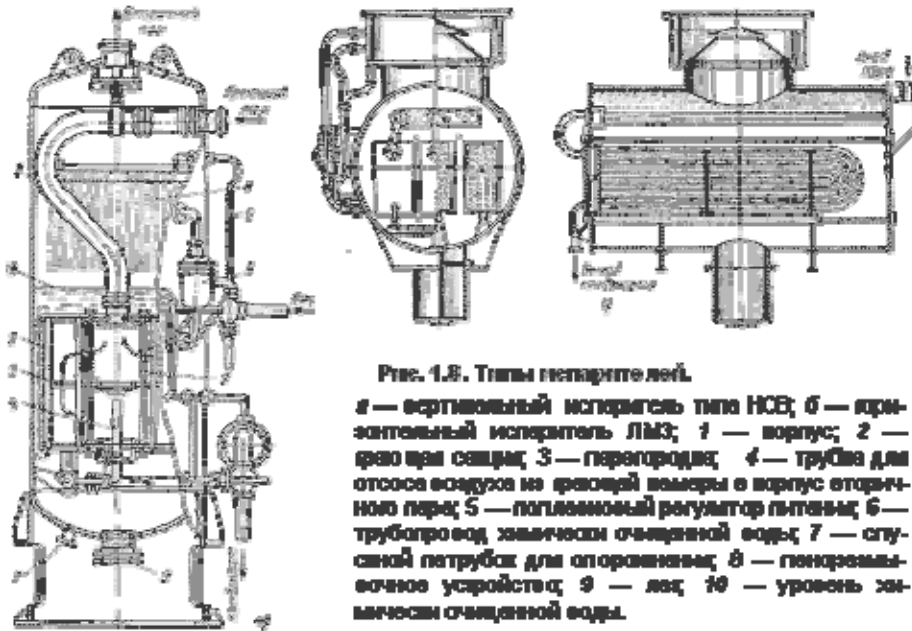
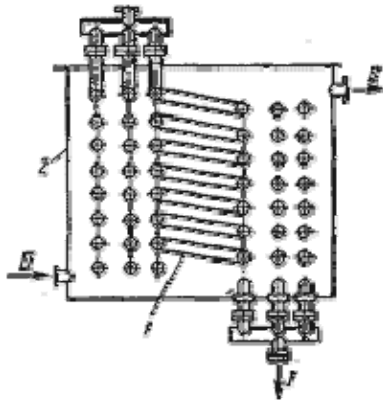


Рис. 1.8. Типы испарителей.

1 — вертикальный испаритель типа НСВ; 6 — горизонтальный испаритель ЛМЗ; 7 — корпус; 2 — фланец сачка; 3 — парогоризонт; 4 — труба для отсоса воздуха из фланцевых выходов в корпус отпарного пара; 5 — поплавковый регулятор питания; 6 — трубопровод замкнутой системы очищенной воды; 7 — ступенчатый патрубок для опорожнения; 8 — конденсаторное устройство; 9 — лот; 10 — уровень замкнутой очищенной воды.



Погружные теплообменники состоят из змеевиков, помещенных в сосуд с жидким теплоносителем. Другой теплоноситель движется внутри змеевиков. При большом количестве этого теплоносителя для сообщения ему необходимой скорости применяют змеевик из нескольких параллельных секций.

Рис. 1.9. Погружной теплообменник с цилиндрическими змеевиками.  
1 — змеевик; 2 — сосуд.