

Навоийский горно-металлургический комбинат  
Навоийский государственный горный институт  
Химико-металлургический факультет  
Кафедра «Химическая технология»

## КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Предмет: **“Оборудования предприятия”**

Студент (ка) **Журабекова Замира** группа 16-07 ХТ

---

**Тема:** Спроектировать кожухотрубчатый теплообменный аппарат для охлаждения (холодильник) жидкости

### ЗАДАНИЕ

**Исходные данные к проекту:** Бензол,  $G$  кг/ч  $=24 \cdot 10^3$ ,  $T_{1н} = 70^\circ\text{C}$ ,  $T_{1к} = 30^\circ\text{C}$ ,  $T_{2к} = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_{2н} = 35^\circ\text{C}$ ,

**Перечень материалов графической части:** Общий вид основного аппарата, технологическая схема

**Перечень подлежащих разработке вопросов в курсовом проекте:**  
Описание теплообменных аппаратов и устройств, технологический расчёт, содержание гидравлического расчёта, безопасность жизнедеятельности, заключение, используемые литература.

**Руководитель: Бахронов Х.Ш.**

**Задание принял к исполнению студент (ка)**

\_\_\_\_\_ (дата, подпись)

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретическая часть.....	4
2. Задание на проектирование.....	18
3. Технологический расчёт.....	19
4. Гидравлического расчёт.....	23
5. Безопасность жизнедеятельности.....	25
6. Заключение.....	26
Литература.....	27

					<i>Курсовая работа</i>	<i>Лист</i>
<i>изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись.</i>	<i>Дата.</i>		



Б) с поверхностью теплообмена из металлического листа:

- спиральные;
- рубашечные;
- пластинчатые;
- сотовые.

В) С поверхностью теплообмена из неметаллического материала:

- с эмалированной поверхностью;
- из стекла;
- из пластмассы;
- из графита.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Основные принципы конструирования теплообменных аппаратов**

Теплообменное оборудование занимает значительный удельный вес в химической технологии. Наряду с теплообменниками, представляющими собой самостоятельные аппараты, применяют теплообменные элементы, являющиеся составными частями различных аппаратов. Теплообменники работают с самыми различными средами, коррозионными, токсичными и высоковязкими продуктами. Их эксплуатируют при температурах до 1000°C и давлениях до 200 МПа.

Свойства среды и ее параметры предъявляют свои требования к конструкции теплообменных аппаратов. Необходимо учитывать технологическое назначение теплообменников: различают аппараты для процесса теплообмена без изменения агрегатного состояния продуктов, конденсаторы, испарители и реакционные аппараты, сопровождающиеся интенсивным теплообменом.

Характер процессов, протекающих в теплообменнике, определяет в значительной степени его конструкцию. Например, в испарителях необходимо обеспечить хороший отвод образующихся паров; если теплообмен

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		



направление движения не имеет существенного значения.

На рис. 1 показаны основные типы теплообменников. Как видно из представленной схемы, теплообменные аппараты по форме поверхности подразделяются в основном на трубчатые и нетрубчатые. Теплообменники с поверхностью, образованной из труб, - наиболее старые и распространенные в настоящее время типы теплообменных аппаратов. Они просты в изготовлении, имеют большую надежность по сравнению с другими типами теплообменников при работе с токсичными продуктами, однако уступают некоторым современным нетрубчатым теплообменным аппаратам по таким важным технико-экономическим параметрам, как масса, приходящаяся на единицу поверхности теплообмена, и компактность, т. е. теплообменная поверхность, заключенная в единице объема аппарата, поэтому в настоящее время в промышленность широко внедряются различные типы эффективных теплообменников: пластинчатых, спиральных, с оребренными поверхностями и др. Для изготовления теплообменных аппаратов используют практически все теплопроводные материалы, применяемые в химическом машиностроении. Широко применяют стальные теплообменники, теплообменные аппараты из меди, латуни, алюминия и титана, реже используют змеевики из свинца. Из неметаллических материалов широко применяют графит и реже стекло и некоторые виды пластмасс. При работе с коррозионными средами применяют также эмалированные теплообменники. Теплообменники как аппараты массового применения в значительной степени нормализованы, поэтому задача обычно сводится к выбору стандартного аппарата.

### **Кожухотрубчатые теплообменники**

**Типы кожухотрубчатых теплообменников.** Кожухотрубчатые теплообменники в настоящее время широко распространены и составляют до 80% от всей теплообменной аппаратуры. Основная их часть — пучок труб,

					<i>Курсовая работа</i>	<i>Лист</i>
<i>изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись.</i>	<i>Дата.</i>		



(рис. 67) позволяет открывать и ремонтировать трубные решетки, не нарушая присоединения трубопроводов.

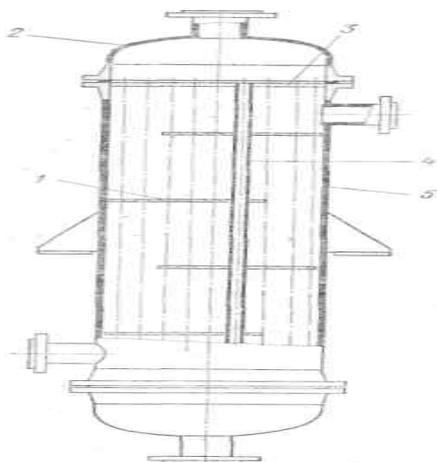


Рис.66. Одноходовой

теплообменника

жесткотрубный

теплообменник:

1-перегородки, 2-крышка, 3- трубная решетка, 4 – трубчатый пучок, 5- кожух

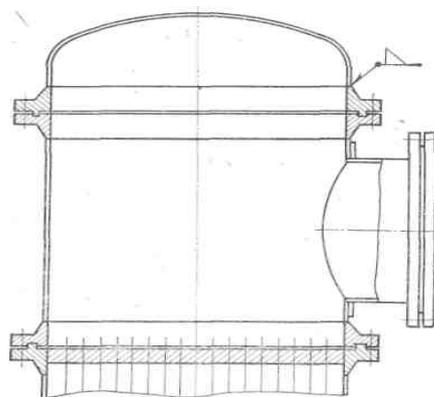


Рис.67. камерная крышка

Для увеличения скорости теплоагента в трубном пространстве теплообменники делают многоходовыми, для этого в крышках располагают перегородки, чтобы теплоагент последовательно проходил отдельные пучки труб (рис.68). Применяют 2,3, 4 и 6-ходовые теплообменники. Более 6 ходов обычно не делают, так как это усложняет конструкцию аппарата; кроме того, перегородки занимают часть площади трубной решетки, в которой размещается меньше трубок. Иногда теплообменники делают двухходовыми и по межтрубному пространству, однако это требует установки в межтрубном пространстве продольных перегородок и хорошего их уплотнения, что представляет известные трудности.

Теплообменники жесткой конструкции можно применять только при небольшой разности температур трубок и кожуха (обычно не более 30—40°C).

					<i>Курсовая работа</i>	<i>Лист</i>
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

В остальных случаях необходима компенсация температурных напряжений, возникающих из-за различного теплового расширения кожуха и трубок. В теплообменниках с линзовым компенсатором температурное перемещение кожуха частично воспринимается за счет упругой деформации компенсатора. Установка гибких элементов полностью не устраняет температурные напряжения, но значительно снижает их. Теплообменники данной конструкции отличаются от жесткотрубных только тем, что на кожухе приварен линзовый компенсатор. При увеличении давления необходимо увеличивать толщину стенки компенсатора. Это приводит к увеличению его жесткости, что, в свою очередь, снижает компенсирующую способность. Поэтому при давлении в межтрубном пространстве более 1,6 МПа теплообменники с линзовым компенсатором на кожухе применяются редко.

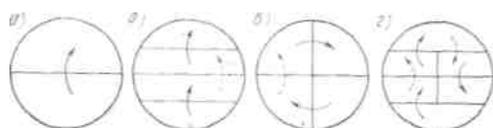
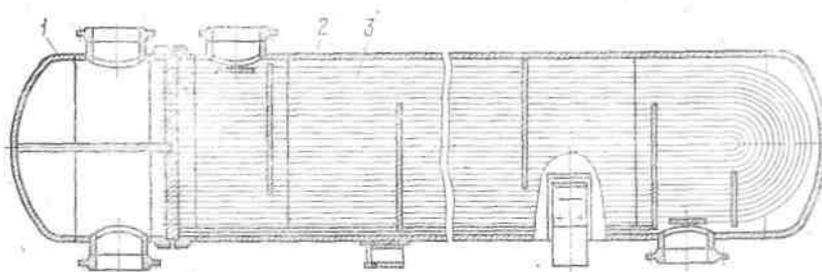


Рис. 2. Схема движения теплоагентов в многоходовых теплообменниках:  
 а – двухходовой; б – четырехходовой; в – четырехходовой с разбивкой по секторам; г - шестиходовой

Теплообменники с *U-образными трубками* (рис.3) и с плавающей головкой применяют в тех случаях, когда требуется постоянная очистка межтрубного пространства или имеются значительные температурные расширения, а высокое давление



межтрубном пространстве не допускает установки компенсатора. В этих аппаратах трубный пучок имеет возможность свободно расширяться независимо от корпуса. Теплообменники данного типа делают горизонтальными, так как при вертикальном положении трубного пучка затрудняется его опорожнение от жидкости или конденсата. Кроме того, при горизонтальном расположении легче выдвигать трубный пучок. В теплообменнике с U-образными трубками трубный пучок набирают из изогнутых трубок. По своей конструкции он двухходовой. Трубный пучок может быть сравнительно легко извлечен из аппарата. Недостаток такого теплообменника — трудность очистки изогнутых трубок и минимально допустимый радиусгиба труб  $(3\div 4)d_n$ , не позволяющий заполнить трубками середину U-образного теплообменника. Для увеличения скорости среды в пустом пространстве между трубками иногда устанавливают вытеснители в виде коробок, занимающих часть его объема

В теплообменниках с плавающей головкой (рис. 4) возможна очистка как трубок, так и межтрубного пространства.

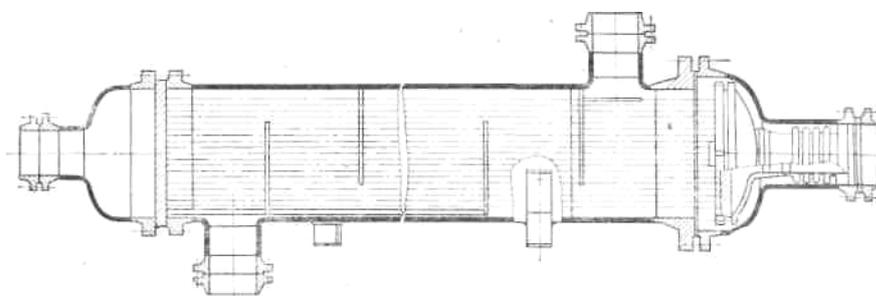


Рис. 71. Теплообменник с плавающей головкой и компенсатором на центральной трубе.

Один конец трубок 7 связан с жестко закрепленной решеткой 8, а второй — со свободно перемещающейся 3. Для уменьшения диаметра кожуха 1 крышку плавающей головки присоединяют с помощью малогабаритного фланца 5. Для удобства извлечения тяжелого трубного пучка его опирают с помощью перегородок 2 на тележку с роликами 6. При конструировании теплообменников любого типа стремятся по возможности уменьшить зазор

					Курсовая работа	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

между трубным пучком и кожухом. Для этого в теплообменнике плавающую головку выносят в расширенную часть кожуха (съемный фланец на трубной решетке крепят разъемным кольцом 4), что позволяет существенно уменьшить этот зазор. Теплообменники с плавающей головкой имеют четное число ходов (обычно два или четыре хода).

Теплообменники, в которых центральный штуцер плавающей головки соединен с крышкой с помощью компенсатора (рис. 71),— одноходовые. Они могут быть установлены без особых затруднений и вертикально.

**Основные элементы кожухотрубчатых теплообменников.** Основной элемент кожухотрубчатых теплообменников — трубы. Масса трубного пучка обычно составляет 60—80% от массы аппарата. Чем меньше диаметр труб, тем теплообменник компактнее и меньше расход металла, но существенно повышается трудоемкость изготовления аппарата и затрудняется его очистка. В настоящее время для стальных и титановых теплообменников широко применяют трубы размером 25x2, 20x2 мм. Трубки большего диаметра применяют только при выделении отложений из теплоагентов. До недавнего времени кожухотрубчатые теплообменники изготавливали из бесшовных труб; в настоящее время начали применять более дешевые электросварные трубы. Медные теплообменники для установок глубокого холода изготавливаются с трубками диаметром до 6 мм.

Когда коэффициенты теплоотдачи по обе стороны стенки существенно различаются, применяют оребренные трубы, что дает возможность развить поверхности с той стороны, где коэффициент теплоотдачи меньше. Например, в калориферах или воздушных холодильниках ребра располагают со стороны воздушного пространства. Применение оребрения позволяет значительно сократить расход металла на единицу теплообменной поверхности. Существует несколько способов выполнения оребрения. Один из способов— накатка ребер на трубах из пластичных материалов (рис. 72). При присоединении ребер к поверхности труб необходимо обеспечить хороший контакт ребер с

					<i>Курсовая работа</i>	<i>Лист</i>
<i>изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись.</i>	<i>Дата.</i>		

поверхностью трубы, в противном случае эффективность ребер резко снижается. Когда ребра приварены к поверхности трубы, теплопередача через сварной шов вполне удовлетворительна; если ребра насаживают на трубы без сварки, то посадка должна быть возможно более плотной.

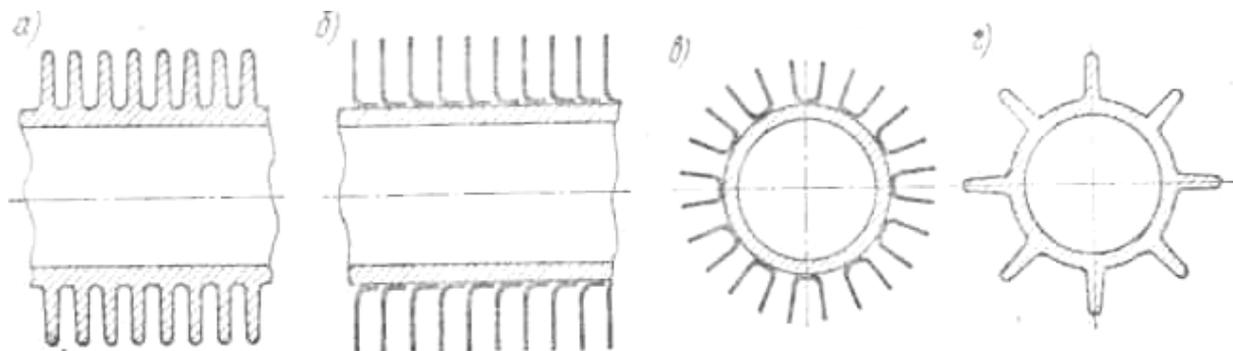


Рис. 72. Типы оребренных труб:

*А*      а - с накатанными ребрами; б — с приварными ребрами;  
в - с      продольными приварными ребрами; г — цельнотянутая с  
продольными ребрами

*Крепление труб в трубной решетке.* Крепление должно быть прочным, плотным и вместе с тем обеспечивать легкую замену поврежденной трубы. Раньше основным способом крепления труб из пластичных материалов была развальцовка. Развальцовку производят с помощью специального инструмента — вальцовки, имеющей вращающиеся ролики, которые во время вращения раздвигаются с помощью конуса и расширяют конец трубы. Конец трубы пластически деформируется и плотно прижимается к стенкам гнезда. Материал решетки должен быть тверже материала трубы, чтобы можно было многократно заменять трубы и обеспечивать целостность гнезда. При давлении в теплообменнике свыше 1,6 МПа для увеличения сопротивления вырыванию на поверхности гнезд протачивают канавки, а концы труб разбортовывают

В последнее время развальцовку труб с успехом заменяют сваркой. Сварное соединение позволяет уменьшить толщину трубной решетки и шаг

труб. Оно более надежно по сравнению с развальцовкой, так как обеспечивает лучшую герметичность. В случаях, когда смешение продуктов в теплообменнике недопустимо, обварка труб обязательна. Когда корродирующая среда находится только в трубном пространстве, применение сварки позволяет использовать трубные решетки из двухслойной стали, при этом плакирующий слой, обращенный в сторону трубного пространства, сваривается с трубами из кислотостойкой стали. Крепят трубы по одному

из вариантов, показанных на рис. 73. С точки зрения технологии сварки наиболее совершенно соединение, показанное на рис. 73, д. Однако оно более трудоемко, так как требует дополнительной выточки кольцевых пазов в трубной решетке. Трубы графитовых теплообменников приклеивают специальными полимерными материалами

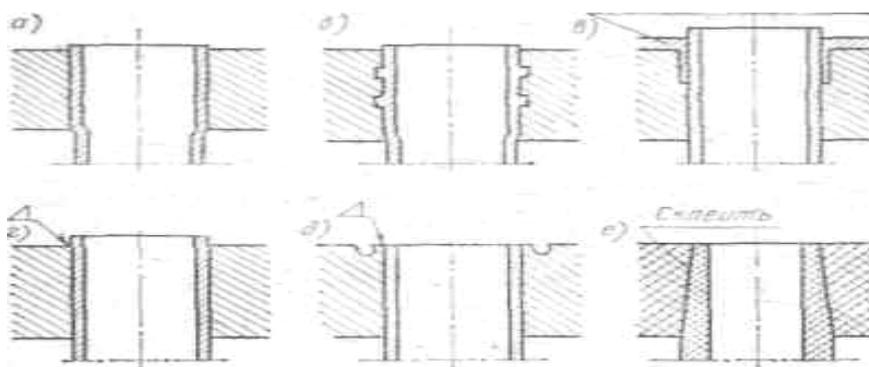


Рис. 73. способы крепления труб в трубной решетке:

*a, б* – развальцовка, *в* – пайка; *г, д* – сварка; *е* - склейка

Чем меньше шаг между трубами, тем более компактен теплообменник. Минимальное значение шага ограничивается условиями развальцовки (нужен определенных размеров «мостик»).

Трубы располагают в трубной решетке по вершинам квадратов, тогда трубной пучок более доступен для очистки снаружи (рис. 74, *а*), или равносторонних треугольников (рис.74, *б*). Эта схема компактна и чаще применяется. Расположение по концентрическим окружностям (рис. 73, *в*) применяют редко. Диаметр кожуха теплообменника берут таким, чтобы

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

внутри него расположилось необходимое число труб и остались большие зазоры между трубами и кожухом. Диаметр кожуха округляют до ближайшего стандартного размера. Ориентировочное число труб при расположении их по вершинам треугольника с шагом  $t$  в кожухе диаметром  $D$  будет

$$n = k\pi D^2 / (3,47t^2),$$

где  $k = 0,7 \div 0,85$  (меньшее значение  $k$  относится к теплообменникам с малым числом труб и к многоходовым теплообменникам).

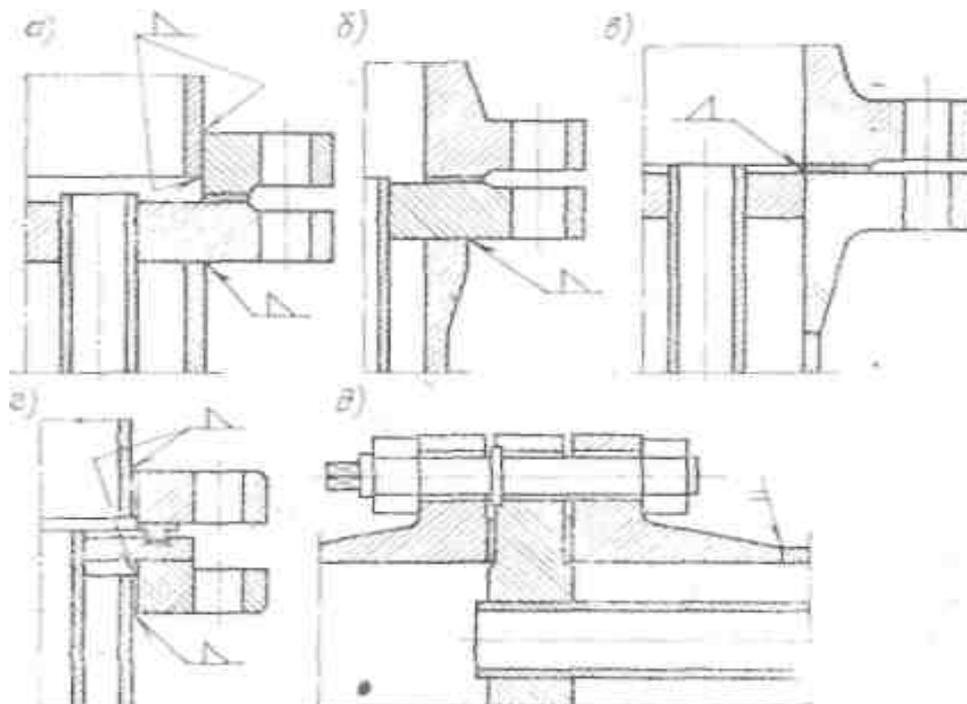


Рис. 75. Способы соединения трубной решетки с кожухом

Окончательное число труб определяют по таблицам или путем вычерчивания трубного пучка в крупном масштабе.

Кожух к трубной решетке обычно приваривают. На рис. 75, а, б показано соединение, в котором трубная решетка составляет одно целое с фланцем. Когда решетка тоньше фланца, применяют соединение, показанное на рис. 75, в. Для теплообменников из кислотостойкой стали применяется вариант, показанный на рис. 75, г. Когда трубный пучок вынимают из кожуха, применяют разъемное соединение, изображенное на рис. 75, д. Несколько

шпилек соединения делают с утолщениями, которые позволяют снимать крышку, не нарушая соединения решетки с фланцем кожуха.

Поперечные перегородки в межтрубном пространстве служат для сообщения необходимого направления потоку теплоагента и одновременно поддерживают трубный пучок. Для обеспечения зигзагообразного хода теплоагента обычно устанавливают перегородки в виде кругов с сегментным вырезом (рис. 76), но иногда применяют перегородки с вырезами в виде секторов или комплекта кругов и колец, расположенных последовательно. Толщину перегородок в зависимости от диаметра аппарата делают 5—10 мм, отверстия под трубы — на 1,0—1,5 мм больше наружного диаметра труб. Крепят перегородки обычно стержнями, расположенными между трубками. В испарителях и конденсаторах перегородки необходимы только для поддержания трубного пучка, их располагают таким образом, чтобы не мешать нормальному выходу пара или стоку конденсата. Для уплотнения перегородок в камерах трубного пространства на трубной решетке делают паз, в который укладывают прокладку. При уплотнении крышки теплообменника кромка перегородки упирается в прокладку.

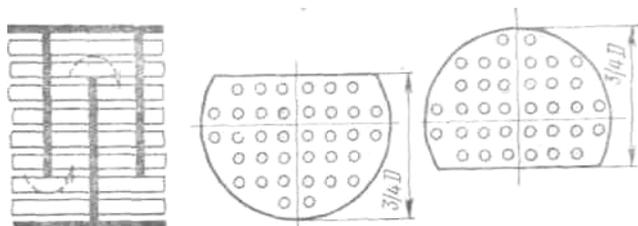


Рис. 76. Сегментные перегородки в межтрубном пространстве.

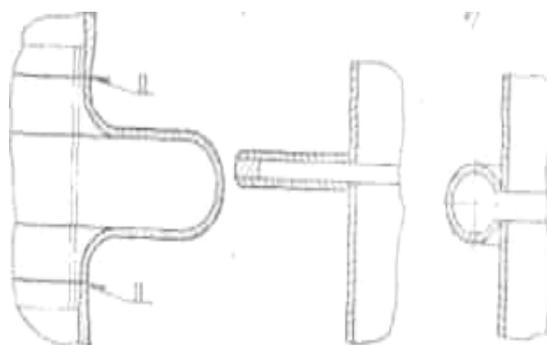


Рис. 77. Компенсаторы

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

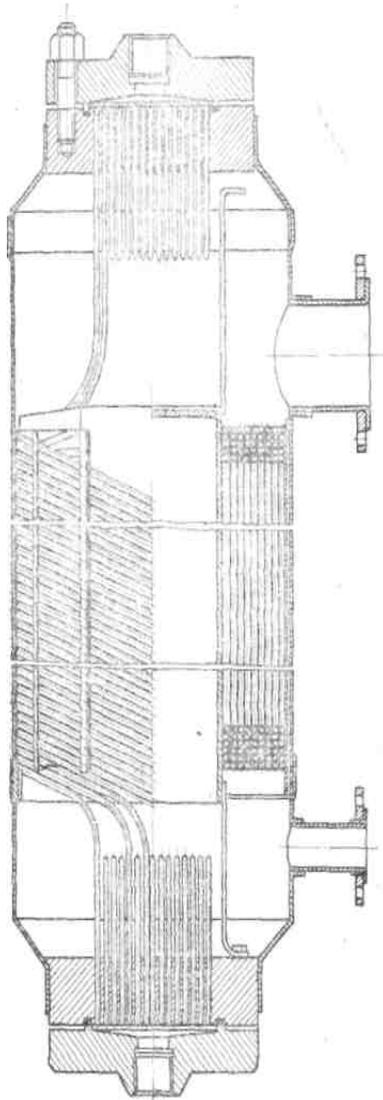
Наиболее распространенная конструкция линзового компенсатора показана на рис. 77, а. Компенсатор должен обладать большой гибкостью, поэтому его делают значительно тоньше кожуха теплообменника. Вследствие небольшой толщины и сложного характера нагрузки (наряду с напряжениями от давления на компенсатор действуют значительные усилия, возникающие от его сжатия или растяжения) компенсатор - весьма ответственный элемент аппарата.

Линзовый компенсатор, изображенный на рис. 77, а, изготавливают путем сварки из 4—8 штампованных элементов. Иногда в компенсатор вставляют направляющую втулку, чтобы уменьшить гидравлическое сопротивление потока. Когда невозможно изготовить линзовый компенсатор, применяют компенсаторы, изготовленные из плоских листов или изогнутых трубок (рис. 77, б, в); имеются конструкции, в которых компенсатором температурных напряжений служит утолщенная часть корпуса (рис. 77, г).

*Витые теплообменники.* Состоят из пучков труб малого диаметра, спирально закрученных и соединенных с двумя трубными решетками (рис. 78). Они обеспечивают большую поверхность теплообмена и хороший коэффициент теплопередачи. Спирально намотанные трубы легко воспринимают температурные удлинения. Благодаря малому диаметру трубок эти аппараты могут работать при значительных давлениях в трубном пространстве. Витые теплообменники применяются в основном в криогенной технике.

*Воздушные холодильники и конденсаторы.* Значительную часть теплообменной аппаратуры составляют холодильники и конденсаторы, которые на крупных предприятиях потребляют очень большое количество охлаждающей воды. При этом затраты на водоснабжение и охлаждение отходящей воды очень велики, а очистка воды представляет зачастую большие трудности. Чтобы уменьшить расход воды на охлаждение, водяные холодильники заменяют воздушными. Основные элементы аппарата

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		



воздушного охлаждения — пучок оребренных труб и мощный осевой вентилятор, создающий интенсивный поток воздуха через трубный пучок. Кроме аппарата горизонтального типа, изображенного на рис. 79, применяют вертикальные теплообменники и теплообменники с наклонным расположением теплообменных секций шатрового и зигзагообразного типа. В воздушных теплообменниках продукт подается в трубное пространство. Увеличение в 5—

20 раз наружной поверхности труб за счет оребрения компенсирует неудовлетворительную теплоотдачу, которая со стороны воздуха значительно хуже, чем со стороны продукта. В редких случаях, когда коэффициент

теплоотдачи со стороны продукта приближается по значению к коэффициентам теплоотдачи со стороны воздуха, можно использовать гладкие трубы. Конечная температура продукта в воздушных холодильниках  $40^{\circ}\text{C}$ .

В зимнее время вентилятор обычно, выключают и теплопередача осуществляется за счёт естественной конвекции.

### Задание на проектирование

Рассчитать и подобрать стандартный кожухотрубный теплообменник для охлаждения  $G_1=24\cdot 10^3\text{ кг/ч}=6,7\text{ кг/с}$  бензола от  $t_{1Н}=70^{\circ}\text{C}$  до  $t_{1К}=30^{\circ}\text{C}$  с водой с  $t_{2Н}=15^{\circ}\text{C}$  и  $t_{2К}=35^{\circ}\text{C}$ . Бензол органическая жидкость, которая при средней температуре  $t_{1cp} = \frac{t_{1Н} + t_{1К}}{2} = 0,5(70+30) = 50^{\circ}\text{C}$  имеет следующие физико-химические характеристики:  $\rho_1 = 847\text{ кг/м}^3$ ,  $C_1 = 1,8\cdot 10^3\text{ Дж (кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\mu_1 = 0,605\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ,  $\lambda_1 = 0,14\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Вода при средней температуре  $t_{2cp} = \frac{t_{2Н} + t_{2К}}{2} = 0,5(15+35) = 25^{\circ}\text{C}$  имеет следующие физико-химические характеристики:  $\rho_2 = 997\text{ кг/м}^3$ ,  $C_2 = 4,185\cdot 10^3\text{ Дж (кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\mu_2 = 0,8937\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ,  $\lambda_2 = 0,6085\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		





кг/с.

При этом число труб, приходящееся на один ход, составит

$$n / z = G / (0,785 \cdot d \cdot \text{Re}_{\text{оп}} \cdot \mu)$$

где  $n$  – общее число труб теплообменника;  $z$  – число ходов в трубном пространстве.

На основании расчетов  $F_{\text{оп}}$ ,  $S_{\text{оп}}$ ,  $n/z$ , обеспечивающих заданный режим, по каталогу [4] выбирают вариант конструкции одноходового или многоходового кожухотрубчатого теплообменника.

5. Для выбранного варианта определяют скорость и число Рейнольдса для потоков теплоносителей в трубах и в межтрубном пространстве и рассчитывают уточненный коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_1 + \frac{\lambda_{\text{ст.}}}{\delta_{\text{ст.}}} + r_2 + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст.}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $r_1$ ,  $r_2$  – термические сопротивления загрязнений стенки, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $\lambda_{\text{ст.}}$  – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К);  $\delta_{\text{ст.}}$  – толщина стенки, м;  $\sum r_{\text{ст.}}$  – суммарное термическое сопротивление стенки и ее загрязнений с обеих сторон, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Расчет коэффициентов теплоотдачи производится по критериальным уравнениям, выбираемым в справочной литературе в зависимости от вида теплоотдачи, режима движения теплоносителя, формы теплообменной поверхности. Расчетные уравнения для основных видов теплоотдачи представлены в [1...4]. Здесь же для каждого расчетного уравнения указано, какая температура принимается за определяющую. Физико-химические свойства теплоносителей, необходимо брать при определяющей температуре.

Составляют схему теплопередачи [3]. В большинстве случаев коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  зависят от температуры соприкасающейся с теплоносителем поверхности стенки  $t_{\text{ст.}}$  или от удельной поверхностной плотности теплового потока  $q$ , которые заранее неизвестны. В этих случаях при расчете процесса теплопередачи используют метод последовательных приближений. При этом исходят из условия, что при установившемся процессе теплопередачи количество тепла  $q_1$ , отдаваемое более горячим теплоносителем, должно равняться количеству тепла  $q_{\text{ст.}}$ , передаваемого через стенку и загрязнения, и количеству тепла  $q_2$ , получаемого более холодным теплоносителем:

$$q = q_1 = q_{\text{ст.}} = q_2$$

где  $q_1 = \alpha_1(t_1 - t_{\text{ст.1}})$ ;  $q_{\text{ст.}} = (t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}}) / \sum r_{\text{ст.}} = \Delta t_{\text{ст.}} / \sum r_{\text{ст.}}$ ;  $q_2 = \alpha_2(t_{\text{ст.2}} - t_2)$ ;  $t_1$ ,  $t_2$  – средние

									Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.					

Курсовая работа

значения температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;  $t_{ст.1}$ ,  $t_{ст.2}$  – температура наружной поверхности загрязнений со стороны горячего и холодного теплоносителей.

В первом приближении задаются произвольным значением  $t'_{ст.1}$ , учитывая, что  $t_1 > t_{ст.1} > t_2$ . По выбранному критериальному уравнению рассчитывают  $\alpha'_1$  и вычисляют  $q'_1 = \alpha'_1(t_1 - t'_{ст.1})$ . Затем определяют первое приближение  $t'_{ст.2} = t'_{ст.1} - \Sigma r_{ст.} \cdot q'_1$ . Определив  $t'_{ст.2}$ , рассчитывают  $\alpha'_2$  и вычисляют  $q'_2 = \alpha'_2(t'_{ст.2} - t_2)$ . Далее следует сопоставить величины  $q'_1$  и  $q'_2$ , определив их расхождение. Если расхождение составляет более 5%, то задают значение температуры стенки со стороны горячего теплоносителя  $t''_{ст.1}$  и выполняют расчет во втором приближении. Если  $q''_1 \neq q''_2$ , расчет повторяется, пока не достигнуто  $q_1 \approx q_2$ . Для упрощения расчетов используют графический метод [3, 4]. По данным последнего расчета определяют коэффициент теплопередачи  $K$ .

6. На основании основного уравнения теплопередачи определяют расчетную площадь поверхности теплопередачи  $F_p$ . По каталогу выбирают теплообменный аппарат с поверхностью теплообмена  $F = (1,15 \dots 1,20) \cdot F_p$ . В том случае, если необходимо устанавливать не один теплообменник, а несколько, их следует компоновать с последовательным движением потоков, чтобы не изменять принятые в расчете режимы движения.

7. При ориентировочном расчете теплообменника рассчитывают его тепловую нагрузку  $Q$ , среднюю разность температур  $\Delta t_{ср.}$ . Пользуясь справочными данными [3], выбирают ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, и из основного уравнения теплопередачи вычисляют поверхность теплообмена. Выбирают теплообменный аппарат по ГОСТ с запасом поверхности 15...20%.

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

## Содержание гидравлического расчета

В гидравлическом расчете кожухотрубчатого теплообменника определяют гидравлическое сопротивление его трубного и межтрубного пространства и рассчитывают мощность насоса или вентилятора, расходуемую на транспортирование теплоносителя через аппарат. Для проектируемых теплообменников определяют диаметры штуцеров и рассчитывают в них скорости потоков, которые не должны превышать рекомендуемые значения [3, 4].

1. Потери давления на преодоление сил трения и местные сопротивления в трубном пространстве рассчитывают по уравнению

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{z \cdot l}{d_3} \cdot \frac{\rho w^2}{2} + \sum \zeta \frac{\rho w^2}{2}$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения;  $z$  – число ходов;  $l$  – длина труб, м;  $d_3$  – эквивалентный диаметр, м;  $w$  – скорость потока теплоносителя, м/с;  $\rho$  – плотность теплоносителя;  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления.

Коэффициент трения при изотермическом ламинарном режиме движения в трубах  $\lambda = 64/Re$ , при турбулентном режиме течения коэффициент трения определяется графически [3] или по формуле [4]

$$\lambda = 0,25 \cdot \left( \lg \left[ \frac{e}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \right)^{-2},$$

где  $e$  – относительная шероховатость труб.

Значение коэффициента  $\zeta$  и определяющей скорости  $w$  представлены в таблице 6.

Таблица 6. Значения коэффициентов местных сопротивлений

Наименование	$\zeta$	Определяющая скорость
Вход в камеру и выход из камеры	1,5	в штуцерах $w_{\text{тр.шт}}$
Поворот на 180°	2,5	в трубах $w_{\text{тр}}$
Вход в трубы и выход из труб	1,0	в трубках $w_{\text{тр}}$

Потери в трубном пространстве

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l \cdot z}{d_3} \cdot \frac{w_{\text{тр}}^2 \cdot \rho_{\text{тр}}}{2} + [2,5(z-1) + 2 \cdot z] \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot w_{\text{тр}}^2}{2} + 3 \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot w_{\text{тр.шт}}^2}{2}.$$

2. В межтрубном пространстве с сегментными перегородками потери давления на трение и местные сопротивления составляют

$$\Delta p_{\text{мтр}} = \frac{3m \cdot (x + 1)}{\text{Re}_{\text{мтр}}^{0,2}} \cdot \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot w_{\text{мтр}}^2}{2} + 1,5x \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot w_{\text{мтр}}^2}{2} + 3 \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot w_{\text{мтр,ш}}^2}{2},$$

где  $w_{\text{мтр}}$  – скорость потока в межтрубном пространстве, м/с;  $w_{\text{мтр,ш}}$  – скорость потока в штуцерах межтрубного пространства, м/с;  $m$  – число рядов труб, преодолеваемых потоком теплоносителя в межтрубном пространстве;  $x$  – число сегментных перегородок.

Число рядов труб, преодолеваемых потоком теплоносителя в межтрубном пространстве, определяется по формуле

$$m = \sqrt{n/3}$$

где  $n$  – общее число рядов труб. Скорость потока в межтрубном пространстве

$$w_{\text{мтр}} = G_{\text{мтр}} / (S_{\text{мтр}} \cdot \rho_{\text{мтр}})$$

где  $S_{\text{мтр}}$  – самое узкое сечение межтрубного пространства, м<sup>2</sup>.

## **Безопасность жизнедеятельности**

### Охрана окружающей среды и техника безопасности.

На предприятиях химической промышленности широко применяются аппараты сосуда и коммуникации работающие под давлением.

В сосудах и аппаратах работающих под давлением может произойти взрыв. Причинами таких взрывов может быть: потеря механической прочности вследствие коррозии, местных перегревов, ударов и т.п.

Сосуды, на которые распространяются правила Ростехнадзора, до начала эксплуатации должны быть зарегистрированы в его органах куда предъявляются: паспорт сосуда, акт о монтаже и установке сосуда в соответствии правильными и исправном его состоянии. Схема включена в характеристику сосуда с указанием источника давления и параметров производственной среды.

На химических заводах иногда в больших количествах разнообразные баллоны, предназначенные для наполнения, хранения, перевозки и использования сжатых, сниженных и растворённых газов.

Аварии происходят также в процессе эксплуатации при отсутствии чёткой окраски и маркировки баллонов.

Большую опасность представляют также баллоны с агрессивными сниженными газами при их длительном хранении. Имеющаяся влага (даже в пределах допустимых норм) с течением времени реагирует с газом; образующиеся побочные газообразные продукты увеличивают давление в баллоне. Одновременно под влиянием влаги происходит частичное разедание внутренних стенок баллона с образованием водорода и солей, забивающих сифонную трубку. Удалить избыточное давление из такого баллона уже не возможно, и рано или поздно такой баллон взорвется. Поэтому очень важно не допускать длительного хранения на заводах баллонов с сжиженными газами.

					<i>Курсовая работа</i>	Лист
изм.	Лист.	№ документа	Подпись.	Дата.		

## Заключение

Химическое машиностроение, как самостоятельная отрасль производственного оборудования для химической промышленности.

Основные направления научно-технического прогресса в химическом машиностроении - это аппараты и машины.

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Удельный вес на предприятиях химической промышленности теплообменного оборудования составляет в среднем 15-18%, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей областях 50%. Значительный объём теплообменного оборудования на химических предприятиях объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии (охлаждение, выпаривание, ректификация и др.) связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты.

Для изготовления теплообменных аппаратов используют практически все теплопроводные материалы, применяемые в химическом машиностроении. Широко применяют стальные теплообменники, теплообменные аппараты из меди, латуни, алюминия и титана, реже используют змеевики из свинца. Из неметаллических материалов широко применяют графит и реже стекло и некоторые виды пластмасс.

					<i>Курсовая работа</i>	<i>Лист</i>
<i>изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись.</i>	<i>Дата.</i>		

