

Государственное профессиональное образовательное учреждение
«Киселёвский горный техникум»

КУРС ЛЕКЦИЙ
по учебной дисциплине
ОП14 Теплотехническое оборудование

Автор: Реутова Светлана Михайловна, преподаватель высшей категории

Россия, Киселевский городской округ, 2021 г.

Введение

Любое здание, промышленное или коммунальное предприятие является потребителем энергии в виде теплоты. В масштабе страны на долю теплоты приходится примерно 70—80% всей расходуемой энергии. Разнообразные процессы, связанные с потреблением теплоты без ее превращения в другие виды энергии, можно по назначению расходуемой теплоты отнести к двум основным категориям:

1. потребление теплоты для коммунально-бытовых нужд, - т. е. для обеспечения комфортных условий труда и быта в жилых, общественных и производственных помещениях;
2. потребление теплоты для технологических нужд, т. е. для обеспечения выпуска промышленной или сельскохозяйственной продукции заданного качества.

Теплообменный (или теплоиспользующий) аппарат является одним из наиболее распространенных и важных элементов энергетических, коммунально-бытовых и технологических установок. Любые преобразования энергии из одного вида в другой, а также передача энергии от одного аппарата либо машины к другому сопровождаются переходом некоторой части всех других видов энергии в тепловую. Поэтому практически во всех машинах и аппаратах теплообмен имеет важное значение.

На теплоиспользующие аппараты приходится значительная доля капиталовложений в энергетические, коммунально-бытовые и технологические установки. При строительстве тепловых электростанций (если учесть, что паровые котлы также являются теплообменниками) капиталовложения в теплообменные аппараты составляют до 70% капиталовложений на оборудование станций. На современных нефтеперерабатывающих заводах капиталовложения в теплообменные аппараты достигают 40—50%, на газобензиновых заводах— 40% .

На теплоиспользующие аппараты приходится также значительная доля эксплуатационных расходов энергетических, коммунально-бытовых и технологических установок. Амортизационные отчисления, расходы на уход, осмотр и ремонт теплоиспользующих аппаратов и установок часто выше, чем для оборудования других категорий.

Теплообменные аппараты, как и другие элементы энергетических, коммунально-бытовых и технологических установок, работают в условиях переменного режима. Однако эксплуатационные, статические и динамические характеристики теплообменных аппаратов зависят не только от изменения расходных режимов и технологических параметров потоков, но и от таких факторов, как накопление загрязнений, накипи, сажи, смол на стенках труб, появление коррозии и др., которые в свою очередь зависят от времени.

Поэтому расчет, проектирование, конструирование и эксплуатация теплоиспользующего оборудования должны производиться с учетом большой сложности происходящих в нем

процессов, а также значительного влияния параметров процесса теплообмена на технико-экономические показатели соответствующих установок.

В настоящее время имеется по крайней мере три типа задач, связанных с расчетом и проектированием теплоиспользующей аппаратуры.

1. Выбор теплоиспользующего аппарата из серии типовых по каталогам.
2. Конструирование нового теплоиспользующего аппарата, не связанного ограничениями каталогов, либо создание новой серии аппаратов.
3. Поверочный расчет теплоиспользующего аппарата в связи с изменением технологических параметров процесса. Иногда в процессе работы изменяются такие параметры, которые скорее относятся к конструктивным, чем к технологическим, например толщина загрязнений либо отложений.

1 Классификация теплообменных аппаратов.

План

1. Введение. Основные определения
2. Требования к теплообменным аппаратам
3. Классификация теплообменных аппаратов
4. Перспективы развития теплотехнического оборудования (малой теплоэнергетики) материал из журналов, литературы, интернета.

Конспект

1 Введение. Основные определения

Цель: Изучить устройство теплообменных аппаратов, их принцип действия. Научиться рассчитывать кожухотрубные и пластинчатые теплообменники.

Учебный план:

Аудиторные занятия-42часа

Практические и лабораторные занятия-44часа

Критерии оценки:

«5»- В журнале «4» и «5», «нб» все закрыть на «4» и «5», по лабораторным, практическим - зачет, экзамен на компьютере-«5», расчет теплообменников необходимо набрать на ПК, проверка расчёта- в программе XL. Освобождение от экзамена.

«3»- Сдан экзамен на компьютере, закрыты «нб» и «2» на «3», зачет по лабораторным и практическим работам, знать десять экзаменационных вопросов.

Теплообменный аппарат – это устройство, предназначенное для передачи тепла от одного теплоносителя к другому (экономайзер, воздухоподогреватель, холодильник)

Теплоноситель – это вещество, которое отдает или принимает тепло в теплообменном аппарате (вода, воздух, топочные газы, водяной пар.)

Рекуперативным теплообменником называется такой теплообменный аппарат, в котором теплообмен между теплоносителями происходит через разделительную стенку.

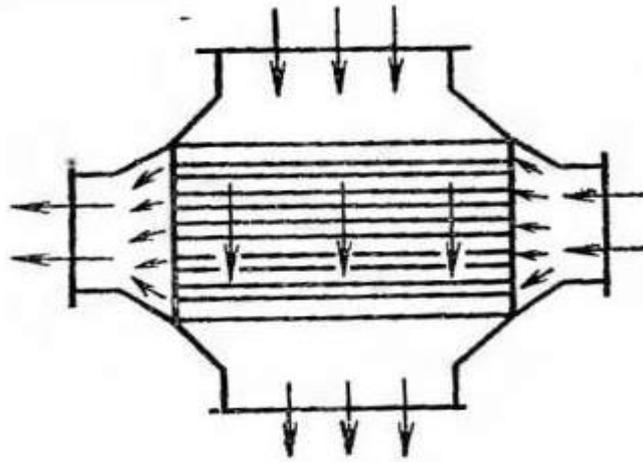


Рисунок 1- Трубчатый теплообменный аппарат

Поверхность нагрева это- часть поверхности этих стенок, через которую передается тепло.

Регенеративным называется такой теплообменный аппарат, в котором два или большее число теплоносителей поочередно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева.

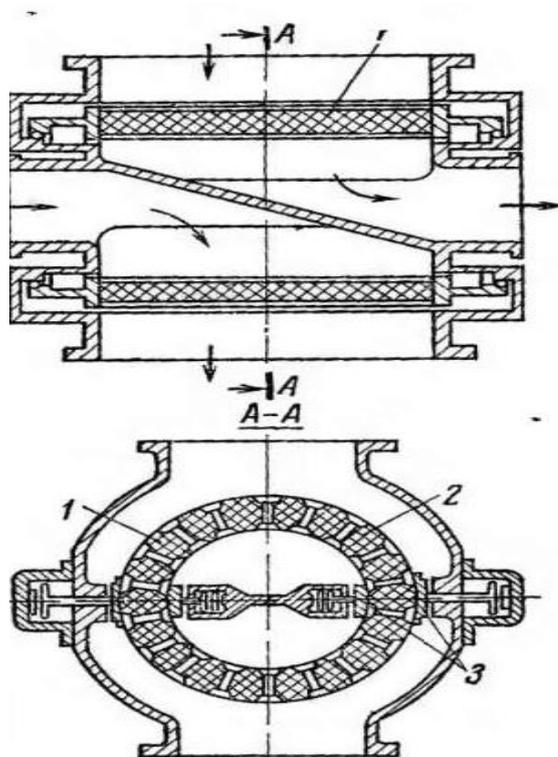


Рисунок 2- Теплообменный аппарат с барабанным ротором

Теплообменник смешивающий (контактный) - это такой теплообменный аппарат, в котором тепло - и массообмен происходит при непосредственном контакте теплоносителей.

2. Требования к теплоиспользующим аппаратам

Теплоиспользующие аппараты имеют весьма многообразное назначение. Вместе с тем они должны отвечать определенным общим требованиям, которые являются исходными при проектировании аппаратов.

К этим требованиям относятся:

- высокая тепловая производительность;
- экономичность в работе;
- обеспечение заданных технологических условий процесса;
- высокое качество готового продукта (для технологических установок);
- обеспечение мер по защите окружающей среды;
- простота конструкции,
- дешевизна материалов и изготовления,
- компактность и малая масса аппарата;
- удобство монтажа,
- доступность и быстрота ремонта,
- надежность в работе,
- длительный срок службы;
- соответствие требованиям охраны труда, государственным стандартам, ведомственным нормам и правилам Госгортехнадзора.

Выполнение каждого из этих требований достигается определенными приемами и методами.

Высокая тепловая производительность теплоиспользующего аппарата определяется многими факторами, в первую очередь интенсивным теплообменом, высокой теплопроводностью материала малым заносом поверхностей теплообмена, своевременной продувкой и промывкой внутренних полостей аппарата, поддержанием оптимального режима работы. Экономичность работы аппарата может быть достигнута малыми затратами энергии на прокачивание теплоносителей, минимальным уносом технологического продукта с продувочными газами и промывочными водами, удлинением межремонтных кампаний, максимальной механизацией и автоматизацией обслуживания. Заданные технологические условия процесса (температура, давление, химический состав и концентрация среды, время технологической обработки) и высокое качество продукции обеспечиваются выбором оптимальных температур теплоносителей, правильным расчетом поверхности теплообмена, подбором

надлежащих конструкционных материалов, не вступающих в химическое взаимодействие со средой, выбором наивыгоднейших скоростей теплоносителей, строгой цикличностью или непрерывностью процесса и удобством его регулирования. Простота конструкции, дешевизна, компактность и малый вес аппарата достигаются при конструировании правильным выбором типа аппарата, формы поверхности теплообмена, стоимостью конструкционных материалов, степенью сложности основных деталей и узлов. Удобство монтажа и ремонта, а также надежность в работе и длительный срок службы определяются в первую очередь удачной конструкцией аппарата, высокой точностью расчетов на прочность и технологических расчетов, типизацией деталей и узлов и наличием их минимального запаса, соблюдением графиков и высоким качеством осмотров, испытаний и ремонтов.

Проектируемый аппарат должен отвечать достижениям науки и техники в области теории теплообмена, гидродинамики, новых конструкционных материалов и технической эстетики.

Строгое соблюдение применения стандартов, технических условий и норм при проектировании (например, системы допусков) удешевляет конструирование, изготовление, транспортирование и эксплуатацию теплоиспользующих аппаратов. В частности, необходимо строго соблюдать условия габаритности проектируемого оборудования, которые для перевозки по железным дорогам СССР сформулированы в ГОСТ 9238-73 *.

Выполнение правил Госгортехнадзора гарантирует прочность и безопасность эксплуатации оборудования.

При конструировании аппаратов не следует применять большое число типоразмеров даже стандартных деталей, узлов или марок материалов, это упрощает изготовление и ремонт оборудования.

Перечисленные выше требования и условия не исчерпывают всех факторов, имеющих важное значение при проектировании теплоиспользующей аппаратуры. Однако даже краткий перечень говорит об их многообразии. Поэтому все требования выполнить в полной мере невозможно. Максимально полное выполнение этих противоречивых требований и составляет основу рационального конструирования теплоиспользующих аппаратов и установок.

Конструкция и размеры любого теплоиспользующего аппарата не являются случайными, а вытекают из требований, которым он должен удовлетворять в работе, и условий его изготовления. Производительность по готовому или исходному материалу, свойства и параметры теплоносителей и конструкционные материалы определяют размеры аппарата. Давление и температура обрабатываемых веществ, характер и степень динамичности нагрузки, конфигурация напряженных элементов определяют конструкцию и размеры деталей и прочность аппарата. Технология изготовления, определяемая технической оснащенностью

завода-изготовителя, и серийность изделия влияют на форму, толщину стенок, эстетичность, надежность и стоимость аппарата.

Во всех случаях выбора или проектирования теплоиспользующего аппарата следует иметь в виду, что аппараты периодического действия почти всегда уступают аппаратам непрерывного действия. Последние более производительны, имеют меньшие тепловые потери, обеспечивают более высокое качество готового продукта и удобны в отношении применения автоматизации.

В выборе конструкции теплоиспользующего аппарата определяющими являются обычно масса, объем и длина аппарата.

Снижение массы аппарата при проектировании имеет важное значение в экономии расхода конструкционных материалов. Нередко снижение массы улучшает динамические характеристики теплоиспользующего аппарата. Для всех установок, монтируемых на локомотивах, кораблях, самолетах и передвижных установках, снижение массы аппарата является одной из главнейших задач при проектировании.

Объем и длина аппарата имеют важное значение при его компоновке в конкретных технологических или коммунально-бытовых схемах теплоиспользующих установок.

Учитывая все вышесказанное, можно утверждать, что рациональный подход к конструированию теплоиспользующих аппаратов и установок позволит повысить эффективность их работы и тем самым сэкономить для народного хозяйства значительные средства.

3. Классификация теплообменных аппаратов

Теплообменные аппараты классифицируются по следующим признакам.

- 1) По назначению: подогреватели, конденсаторы, охладители, испарители, парообразователи, холодильники.
- 2) По принципу действия: поверхностные и смешивающие
- 3) По времени действия: непрерывного и периодического действия.



**5. Перспективы развития теплотехнического оборудования (малой теплоэнергетики)
материал из журналов, литературы, интернета.**

<http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-teplovoy-energetiki-v-sovremennyh-usloviyah>

2 Теплоносители

[1.с 11-15]

План урока

- 1.Требования к теплоносителям.
- 2.Достоинства, недостатки, особенности теплоносителей:
 - 2.1 водяного пара при конденсации;
 - 2.2 водяного пара перегретого, без конденсации;
 - 2.3 горячей воды;
 - 2.4 топочных газов;
 - 2.5 воздуха;
 - 2.6 высокотемпературных теплоносителей;
 - 2.7 низкотемпературных теплоносителей;
 - 2.8 электрической энергии (способ обогрева.)

Конспект

1 Требования к теплоносителям:

- большая теплота парообразования;
- большая плотность;
- теплоемкость;
- малая вязкость;
- высокая температура при малых давлениях;

- высокий коэффициент теплоотдачи;
- термостойкость;
- химически стойкий;
- неагрессивный;
- не должен давать отложений на поверхности нагрева;
- недорогой;
- доступный.

2 Достоинства, недостатки, особенности теплоносителей

Таблица 1

Теплоносители	Достоинства	Недостатки	Особенности
Водяной пар при конденсации	Высокий коэффициент теплоотдачи, дает возможность поддерживать постоянный режим и регулировать процесс в аппаратах	Значительное повышение давления в зависимости от температуры насыщения	$\alpha=4000-120000$ вт/м ² ·К
Водяной пар перегретый без конден-		Маленький коэффициент теплоотдачи, маленькая плотность	$\alpha=20-100$ вт/м ² ·К
Горячая вода	Сравнительно высокий коэффициент теплоотдачи, небольшие потери тепла, высокая температура, недорогой теплоноситель	Вызывает коррозию и отложение накипи	$\alpha=500-10000$ вт/м ² ·К $c=4.2$ кдж./кг·К $\rho =950-1000$ кг/м ³

Топочные газы		Громоздкая аппаратура, низкий коэффициент теплоотдачи, нагрев до высокой температуры, пожароопасный, газ агрессивный, токсичный	$\alpha=1-50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ $c=1,2 \text{ кДж./кг} \cdot \text{К}$ $\rho=1-1,3 \text{ кг/м}^3$
Высокотемпературный	Высокая температура кипения при атмосферном давлении		
Низкотемпературный теплоноситель			Аммиак NH_3 , двуокись углерода CO_2 , фреоны,
Электрическая энергия	Простота и легкость подводки, удобство контроля	Дорогая электрическая энергия, 80% химической энергии тратится впустую	

Рекуперативные теплообменные аппараты.

Кожухотрубные, секционные теплообменные аппараты.

[1, с. 20 – 25]

План урока

1. Назначение, область применения кожухотрубного теплообменного аппарата
2. Схема кожухотрубного многоходового теплообменного аппарата
3. Основные элементы, особенности изготовления
4. Способы крепления труб в трубной решётке
5. Способы компенсации различных температурных удлинений
6. Принцип действия
7. Секционные теплообменные аппараты

Конспект

1. Назначение, область применения кожухотрубного теплообменного аппарата

Необходимость передачи теплоты 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, являющиеся комбинацией перечисленных. В процессе

теплообмена может участвовать несколько теплоносителей: теплота от одного из них может передаваться нескольким и от нескольких — одному.

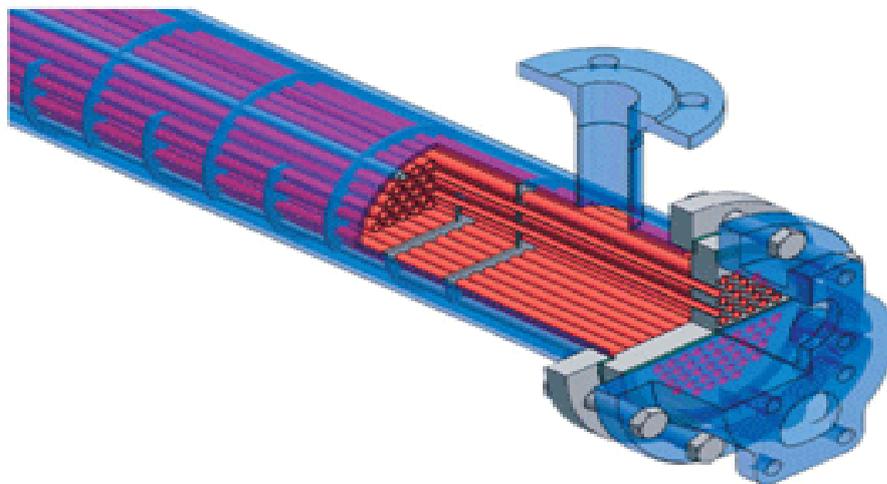


Рисунок 3- Кожухотрубный теплообменный аппарат

2 Схема кожухотрубного многоходового теплообменного аппарата

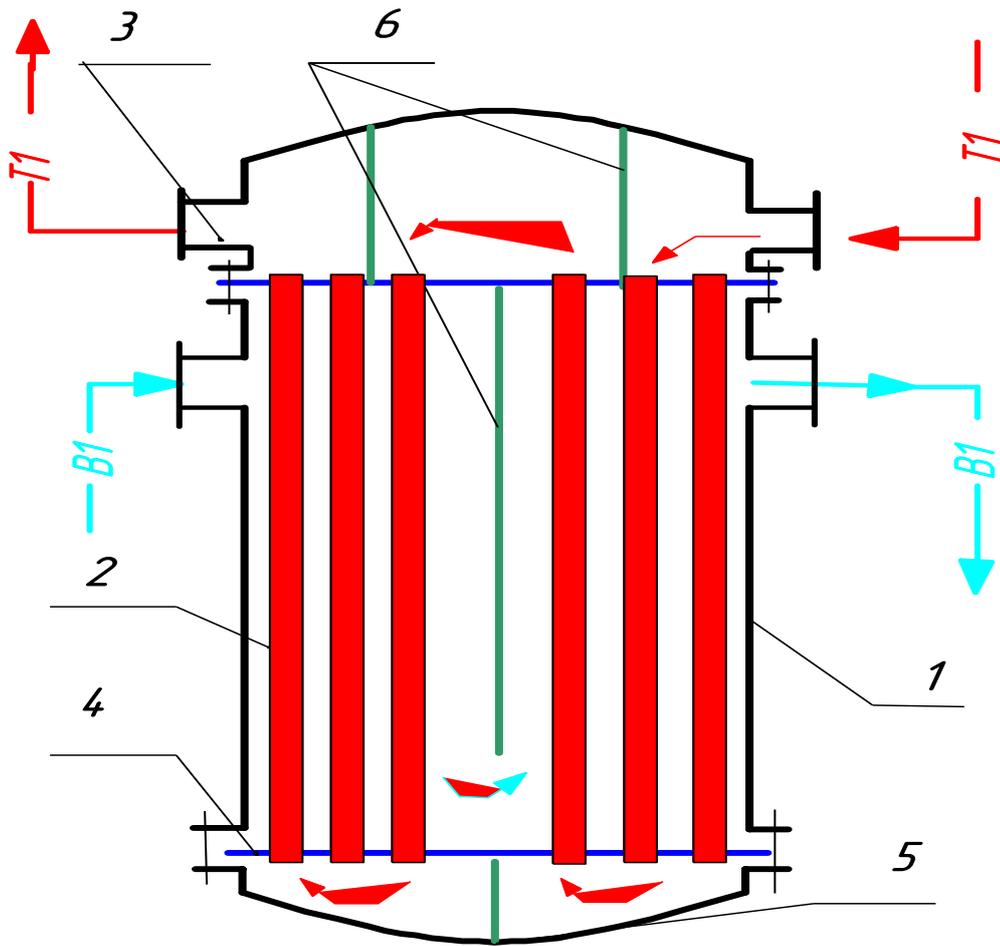
<http://ceevt.ru/kozuhotrubnye-teploobmenniki/parovodyanie-podogrevateli/>

<http://ceevt.ru/kozuhotrubnye-teploobmenniki/>

<http://yandex.ru/yandsearch?text=Кожухотрубные+теплообменные+аппараты.++&clid=46>

<http://yandex.ru/yandsearch?text=%D0%9A%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%85%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B5+%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5+%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%8B.++&clid=46510&lr=11283>

Многоходовой кожухотрубный теплообменный аппарат



1- кожух; 4- трубная решетка ; 2- трубки;
3-патрубки; 5-крышка; 6-перегородки

Рисунок 4- Схема кожухотрубного теплообменного аппарата

<http://ceevt.ru/kozuhotrubbye-teploobmenniki/parovodyanie-podogrevateli/>

3 Основные элементы, особенности изготовления

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 пред-

назначены для увеличения скорости и, следовательно, коэффициента теплоотдачи теплоносителей.

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. Так, например, трубки для судовых масляных холодильников, внутри которых протекает морская вода, выполняются из сплава МЖЦ по ГОСТ 100092-62.

Трубные решетки служат для закрепления в них труб при помощи развальцовки, заварки, запайки или сальниковых соединений. Трубные решетки зажимаются болтами между фланцами кожуха и крышки или привариваются к кожуху, или соединяются болтами только с фланцами свободной камеры (рис. 1-3). Материалом трубных решеток служит обычно листовая сталь Ст 4, толщиной, зависящей от расчетного давления, но не менее 20 мм.

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

Кожухотрубчатые теплообменники выполняют жесткой конструкции с компенсирующими устройствами одно- и многоходовые, прямо-, против- и поперечноточные, горизонтальные, вертикальные и наклонные. Вертикальные аппараты имеют большее распространение, так как они занимают меньше места и более удобно располагаются в рабочем помещении. Исходя из условий удобства монтажа и эксплуатации, максимальную длину трубок для них выбирают не более 5 м.

4. Способы крепления труб в трубной решётке

Трубные решетки служат для закрепления в них труб при помощи развальцовки, заварки, запайки или сальниковых соединений.

1. Способы компенсации различных температурных удлинений

Компенсация различного температурного удлинения труб и кожуха достигается различными способами:

- закреплением труб в решетках на сальниках;
- устройством подвижной трубной решетки;
- установкой линзового компенсатора на корпусе.

2. Принцип действия кожухотрубчатых теплообменников

Наиболее эффективная схема движения – противоточная; теплоноситель, дающий отложения направляется в трубки (т.к....)

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 невысоки, что снижает коэффициент теплопередачи в аппарате

Оптимальная скорость движения воды: 1- 3 м/с

3. Секционные теплообменные аппараты

Горизонтальные секционные скоростные водоподогреватели по ГОСТ 27590 с трубной системой из прямых гладких или профилированных труб отличаются тем, что для устранения прогиба трубок устанавливаются двухсекторные опорные перегородки, представляющие собой часть трубной решетки. Такая конструкция опорных перегородок облегчает установку трубок и их замену в условиях эксплуатации, так как отверстия опорных перегородок расположены соосно с отверстиями трубных решеток.

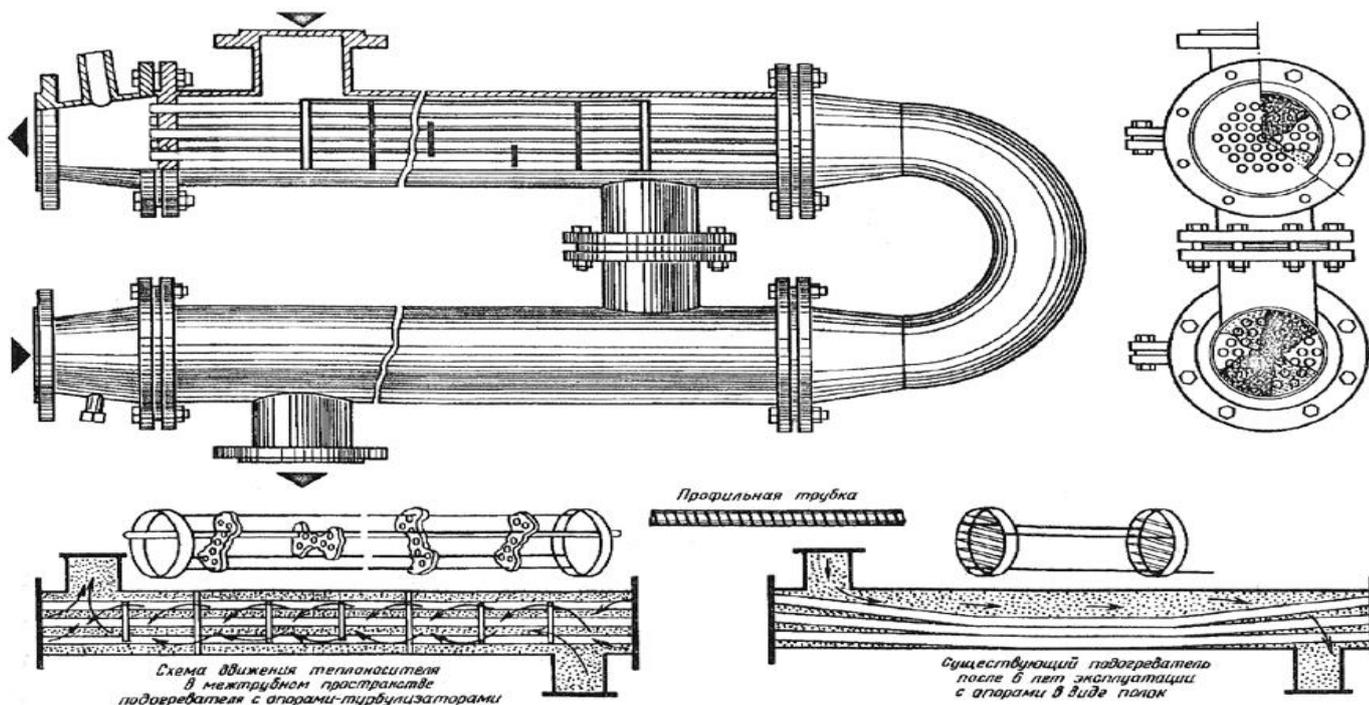
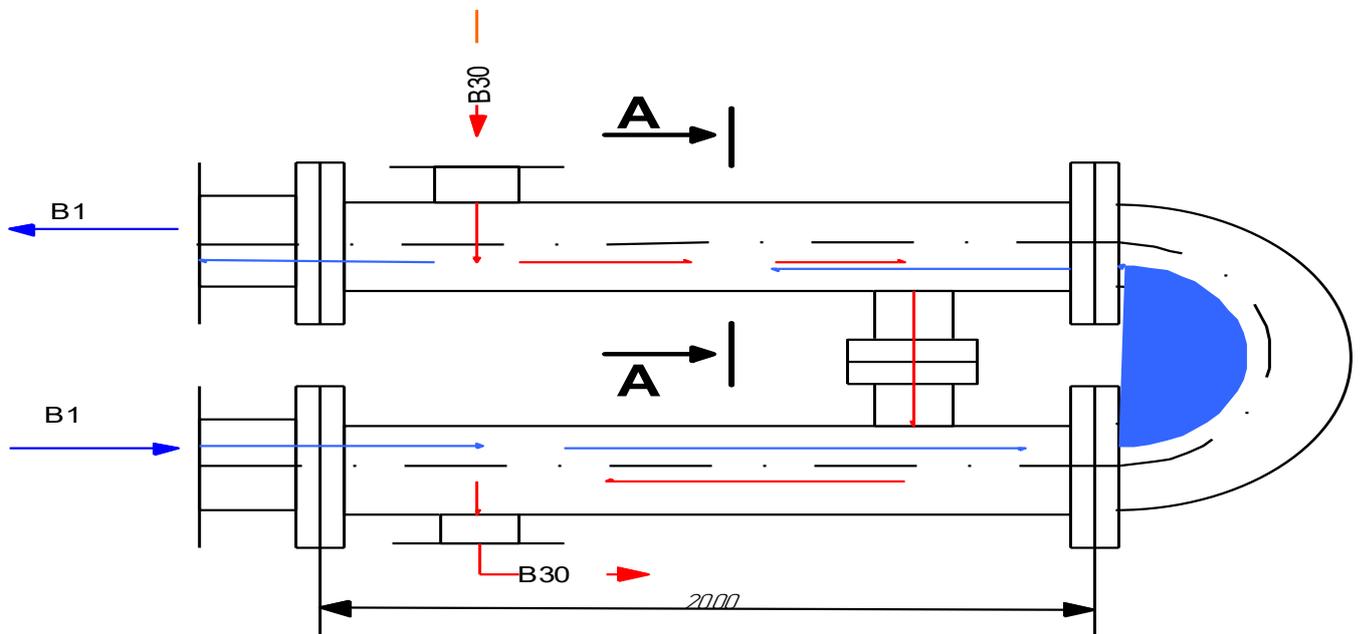


Рисунок 5 - Горизонтальный секционный кожухотрубный водоводяной подогреватель

Каждая опора установлена со смещением относительно друг друга на 60 °С, что повышает турбулизацию потока теплоносителя, проходящего по межтрубному пространству, и приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи от теплоносителя к стенке трубок, а соответственно - возрастает теплосъем с 1 кв.м поверхности нагрева. Используются латунные трубки наружным диаметром 16 мм, толщиной стенки 1 мм по ГОСТ 21646 и ГОСТ 494.

Еще большее увеличение коэффициента теплопередачи достигается применением в трубном пучке вместо гладких латунных трубок профилированных, которые изготавливаются из тех же трубок путем выдавливания на них роликом поперечных или винтовых канавок, что приводит к турбулизации пристенного потока жидкости внутри трубок.

Водоподогреватели состоят из секций, которые соединяются между собой калачами по трубному пространству и патрубками - по межтрубному (рис. 5). Патрубки могут быть разъемными на фланцах или неразъемными сварными. В зависимости от конструкции водоподогреватели для систем горячего водоснабжения имеют следующие условные обозначения: для разъемной конструкции с гладкими трубками - РГ, с профилированными - РП; для сварной конструкции - соответственно СГ, СП (направление потоков теплообменивающихся сред приведено в п. 4.3 правил).



B1 сырая вода
B30 подпиточная вода

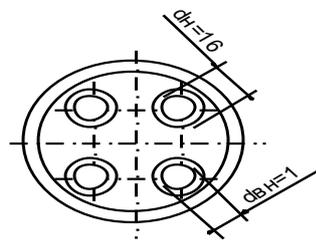


Рисунок 6 - Горизонтальный секционный кожухотрубный водоводяной подогреватель

Вопросы для самоконтроля.

1. Составьте схему одноходового теплообменника, в котором подпиточная вода охлаждается хим. очищенной

Водой

—— **B30** —— **Подпиточная вода**

—— **B22** —— **Хим. очищенная вода**

2. Почему на рисунке 3 пар подаётся в межтрубное пространство.

Задание на дом

1. Повторите вопрос "характеристика теплоносителей"
2. Перечислите все теплоносители в порядке уменьшения их чистоты, запишите в конспект.

4 Конструкция, принцип действия пластинчатых теплообменных аппаратов

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

[1, с.19-22]

Цель дидактическая: Изучить назначение, конструкцию и принцип действия пластинчатых теплообменников.

Цель воспитательная:

ПЛАН

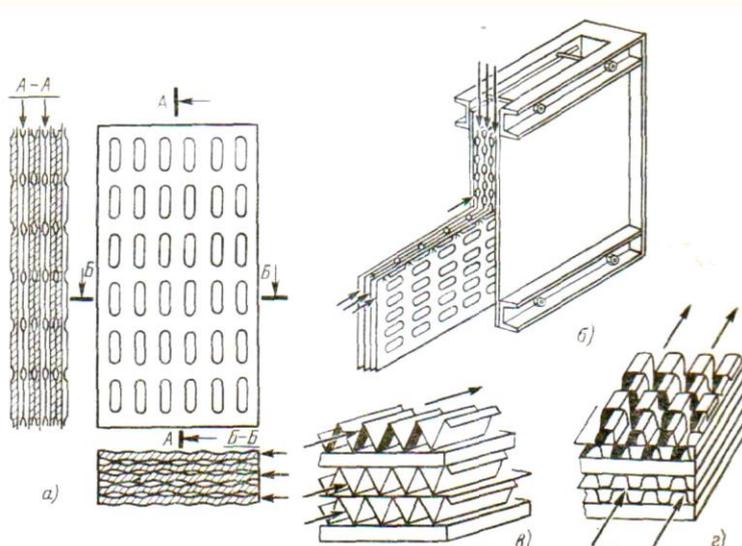
1. Устройство пластинчатого калорифера
2. Схемы движения теплоносителей в пластинчатых теплообменниках
3. Недостатки пластинчатых теплообменников
4. Достоинства пластинчатых теплообменников

Конспект

1 Устройство пластинчатого калорифера

В последнее время изготавливают 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.

Рисуи



На рисунке 7 представлено несколько конструкций теплообменников такого типа. Благодаря незначительному расстоянию между пластинами (6-8 мм), такие теплообменники имеют высокую компактность: удельную поверхность нагрева $F/V=200-300 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Поэтому пластинчатые теплообменники в ряде случаев вытесняют трубчатые и спиральные.

Пластинчатые теплообменники имеют плоские поверхности теплообмена. Обычно такие теплообменники применяются для теплоносителей, коэффициенты теплоотдачи которых одинаковы. Разборные пластинчатые теплообменники состоят из штампованных металлических листов с внешними выступами, расположены в коридорном или шахматном порядке.

2 Схемы движения теплоносителей в пластинчатых теплообменниках

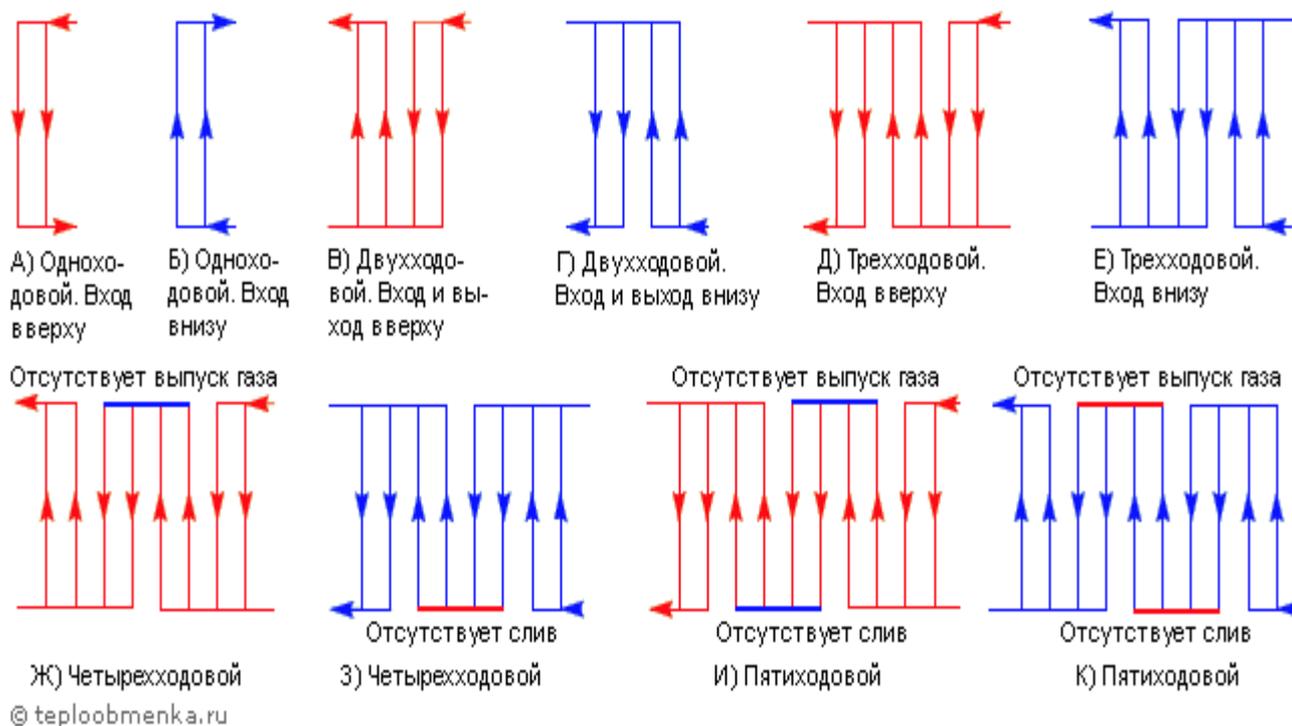


Рисунок 8 - Схемы движения теплоносителей в пластинчатых теплообменниках

2 Недостатки пластинчатых теплообменников:

- малая герметичность;
- незначительные перепады давлений между теплоносителями.

3 Достоинства пластинчатых теплообменников:

- компактность;
- металлоемкость при прочих равных условиях в основном определяют экономическую эффективность применения аппаратов.

Конструкция, принцип действия ребристых теплообменных аппаратов

[1с.21-25]

План

1. Область применения.
2. Типы ребристых теплообменников.
3. Особенности расчета.

1. Область применения

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

Оребрение выполняется со стороны теплоносителя имеющего малый коэффициент теплоотдачи (воздух).

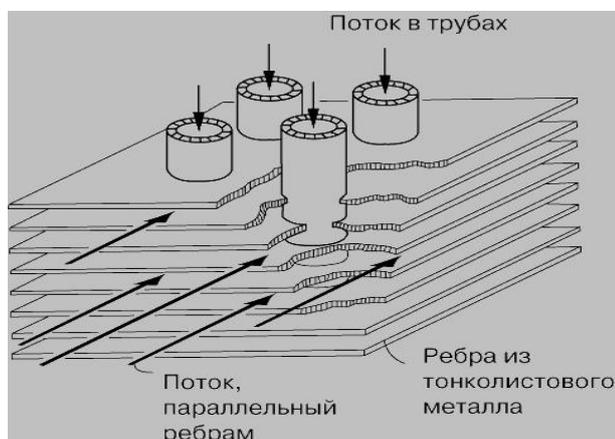


Рисунок 9 - Схема ребристого теплообменника

2. Типы ребристых теплообменников:

- а) пластинчатый,
- б) чугунная трубка с круглыми ребрами,
- в) трубка со спиральным оребрением,
- е) чугунная трубка с двусторонним игольчатом оребрением,

- г) чугунная трубка с внутренним оребрением,
- д) плавниковое оребрение трубок,
- ж) проволочное оребрение трубок,
- з) продольное оребрение,
- и) многорребристая трубка.

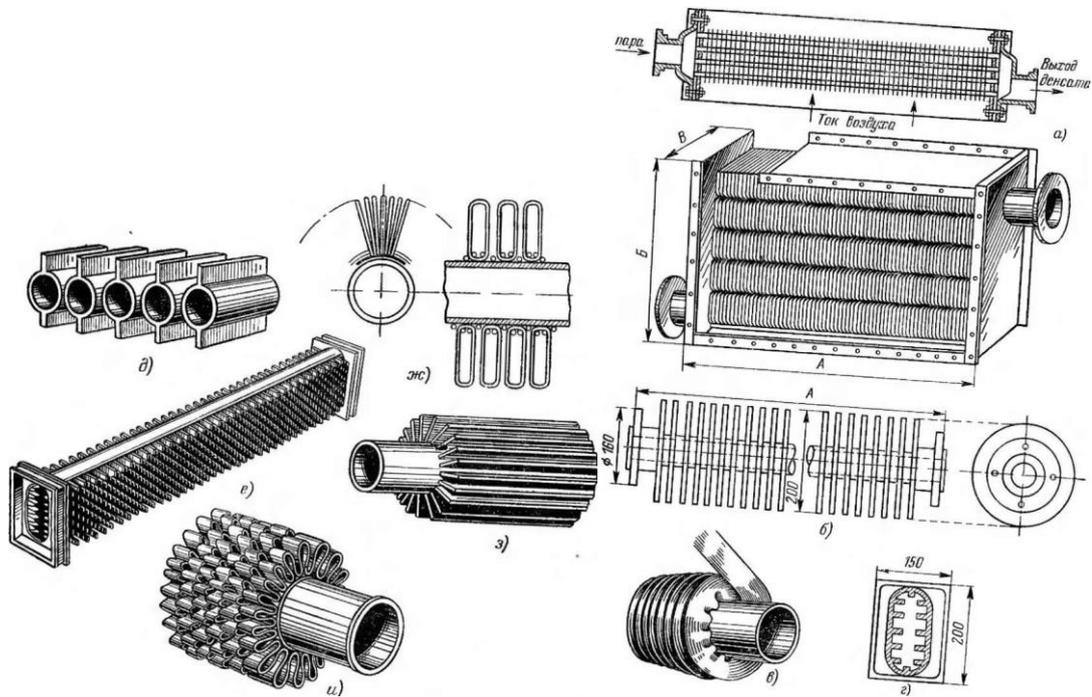


Рисунок 9- Схемы ребристых теплообменников.



Рисунок 10 - Типы ребристых теплообменников

3. Особенности расчета

Из курса «Теплопередача» известно, что коэффициент теплопередачи через ребристую стенку зависит от площадей тепло- отдающих поверхностей и коэффициентов теплоотдачи с обеих сторон стенки, толщины последней, теплопроводности материала стенки и загрязнений, возможных с обеих ее сторон.

Количество теплоты, Вт, передаваемое через ребристую поверхность, можно представить в виде

$$Q = K_{pc} \cdot (t_{ct1} - t_{ct2}) \cdot F_{pc} \quad (1)$$

Коэффициент теплопередачи через ребристую стенку Вт/(м² • К),

$$k_{p.c} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}\right) \frac{F_{p.c}}{F_c} + \frac{1}{\alpha_{2пр}} + R_{заг}} \quad (2)$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи с гладкой стороны, Вт/ (м²•К); $\alpha_{2пр}$ — приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны ребристой поверхности, Вт/ (м²• К); $R_{заг}$ — термическое сопротивление загрязнений ребристой поверхности, м²• К/Вт; t_{cp1} и t_{cp2} — средние температуры теплоносителей, °С; δ_c и λ_c — толщина и коэффициент теплопроводности материала стенки; F_c — площадь гладкой поверхности стенки, м²; $F_{p.c} = F_p + F_n$ — площадь ребристой поверхности стенки, м², равная сумме площади ребер F_p и площади стенки в промежутках между ребрами F_n .

Термические сопротивления слоев загрязнений учитываются в зависимости от того, с какой стороны они находятся, величиной $\delta'/\lambda'F_1$ или $\delta''/\lambda''F_2$ или их суммой, если загрязнение имеется с обеих сторон.

Расчетный, или приведенный, коэффициент теплоотдачи ребристой поверхности $\alpha_{2пр}$, отнесенный к внешней (ребристой) поверхности нагрева и учитывающий неравномерность теплообмена по поверхности ребра, определяется из уравнения

$$\alpha_{2пр} = \alpha_2 \left(\frac{F'_p \theta_0}{F'_{p.c} \theta_1} + \frac{F'_n}{F'_{p.c}} \right) \quad (3)$$

в котором α_2 — коэффициент теплоотдачи к воздуху от поверхности, свободной от ребер, определяемый по критериальному уравнению, соответствующему условиям теплообмена стенки со средой; F'_p — поверхность ребер на 1 м длины, м²/м; F'_n — внешняя поверхность, не занятая ребрами, на 1 м длины, м²/м; $F'_{p.c}$ — полная внешняя поверхность 1 м длины теплообменного аппарата; θ_1 — разность между температурами основной поверхности тепло-

обменного аппарата и воздуха; θ_0 — разность между температурами поверхности ребер и воздуха, меньшая, чем θ_1 , вследствие изменения температуры на поверхности ребер.

Отношение θ_0/θ_1 находится как функция конкретных условий обтекания ребристой поверхности α_2 , материала ребер λ_r и их геометрии (толщины, высоты и расположения на оребренной поверхности).

Таким образом, расчет довольно сложен, поскольку для его проведения необходим обширный справочный материал, включающий в себя вспомогательные формулы и константы для всевозможных условий обтекания.

При оребрении стремятся к выполнению условия

$$\alpha_1 \cdot F_c = \alpha_{np} \cdot F_{p.c} \quad (4)$$

Отношение величин оребренной поверхности $F_{p.c}$ и гладкой F_c называют коэффициентом оребрения и выбирают обычно в пределах конструктивных возможностей от 4 до 10.

Формулы для расчета рекуперативных теплообменных аппаратов.

Определение физических параметров и скоростей движения теплоносителей

[1 с 21 – 29, 32]

Студент должен знать:

Методику, основные формулы теплового, конструктивного, гидравлического расчётов;

Студент должен уметь: выполнять тепловой, конструктивный, гидравлический расчёты, выбирать теплообменные аппараты по справочной литературе.

План

1. Определение средней температуры теплоносителя.
2. Определение физических параметров.
3. Режимы движения теплоносителей
4. Оптимальные скорости теплоносителей.

КОНСПЕКТ

1. Определение средней температуры теплоносителя.

Теплообмен в теплообменных аппаратах зависит от физических параметров теплоносителей и от гидродинамических условий движения теплоносителей.

Физические параметры зависят от температуры. Так как температура теплоносителей изменяется в процессе теплообмена необходимо определить среднюю температуру t_{cp1} , t_{cp2}

$$t_{cp1} = \frac{t_1' + t_1''}{2} \quad t_{cp2} = \frac{t_2'' + t_2'}{2} \quad (5)$$

где, t_{cp1} и t_{cp2} – средние температуры горячего и холодного теплоносителя, град;

t_1' и t_1'' – начальная и конечная температуры греющего теплоносителя, град;

t_2' и t_2'' – начальная и конечная температуры холодного теплоносителя, град;

2. Определение физических параметров

Основными физическими параметрами рабочих сред являются плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, температура кипения, скрытая теплота испарения или конденсации и др. Значения этих параметров можно найти в справочной литературе.

3. Режимы движения теплоносителей

Режим движения определяется критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_g}{\nu} \quad (6)$$

где ω – скорость теплоносителя, м/с;

d_g – гидравлический диаметр, м;

ν – кинематическая вязкость, м²/с

Если теплоноситель подается внутрь трубочек, то диаметр гидравлический равен внутреннему диаметру трубки,

$$d_g = d_{вн}$$

Если вода подается между трубок, то d_g рассчитывается по формуле:

(7)

$$d_g = \frac{4f_{мтр}}{U}$$

где $f_{мтр}$ – живое сечение межтрубного пространства, м²;

U – смоченный периметр, м

(8)

$$f_{мтр} = \frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4} - n \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}$$

где n – число трубок

Смоченный периметр рассчитывается по формуле:

$$U = \pi \cdot D_{\text{вн}} + n \cdot \pi \cdot d_n \quad (9)$$

Если Re меньше 2320 – режим ламинарный

$Re > 10^4$ – турбулентный

$2320 < Re < 10^4$ – переходная область

4 Оптимальные скорости движения теплоносителей

При конструировании теплообменной аппаратуры обычно выбирают такие скорости теплоносителей, при которых коэффициенты теплоотдачи и гидравлические сопротивления были бы экономически выгодными.

Выбор оптимальной скорости имеет большое значение для качественной работы теплообменного аппарата, так как увеличение скоростей теплоносителей приводит к интенсификации теплообмена (возрастают коэффициенты теплопередачи) и уменьшению поверхности нагрева, т. е. аппарат становится компактнее, однако при этом значительно возрастают гидравлические сопротивления и, естественно, увеличивается расход электроэнергии на перекачку, а также появляется опасность гидравлического удара и вибрации труб. Поэтому часто бывает необходимо произвести технико-экономический расчет для выбора наивыгоднейших скоростей теплоносителей. Обычно минимальное значение скорости теплоносителя выбирается соответствующим началу турбулентного движения потока, т.е. числу Рейнольдса больше 10^4 .

Для наиболее часто применяемых диаметров труб (57,38 и 25 мм) рекомендуются скорости жидкости 1,5—2 м/с и не выше 3 м/с; нижний предел скорости для большинства жидкостей составляет 0,06—0,3 м/с. Для маловязких жидкостей скорость, соответствующая $Re=10^4$, не превышает 0,2—0,3 м/с. Для вязких жидкостей турбулентность потока достигается при значительно больших скоростях, поэтому при расчетах приходится допускать переходный или даже ламинарный режим. Для газов при атмосферном давлении допускаются скорости до 25 м/с, а массовые скорости 15-20 кг/(м²·с), нижний предел 2—2,5 кг/(м²·с), для насыщенных паров при конденсации рекомендуются скорости до 10 м/с

8 Тепловые балансы теплообменных аппаратов

[1,С.33-36] План:

1. На основе какого закона составляют тепловые балансы?
2. Тепловой баланс для теплообменников в общем виде.
3. Тепловой баланс для подогревателя без изменения агрегатного состояния вещества, для водоводяного теплообменника
4. Тепловой баланс для пароводяного теплообменника (с изменением агрегатного состояния вещества).
5. Тепловой баланс для испарителей

Конспект

1. На основе какого закона составляют тепловые балансы?

Тепловой баланс составляется на основе основного закона физики, закона сохранения и превращения энергии и тепла.

2. Тепловой баланс для теплообменников в общем виде.

Тепловой расчет начинается с определения тепловой нагрузки аппарата расхода одного из теплоносителей. *Тепловой нагрузкой* называется количество теплоты, переданное от горячего теплоносителя к холодному. Тепловая нагрузка определяется из уравнения теплового баланса, в идеальном случае

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} , \text{ кВт} \quad (11)$$

где $Q_{\text{прих}}$ – тепло которое отдает горячий теплоноситель, кВт;

$Q_{\text{расх}}$ – тепло которое принимает холодный теплоноситель, кВт.

С учетом потерь тепла тепловой баланс записывается:

$$Q_{\text{прих}} \cdot \eta = Q_{\text{расх}} , \text{ кВт} \quad (12)$$

где η – коэффициент полезного действия, т.е. коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

Тепловой нагрузкой называется количество теплоты Q , кВт, переданное от горячего теплоносителя к холодному.

3. Тепловой баланс для подогревателя без изменения агрегатного состояния вещества, для водоводяного теплообменника

$$G_1 \cdot C_1 \cdot (t'_1 - t''_1) \cdot \eta = G_2 \cdot C_2 \cdot (t''_2 - t'_2), \quad (13)$$

где G_1 и G_2 – массовые расходы теплоносителей, кг/с;

C_1 и C_2 – теплоемкости теплоносителей, кДж/кг*К

t'_1, t''_1, t'_2, t''_2 – начальные и конечные температуры

горячего и холодного теплоносителей, град

4. Тепловой баланс для пароводяного теплообменника (с изменением агрегатного состояния вещества).

$$D \cdot (\dot{i}_1 - \dot{i}_k) \cdot \eta = G_2 \cdot C_2 \cdot (t''_2 - t'_2), \quad (14)$$

где \dot{i}_1 – энтальпия греющего пара, определяется по таблице,

кДж/кг (зависит от давления пара);

\dot{i}_k – энтальпия конденсата, кДж/кг

$r = \dot{i}_1 - \dot{i}_k$ – скрытая теплота парообразования (конденсации), кДж/кг

5. Тепловой баланс для испарителей

Испаритель – это теплообменник, где из воды получается пар.

Греющим теплоносителем также является пар, только более высокого давления.

$$D \cdot (\dot{i}_1 - \dot{i}_k) \cdot \eta = G_2 \cdot C_2 \cdot (t_s - t'_2) + G_2 \cdot r, \quad (15)$$

где \dot{i}_1 и \dot{i}_k – энтальпии при давлении греющего пара (высоком), определяется по таблицам, кДж/кг;

t_s – температура кипения холодного теплоносителя, (при низком давлении), град;

r – скрытая теплота парообразования, определяется по таблицам, кДж/кг

8 Схемы движения теплоносителей.

Определение средней разности температур $\Delta t_{ср}$.

Определение коэффициента теплопередачи

[1, с.36–42]

План

1 Схемы движения теплоносителей в теплообменнике

2 Определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи

1 Схемы движения теплоносителей в теплообменнике

Расчет температурного режима работы теплообменного аппарата состоит из определения средних температур теплоносителей и средней разности температур, а также стенок аппарата.

Приступая к расчету температурного режима теплообменника, необходимо сначала установить характер изменения температуры теплоносителей, выбрать схему их движения так, чтобы получить максимальную среднюю разность температур. Это создаёт наилучшие условия для теплопередачи.

Направления движения теплоносителей *1* и *2* могут быть прямоточными, противоточными, перекрестными и смешанного тока (со сложным направлением движения теплоносителей) (рис. 1-11). Характер изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена определяется схемой движения и соотношением теплоемкостей массовых расходов теплоносителей.

Схемы движения теплоносителей в теплообменнике:

1. прямоток

2. противоток
3. перекрестный ток
4. прямоток и противоток одновременно
5. многократно перекрестный ток

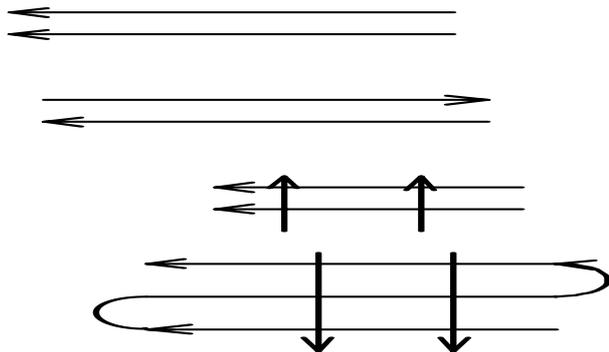


Рисунок 11- Схемы движения теплоносителей в кожухотрубном теплообменнике

Если температура обоих теплоносителей изменяется вдоль поверхности теплообмена, то при противотоке и прямотоке

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} + \Delta t_{\underline{m}}}{2,31 \cdot \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\underline{m}}}}, \quad (16)$$

где $\Delta t_{\bar{o}}$ и $\Delta t_{\underline{m}}$ - большая и меньшая разности температур между первичными и вторичными теплоносителями на концах теплообменников.

Полученная разность температур (1-35) называется средне - логарифмическим температурным напором. Формула (1-35) справедлива для простейших схем аппаратов при условии постоянства массового расхода теплоносителей и коэффициента теплопередачи вдоль всей поверхности теплообмена.

В тех случаях, когда температура теплоносителей вдоль поверхности теплообмена изменяется незначительно, средняя разность температур вычисляется по упрощенной формуле как средняя арифметическая крайних напоров:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} + \Delta t_{\underline{m}}}{2} \quad (17)$$

Так как значения среднеарифметического температурного напора всегда больше, чем среднелогарифмического, то расчет по формуле (1-39) справедлив при $\Delta t_{\bar{o}}/\Delta t_{\underline{m}} < 2$.

Определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи

Коэффициент теплопередачи k представляет собой количественную расчетную величину, характеризующую сложный теплообмен. Он зависит от коэффициентов теплоотдачи, термического сопротивления стенки и загрязнений. Для плоской стенки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{заг}}, \quad (18)$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя;

δ - коэффициент теплопроводности материала стенки;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю;

$R_{заг}$ - термическое сопротивление, учитывающее загрязнение с обеих сторон стенки,

ки,

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м*К

$$R_{заг} = \frac{\delta_{заг}}{\lambda_{заг}}, \quad (19)$$

Для стенки, имеющей другие геометрические формы (цилиндрической, шаровой, многослойной плоской, многослойной цилиндрической, многослойной шаровой, ребристой и т. д.), расчетные формулы для определения коэффициента теплопередачи можно найти в справочной литературе. Если стенка трубы тонкая, то достаточно точно можно считать по формуле для плоской стенки. Так, при $d_{вн}/d_{нар} < 2$ погрешность не превышает 4%

Ориентировочные значения термического сопротивления для некоторых случаев загрязнения поверхности стенки приведены в табл. 1-3.

Если теплопроводность слоя загрязнения неизвестна, подсчитывают коэффициент теплопередачи k для чистой стенки и вводят поправку на ее загрязнение при помощи коэффициента φ использования поверхности теплообмена:

$$k_{расч} = k_{чист.ст} \varphi \quad (20)$$

Для большинства аппаратов числовое значение коэффициента φ лежит в пределах $\varphi = 0,65 \div 0,85$. В случае большого выпадения осадков из теплоносителей на поверхности теплообмена (например, из морской воды на поверхность судовых маслоохладителей при некоторых режимах работы) коэффициент $\varphi = 0,4 \div 0,5$

9. Определение коэффициента теплоотдачи, поверхности нагрева

Коэффициенты теплоотдачи α , кВт/м²* К, определяются в большинстве случаев из выражения для критерия Нуссельта:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_s}, \quad (21)$$

где Nu- безразмерный критерий подобия – критерий Нуссельта;

λ - коэффициент теплопроводности того теплоносителя, для которого определяется коэффициент теплообмена; кВт/м*К.

d_s (d_r)- эквивалентный (гидравлический) диаметр, м

Если в кожухотрубном теплообменнике теплоноситель подается внутрь трубочек, то диаметр гидравлический равен внутреннему диаметру трубки,

$$d_r = d_{вн} \quad (22)$$

Если теплоноситель подается между трубок, то d_r рассчитывается по формуле:

$$d_s = \frac{4f_{мтр}}{U} \quad (23)$$

где $f_{мтр}$ – живое сечение межтрубного пространства, м²;

U – смоченный периметр, м

(24)

$$f_{мтр} = \frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4} - n \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \quad \pi = 3,14$$

$D_{вн}$ –внутренний диаметр кожуха теплообменника, м;

n – число трубок;

d_n – наружный диаметр трубки, м

Смоченный периметр рассчитывается по формуле:

$$U = \pi \cdot D_{вн} + n \cdot \pi \cdot d_n \quad (25)$$

Критерий Nu определяется в зависимости от характера движения и агрегатного состояния теплоносителей по критериальным уравнениям различного вида.

Обобщение экспериментальных данных различных исследователей дает для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении различных жидкостей (кроме жидких металлов) для диапазона чисел Рейнольдса $Re=10^4 \div 5 \cdot 10^6$ следующее критериальное уравнение

$$Nu_{жcd} = 0,021 \cdot Re_{жcd}^{0,2} \cdot Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l, \quad (26)$$

где $Re_{жcd}$ - критерий Рейнольдса, определяемый при температуре жидкости и определяющем размере трубы;

$Pr_{жс}$ - критерий Прандтля (Прандтль – определяется по таблице), определяемый при температуре жидкости;

Pr_c - критерий Прандтля, определяемый при температуре стенки;

ε_l - коэффициент, учитывающий изменение среднего коэффициента теплоотдаче по длине трубы при, $\ell/d \geq 50, \varepsilon_l = 1$, при $\ell/d \geq 50$ необходимо учитывать влияние начального термического участка;

Поверхность теплопередачи

Величина поверхности теплообмена $F, м^2$, определяется из основного уравнения теплопередачи:

$$Q = F \cdot k \cdot \Delta t_{cp} \quad (27)$$

Тогда

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (28)$$

где Q – тепловая нагрузка аппарата, кВт, (определяется из теплового баланса);

k - коэффициент теплопередачи, кВт/м² *К;

Δt_{cp} - средняя разность температур, (средне-логарифмический температурный напор), град.

По поверхности теплообмена подбираются теплообменный аппарат и патрубки.

Рекуперативные теплообменные аппараты периодического действия

[1с.103-112]

Студент должен знать: назначение, виды, устройства и область применения рекуперативных теплообменных аппаратов периодического действия.

Студент должен уметь: выбрать теплообменные аппараты в зависимости от заданных условий теплообмена

План:

- 1) Область применения, назначение.
- 2) Виды теплообменных аппаратов.
- 3) Устройство и принцип действия аппаратов (обогрев острым паром, обогрев глухим паром.
- 4) Расчет водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом
- 5) Расчет водонагревателя-аккумулятора с паровым обогревом

1. Область применения, назначение.

Рекуперативные аппараты периодического действия нашли широкое применение в промышленности: химической, пищевой, медицине, в теплоснабжении.

В теплоснабжении для подогрева воды, в медицине для обработки инструментов, в химической и пищевой промышленности для приготовления продуктов.

2. Виды теплообменных аппаратов.

Теплообменные аппараты бывают: водонагреватели-аккумуляторы, варочный котел с мешалками, варочный котел с выносным подогревателем, автоклав с паровой рубашкой, реакционные аппараты.

3. Устройство и принцип действия аппаратов

В варочных и реакционных аппаратах обрабатываемые материалы нагреваются до заданной температуры и выдерживаются некоторое время при этой температуре. За требуемое время в материале происходят необходимые изменения (большой частью химические), затем

аппарат опорожняется. Время обработки материала в аппарате зависит от требований технологии производства.

Простейшим варочным аппаратом может служить открытый чан, где материал обрабатывается жидкостью при атмосферном давлении. Материал загружается на перфорированную решетку («ложное дно»), размер отверстий в которой меньше размера кусков обрабатываемого материала. Решетка монтируется на некотором расстоянии от дна аппарата. Под решеткой располагается паровой змеевик с отверстиями, называемый **барботерной** трубкой. Из отверстий змеевика выходит пар и, проходя сквозь жидкость, нагревает ее; такой способ нагрева жидкости называют обогревом **«острым»** паром. Жидкость в свою очередь нагревает расположенный в ней материал. Открытые варочные чаны употребляют в тех случаях, когда термическая обработка материала протекает при температурах ниже 100⁰С и из материала не выделяются токсичные пары или газы.

При обогреве **глухим** паром теплообмен происходит за счет естественной конвекции жидкости; при этом коэффициент теплопередачи мал и, следовательно, такой процесс обогрева малоэффективен.

Недостатком таких змеевиков-барботеров является сильный шум, производимый ими во время работы. Пароводяные струйные инжекторы, применяемые для этих целей, лишены такого недостатка.

Открытые варочные чаны употребляют в тех случаях, когда термическая обработка материала протекает при температурах ниже 100⁰ С и из материала не выделяется токсических паров или газов. При выделении вредных веществ варочный аппарат закрывают герметичной крышкой с вытяжкой в соответствии с санитарными нормами.

Термическая обработка материалов при высоких давлениях и температурах производится в герметизированных аппаратах-автоклавах, в которых нагрев обрабатываемого материала производится или «глухим» паром при помощи паровых рубашек и змеевиков, или «острым» паром через барботерные трубы.

Водонагреватели - аккумуляторы представляют собой сосуды большей емкости с водяным или паровым обогревом и применяются в системах горячего водоснабжения, периодически расходующих большие количества воды (рис. 3-1, *а и б*). Вода в них нагревается за 4—5 ч, а расходуется в течение 20—30 мин (например, в душевых помещениях цехов после очередной смены).

При обогреве «глухим» паром теплообмен происходит только за счет естественной конвекции жидкости; при этом коэффициент теплопередачи мал и, следовательно, такой процесс обогрева малоэффективен.

При обогреве «острым» паром теплообменные процессы происходят более интенсивно, но источник питания агрегата паром (ТЭЦ или котельная) расходует много дорогостоящего конденсата (рис. 3-1, в).

В целях интенсификации процесса теплообмена часто внутри аппаратов устанавливают мешалки для перемешивания жидкости и обрабатываемого материала (рис. 3-1, г). Мешалки имеют разнообразное конструктивное оформление. Применение мешалок ускоряет процесс нагревания, однако требует дополнительной затраты энергии на привод мешалки.

Для экономии конденсата или при необходимости замены греющего пара горячей водой применяют аппараты с выносными подогревателями (рис. 3-1, д). Жидкость в таком аппарате прогоняется через выносной подогреватель циркуляционным насосом.

В аппаратах периодического действия нагрев происходит при переменном тепловом режиме, поэтому ранее рассмотренные зависимости, относящиеся к аппаратам непрерывного действия с установившимся тепловым режимом, не могут быть использованы для их расчета. Рассмотрим работу водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом. На рис. 3-2 изображены схемы аппарата и соответствующий ей график изменения температур греющей и нагреваемой воды в зависимости от времени.

Особенность режима работы такого аппарата состоит в том, что температура греющей воды на выходе из аппарата t_1'' возрастает во времени при постоянных расходе G и начальной температуре. Это объясняется тем, что вода в аккумуляторе нагревается и для ее последующего нагрева требуется все меньший и меньший перепад температуры.

При обогреве острым паром теплообменный процесс происходит более интенсивно, но источник питания агрегата паром (ТЭЦ или котельная) расходует много дорогостоящего конденсата.

Термическая обработка материалов при высоких давлениях и температурах производится в герметизированных аппаратах - автоклавах, в которых нагрев обрабатываемого материала производится глухим паром при помощи паровых рубашек и змеевиков, или острым через барботерные трубы.

4 Расчет водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом

Водонагреватели-аккумуляторы представляют собой сосуд большой емкости с водяным или паровым обогревом и применяется в системах горячего водоснабжения, периодически расходующих большие количества воды.

В этих аппаратах нагрев происходит при переменном тепловом режиме.

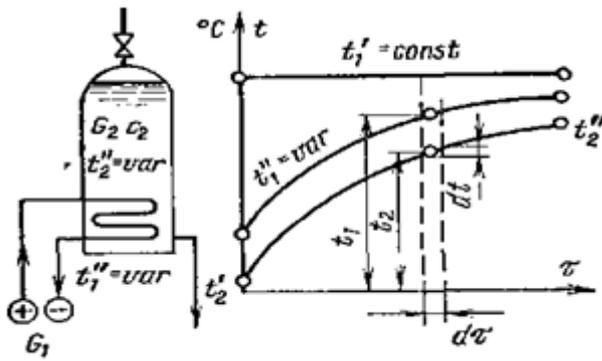


Рисунок 12 – График изменения температур в водонагревателе-аккумуляторе с водяным обогревом

В водонагревателе-аккумуляторе температура греющейся воды на выходе из аппарата возрастает во времени, поэтому уравнение теплопередачи и теплового баланса записываются так:

$$dQ = k \cdot F \cdot \Delta t \cdot d\tau = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') \cdot d\tau = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \cdot dt \quad (29)$$

где $G_1 c_1$ и $G_2 c_2$ — теплоемкости массовых расходов теплоносителей;

$d\tau$ - элемент времени, в течение которого температура воды повышается на dt ,

с;

k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м² • К) ;

F — поверхность нагрева, м²;

Δt — средняя логарифмическая разность температур

t_1', t_1'', t_2', t_2'' — температуры греющей и нагреваемой воды в рассматриваемый промежуток времени $d\tau$.

Средняя температура воды определяется приближенно по формуле

$$t_{2cp} = t_1' - \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \frac{t_1' - t_2'}{t_1' - t_2''}} \quad (30)$$

По значению температуры t_{2cp} можно определить коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде.

Среднее значение температуры греющей воды находится по формуле

$$t''_{1cp} = t'_1 - \frac{t''_{1(кон)} - t''_{1(нач)}}{\ln \frac{t'_1 - t''_{1(нач)}}{t'_1 - t''_{1(кон)}}} \quad (31)$$

5. Расчет водонагревателя-аккумулятора с паровым обогревом

Пар нагревает воду в аппарате и конденсируется при температуре, соответствующей его давлению. Количество воды, нагреваемой в аппарате, G_2 постоянно во времени. Поскольку температура конденсации пара t_H постоянна во времени, а температура воды t_2 возрастает, температурный напор $\Delta t = t_H - t_2$ уменьшается во времени. Поэтому уменьшаются теплопроизводительность аппарата Q и потребный расход пара D .

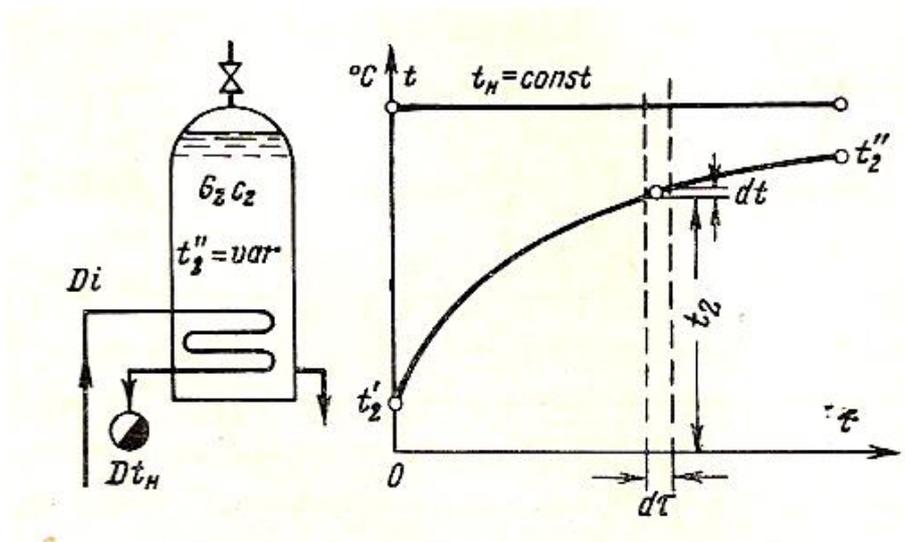


Рисунок 13 – График изменения температур в водонагревателе-аккумуляторе с паровым обогревом

Дифференциальные уравнения теплопередачи и теплового баланса для элемента времени dt , в течение которого температура воды повышается на dt , имеют вид:]

$$dQ = D \cdot (i - i_k) dt = k \cdot F \cdot \Delta t dt = G_2 \cdot c_2 dt \quad (32)$$

где G_2 — количество воды, нагреваемой в аппарате, кг;

c_2 — удельная теплоемкость воды, нагреваемой в аппарате, кДж/(кг·К);

Δt — температурный напор, К;

k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

F — поверхность нагрева аппарата, м^2 ;

$d\tau$ — элемент времени, в течение которого температура воды повышается на dt , с; D —
потребный расход пара, кг/с;

i — энтальпия греющего пара, кДж/кг;

i_k — энтальпия конденсата греющего пара.

Эти уравнения выражают равенство расходов теплоты, отданной паром, переданной через поверхность нагрева и полученной водой.

23 Регенеративные теплообменные аппараты, аппараты с кипящим слоем

[1 с,112-124]

План

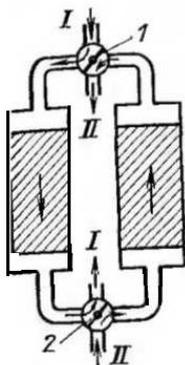
- 1 Определение регенеративного теплообменного аппарата
- 2 Схема регенератора с неподвижной насадкой
- 3 Схема теплообменника с движущимся твердым промежуточным теплоносителем.

- 4 Регенеративные воздухоподгреватели
- 5 Аппараты с кипящим слоем
 - 5.1 Достоинства.
 - 5.2 Принцип образования кипящего слоя (рис-38б)
 - 5.3 Схема теплообменника с кипящем слоем.
 - 5.4 Тепловой баланс данного теплообменника

К регенераторам относится большая группа теплообменных аппаратов, в которых передача теплоты от одного теплоносителя к другому происходит посредством неподвижной или перемещающейся насадки. В качестве насадки применяют огнеупорный кирпич, металлические листы, пластины, шары, алюминиевую фольгу и т. п.

В течение первого периода (период нагревания насадки) через аппарат пропускают горячий теплоноситель, при этом отдаваемая им теплота расходуется на нагревание насадки и в ней аккумулируется. В течение второго периода (период охлаждения насадки) через аппарат пропускают холодный теплоноситель, который нагревается за счет теплоты, аккумулированной насадкой. Периоды нагревания и охлаждения насадки продолжаются от нескольких минут до нескольких часов.

Для осуществления непрерывной теплопередачи между теплоносителями необходимы два регенератора: в то время как в одном из них происходит охлаждение горячего теплоносителя, в другом нагревается холодный теплоноситель. Затем аппараты переключаются, после чего в каждом из них процесс теплопередачи протекает в обратном направлении. Схема соединения и переключения пары регенераторов приведена на рис. 11. Переключение производится поворотом клапанов *I* и *2*. Направление движения теплоносителей показано стрелками. Обычно переключение регенераторов производится автоматически через определенные

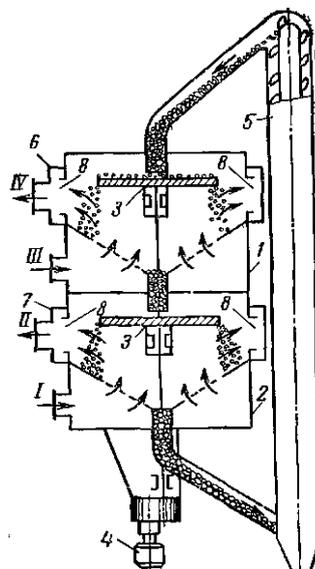


промежутки времени.

I — холодный теплоноситель; *II* — горячий теплоноситель.

Рисунок 14- Схема регенератора с неподвижной насадкой

3 Схема теплообменника с движущимся твердым промежуточным теплоносителем.



1 и 2 — камеры соответственно охлаждаемого и нагреваемого газов; 3 — вращающийся диск, регулирующий подачу твердых частиц; 4 — электродвигатель с редуктором; 5 — ковшовый элеватор; 6 и 7 — коллекторы соответственно охлажденного и нагретого газа; 8 — окна коллектора; I — холодный газ; II — нагретый газ; III — горячий газ; IV — охлажденный газ.

Рисунок 15- Схема теплообменника с движущимся твердым промежуточным теплоносителем.

На рис. 15 показана принципиальная схема регенератора, движущаяся насадка в котором выполнена в виде металлических шаров. Через регенератор 1 пропускается горячий теплоноситель, при этом насадка нагревается. Насадка непрерывно выгружается через регулирующий затвор 3 и поступает в регенератор 2, через который пропускается холодный теплоноситель. Из регенератора 2 насадка поступает в ковшовый элеватор 5 и подается им снова в регенератор 1. Таким образом, отпадает необходимость переключения регенераторов, и теплота передается от горячего теплоносителя к холодному при помощи насадки, непрерывно циркулирующей через оба регенератора.

Некоторые типы регенераторов приведены на рис. 3-7. На рис. 3-7, а приведена схема работы регенератора мартеновской печи, работающей на мазутном топливе.

4 Регенеративные воздухоподгреватели

Регенератор системы Юнгстрема с вращающейся металлической насадкой, получивший применение на электростанциях в качестве воздухоподогревателя для использования тепла отходящих газов котельных агрегатов. Вращающаяся насадка аппарата состоит из профильных металлических листов, которые, двигаясь по кругу, пересекают поочередно каналы—с горячими газами, где они нагреваются и передают теплоту воздуху. Скорость вращения ротора с насадкой невелика и обычно не превышает **3—6** об/мин.

По сравнению с регенераторами с неподвижной насадкой достоинством регенератора Юнгстрема является практически постоянная средняя температура воздуха на выходе из аппарата, зависящая только от температуры поступающих в аппарат горячих газов. Компактность воздухоподогревателя Юнгстрема является также одним из его достоинств по сравнению с рекуперативными воздушными подогревателями. Недостатками регенератора Юнгстрема являются сложность конструкции и загрязнение воздуха газами.

5 Аппараты с кипящим слоем

5.1 Достоинства

Более интенсивные процессы-сушки, катализа, адсорбции, нагрева, обжига, горения.

5.2 Принцип образования кипящего слоя

При осуществлении таких процессов мелкоизмельченные твердые частицы находятся в восходящем потоке газа, как бы в кипящем или живом состоянии.

С увеличением скорости газа высота слоя твердых частиц начинает возрастать, материал как бы набухает, вспучивается. Когда скорость газов достигает критической величины, при которой сопротивление слоя становится равным его весу, слой твердых частиц приобретает текучесть и переходит в псевдооживленное состояние.

Поршневое, пузырьковое состояние нежелательно.

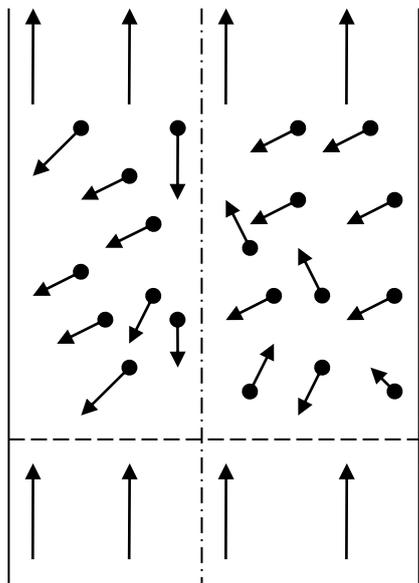
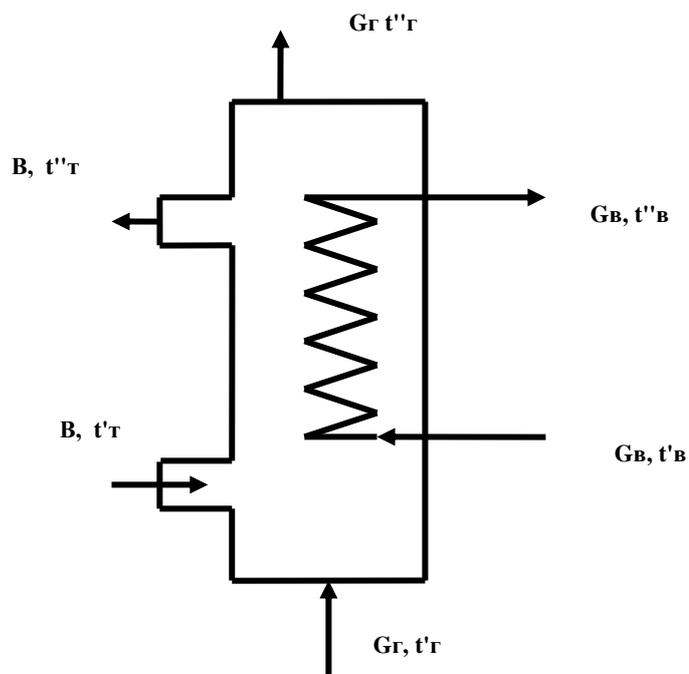


Рисунок 16-Движение газа в слое твёрдых частиц (кипящий псевдооживенный слой)

5.3 Схема теплообменника с кипящим слоем



5.4 Тепловой баланс теплообменника с кипящим слоем

$$Q = G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma}' - t_{\Gamma}'') = G_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} \cdot (t_{\text{В}}'' - t_{\text{В}}') = B \cdot C_{\Gamma} (t_{\Gamma}'' - t_{\Gamma}') + Q_{\text{пот}} \quad (33)$$

где $G_{\text{В}}$ - количество раствора (воды), кг;

G_{Γ} - количество газа, кг;

B - количество кипящего зернистого материала, кг;

$t_{\text{В}}'$ $t_{\text{В}}''$ - температура раствора начальная и конечная, град

$$G_{\Gamma}' = G_{\Gamma}'' ; G_{\text{В}}' = G_{\text{В}}'' ; C_{\Gamma}' = C_{\Gamma}'' \quad (34)$$

Список литературы

Основная

- 1 Голубков Б.Н. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий.-М.:Энергия,1990
- 2 Бакластов А.М. Проектирование,монтаж и эксплуатация теплообменных установок.-М.:Энергоиздат,1981

Дополнительная

- 3 Бузников Е.Ф. Производственные и отопительные котельные -М.:Энергоиздат,1984
- 4 Интернет, сайт «Теплоэнергетика. Теплообменные аппараты»
http://www.teploprofi.com/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=Teploobmenni_ki_russia&utm_content=%25d1%2582%25d0%25b5%25d0%25bf%25d0%25bb%25d0%25be%25d0%25be%25d0%25b1%25d0%25bc%25d0%25b5%25d0%25bd%25d0%25bd%25d1%258b%25d0%25b5%2520%25d0%25b0%25d0%25bf%25d0%25bf%25d0%25b0%25d1%2580%25d0%25b0%25d1%2582%25d1%258b/1843057331&_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs3ODk1NzM0OzI3MDA2MzA2Nzt5YW5kZXgucnU6cHJlbW11bQ
- 5 Интернет, сайт техникума <http://kgt.tabu.ru/>