

**Министерство образования и науки
Российской Федерации**

**ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

**МАШИНЫ И АППАРАТЫ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**Новомосковск
2017**

УДК 621.01
ББК 34.41

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент Добровенко В.В.
ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева
канд. техн. наук, Трещев С.Г.
(ОАО НИАП, г. Новомосковск)

Составители:

Клочков В.И., Каменский М.Н., Сафонов Б.П.

Машины и аппараты химических производств. Лабораторный практикум. / ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2017. 140 с.

Лабораторный практикум включает в себя краткое изложение теоретических основ дисциплины «Машины и аппараты химических производств», лабораторные работы, порядок их выполнения и рекомендации по оформлению протоколов. Представлен библиографический список по данной дисциплине.

УДК 621.01
ББК 34.41

© Клочков В.И., Каменский М.Н., Сафонов Б.П.
© ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университета им. Д.И.Менделеева»,
Новомосковский институт (филиал), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Гидравлические испытания сосудов и аппаратов	5
Лабораторная работа № 2. Гидравлические испытания трубопроводов на прочность, плотность и герметичность	12
Лабораторная работа № 3. Трубопроводная арматура в химической промышленности	18
Лабораторная работа № 4. Теплообменные аппараты	45
Лабораторная работа № 5. Вращающиеся барабанные аппараты	73
Лабораторная работа № 6. Химические реакторы с рубашками и с перемешивающими устройствами	92
Лабораторная работа № 7. Измельчающие машины в химической промышленности	118
Лабораторная работа № 8. Эксплуатация плунжерной дозирующей насосной установки	129
Библиографический список	138
Образец оформления титульного листа	139

Введение

Лабораторные работы предполагают углубленное изучение студентами конструктивных и эксплуатационных характеристик машин и аппаратов химических производств.

Основными задачами данного издания является освоение на практике в дополнение к лекционным курсам устройства оборудования, принципа его работы в химико-технологической схеме, оценки технического состояния в эксплуатационной и ремонтный периоды и основные приемы ремонта и восстановления работоспособности оборудования.

В каждой лабораторной работе студенты знакомятся с конструктивными схемами и устройствами машин и аппаратов на натуральных объектах кафедры «Оборудование химических производств», основными параметрами их эксплуатационного обеспечения и ремонтных процессов.

На основании изучения технической информации об оборудовании и изучения промышленных образцов машин в лаборатории кафедры студенты должны составить отчет, содержащий необходимые сведения по эксплуатации оборудования и его ремонта.

Изучаемая дисциплина является базой для выполнения курсового проекта и выпускной квалификационной работы.

Лабораторная работа №1

Гидравлические испытания сосудов и аппаратов

Цель работы: освоение технологии гидравлических испытаний сосудов и аппаратов.

Введение

Гидравлическим испытаниям подвергаются следующие объекты

- сосуды и аппараты, работающие под избыточным давлением более 0,07 МПа (0,7 кг/см), регистрируемые в органах котлонадзора и не регистрируемые;
- сосуды и аппараты, работающие под давлением ниже 0,07 МПа и под вакуумом;
- элементы машин, не являющиеся отдельными сосудами;
- трубопроводы;
- запорная арматура.

Описание работы условной технологической схемы (рис. 1.1)

Газ через емкость-ресивер 5 засасывается компрессором 2. Стенки цилиндра компрессора охлаждаются водой, протекающей по рубашке 3. Сжатый газ подается в колонну 1, где происходит технологическая обработка газа жидкостью. Жидкость подается насосом 4. Соединение элементов схемы производится с помощью трубопроводов 6, отключение элементов схемы производится с помощью запорной арматуры 7 (вентили, задвижки).

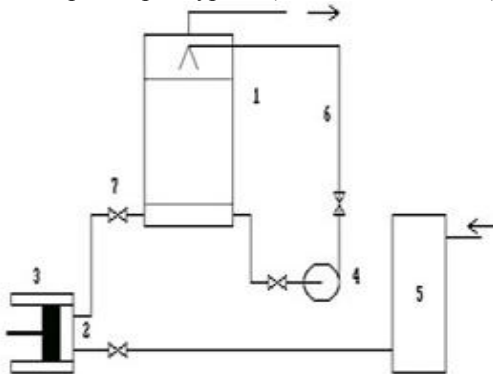


Рис. 1.1. Условная технологическая схема:

- 1 – колонна (аппарат), работающая под давлением; 2 – компрессор поршневой;
 3 – рубашка цилиндра компрессора для охлаждения; 4 – насос центробежный с
 чугунным корпусом; 5 – емкость, работающая под разрежением;
 6 – трубопроводы; 7 – запорная арматура.

Гидравлическое испытание сварных сосудов и аппаратов должно проводиться с крепежом и прокладками, предусмотренными в нормативно-технической документации на сосуды и аппараты. Значение пробного гидравлического давления $P_{пр}$ в цилиндрических, конических, шаровых и других сварных сосудов и аппаратов определяют по формуле:

$$P_{пр} = \max\{1,25P[\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,2 \text{ МПа}\},$$

где P – расчетное давление;

$[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для материала сосуда и его элементов при температуре 20 °С, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала сосуда и его элементов при рабочей температуре, МПа.

Полученное значение $P_{пр}$ должно удовлетворять условию $P_{пр} > 0,2 \text{ МПа}$. Если в результате расчета будет $P_{пр} < 0,2 \text{ МПа}$, то следует принять $P_{пр} = 0,2 \text{ МПа}$.

1. Значение пробного гидравлического давления для сосудов и аппаратов, работающих при отрицательных температурах, принимают таким же, как при температуре 20 °С.

2. Отношение $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ принимают для материала, применяемого в аппарате, для которого оно является наименьшим (обечайки, днища, аппаратные фланцы и их крепеж, патрубки и др.).

3. Когда аппарат рассчитывают по зонам, гидравлическое давление при испытании может определяться с учетом зоны, в которой рабочая температура имеет меньшее значение.

4. Значение пробного давления при изготовлении, а также значение пробного давления, при котором сосуд должен испытываться при периодическом свидетельствовании, заносят в паспорт аппарата.

5. Допускается гидравлическое давление определять как $P_{пр} = 1,25P[\sigma]_{20}/[\sigma]$, если значение 0,2 МПа вызывает необходимость утолщения стенки аппарата.

6. Для сосудов и аппаратов, работающих под наружным избыточным давлением, гидравлическое давление допускается определять как $P_{пр} = 1,25PE_{20}/E$, если значения $1,25P[\sigma]_{20}/[\sigma]$ или 0,2 МПа вызывают необходимость утолщения стенки аппарата (E_{20} – модуль упругости при 20 °С; E – модуль упругости при расчетной температуре).

Литые детали, работающие под давлением, после термической и механической обработки должны подвергаться гидравлическому испытанию при давлении, равном $1,5P[\sigma]_{20}/[\sigma]$, но не менее 0,3 МПа (3 кгс/см²). Допускается испытание отливок после сборки и сварки в готовой сборочной единице или целом аппарате при давлении, принятом для аппарата.

В таблице 1.1 приведены допускаемые напряжения $[\sigma]$ в зависимости от температуры и материала элемента оборудования (МПа).

Таблица 1.1. Допускаемые напряжения $[\sigma]$ в зависимости от температуры и материала элемента оборудования, МПа

Температура, °С	Ст3	10Г2С1	12ХМ	12Х18Н10Т
20	154	183	147	184
100	149	160	146,5	174
150	145	154	146	168
200	142	148	145	160
250	131	145	144	154
300	115	134	141	148
350	105	123	137	144
375	93	116	135	140
400	85	105	132	137
430	71	86	127	134

Плотность сварных укрепляющих колец и патрубков штуцеров проверяют пневматическим испытанием при давлении до 0,6 МПа с обмыливанием швов внутри и снаружи аппарата.

Когда проведение гидравлического испытания на прочность сосуда и аппарата невозможно (большие напряжения от массы воды в сосуде или аппарате, трудоемкость удаления воды и т.п.), допускается заменять гидравлическое испытание пневматическим (воздухом или другим нейтральным газом).

Температура воды при гидравлическом испытании должна быть не ниже 5 и не выше 40 °С.

При проведении гидравлического испытания время выдержки должно быть не менее:

10 мин – для сосудов с толщиной стенки до 50 мм;

20 мин – для сосудов с толщиной стенки до 50-100 мм;

30 мин – для сосудов с толщиной стенки до св. 100 мм.

Затем пробное давление снижают до рабочего, при котором производят осмотр изделия. Увеличение давления до пробного и снижение его до рабочего производят в соответствии с нормативно-технической документацией на конкретный вид сосудов и аппаратов. Давление, равное рабочему, поддерживают в течение всего времени, необходимого для осмотра изделия. При пневматическом испытании на прочность сварные швы обмыливают. Обстукивание сосуда или аппарата под давлением запрещается.

На рис. 1.2 представлена схема установки заглушки, в таблице 1.2. приведены основные геометрические параметры заглушек.

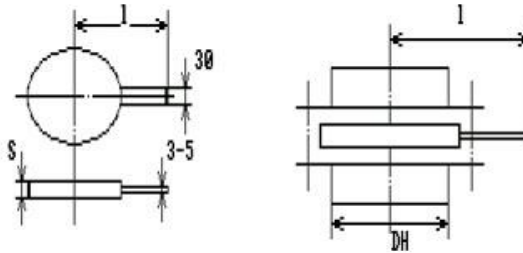


Рис. 1.2. Схема установки заглушки

**Таблица 1.2. Заглушки плоские из углеродистой стали,
устанавливаемые между фланцами**

D _Y	Размеры, мм			P _y , кгс/см ² при скорости коррозии до 0,1 мм/год:		
	D _H	l	S	10	16	25
80	138	130	6	*		
80	138	130	8		*	
80	138	130	10			*
100	158	140	7	*		
100	158	140	9		*	
100	162	140	11			*
125	188	150	8	*		
125	188	150	10		*	
125	188	150	12			*
150	212	170	9	*		
150	212	170	11		*	
150	218	170	14			*
200	268	220	11	*		

В таблице 1.3. представлены характеристики применяемых материалов прокладок в зависимости от параметров среды и типов уплотнительной поверхности фланцев, в таблице 1.4. приведена периодичность технического освидетельствования сосудов и аппаратов

Таблица 1.3. Применение материалов прокладок в зависимости от параметров среды и типов уплотнительной поверхности фланцев

Прокладки:		Предельная температура, °С		Предел рабочего давления при уплотнительной поверхности фланцев, кгс/см ²	
Материал и конструкция	ГОСТ, ТУ	от	до	гладкая	выступ-впадина
Резина техническая кислотнo-щелочестойкая (КЩ)	7338	-30	+50	10	-
Паронит общего назначения (ПОН)	481	-35	+90	10	-
		-	+250	25	64
		-	+450	25	64
Паронит масло-бензостойкий (ПМБ)	481	-	+200	25	-
		-	+300	20	-
		-40	+60	16	-
Паронит электролизерный (ПЭ)	481	-	+180	25	25
		-15	+150	16	25
		-	+100	10	25
		-	+200	-	6
Картон асбестовый	2850	-15	+450	1,5	-
Медь листовая мягкая марки М2	495	-196	+250	25	100
Свинец марки С2	3778	-15	+50	6	-
Гофрированные асбo-медные	ОСТ 26-844	-70	+315	25	64
Гофрированные асбоалюминиевые	ОСТ 26-844	-70	+425	25	64

**Таблица 1.4. Периодичность технического освидетельствования
сосудов и аппаратов**

Группа сосуда (аппарата)	Скорость коррозии, мм/год	Операции периодического технического освидетельствования с периодичностью, не реже	
		Внутренний осмотр	Испытания на прочность и плотность
Первая	До 0,1	1 раза в 8 лет	1 раза в 8 лет
	0,1-0,5	1 раза в 4 года	1 раза в 8 лет
	Более 0,5	1 раза в 2 года	1 раза в 8 лет
Вторая	До 0,1	1 раза в 12 лет	1 раза в 12 лет
	0,1-0,5	1 раза в 4 года	1 раза в 8 лет
	Более 0,5	1 раза в 2 года	1 раза в 8 лет

Для сосудов (аппаратов) со скоростью коррозии до 0,5 мм/год, остановка которых по условиям производства невозможна в указанные сроки, допускается техническое освидетельствование переносить до очередного капитального ремонта установки (производства).

Содержание протокола лабораторной работы

1. Установить класс аппарата, выполнить эскиз условной технологической схемы
2. В соответствии с заданием выбрать исходные данные для расчета пробного давления
3. Сделать расчет пробного давления
4. Определить время выдержки пробного давления
5. Составить таблицу заглушек и эскиз заглушек
6. Выбрать материал прокладок для уплотнения заглушек
7. Определить промежуточные сроки осмотра и испытания
8. Составить вывод по работе.
9. Заполнить форму отчета (таблица 1.5)

Таблица 1.5. Форма отчета

Выполнил работу:		
Группа:		
Класс аппарата		
<u>Полученные значения</u>	$[\sigma]_{20}$	МПа
	$[\sigma]$	МПа
Пробное давление	$P_{пр}$	МПа
Время выдержки		мин
Диаметр трубы		мм
Диаметр заглушек		мм
Материал заглушек		
Толщина заглушек		мм
Материал прокладок		
Промежуточный срок внутреннего осмотра		

Лабораторная работа №2

Гидравлические испытания трубопроводов на прочность, плотность и герметичность

Цель работы: освоение технологии гидравлических испытаний технологических трубопроводов. Гидравлические испытания имеют целью проверку прочности, плотности и герметичности элементов трубопроводов.

Введение

При наружном осмотре трубопровода необходимо проверить:

1. состояние сварных швов;
2. состояние фланцевых соединений, включая крепеж;
3. герметичность всех соединений;
4. состояние опорных конструкций, их фундаментов, подвесок, правильность работы подвижных и неподвижных опор;
5. состояние и работу компенсирующих устройств;
6. состояние дренажных устройств;
7. состояние арматуры;
8. состояние изоляции и антикоррозионных покрытий.

Соответствующими службами предприятий должно проверяться и документально оформляться состояние заземляющих устройств трубопроводов.

Результаты периодического наружного осмотра трубопроводов и их деталей должны оформляться актом.

Основным методом контроля за надежной и безопасной работой технологических трубопроводов являются периодические ревизии, при которых проверяется их состояние. Результаты ревизии служат основанием для оценки состояния трубопровода и возможности его дальнейшей эксплуатации.

Как правило, ревизия трубопроводов должна приурочиваться к планово-предупредительному ремонту отдельных агрегатов, установок или цехов.

При ревизии технологических трубопроводов необходимо:

1. Провести наружный осмотр трубопровода.
2. Провести внутренний осмотр участка трубопровода с помощью лампы, прибора типа РВП, лупы или других средств. Во время осмотра проверяют наличие результатов коррозии, трещин, уменьшение толщины стенок труб и деталей трубопроводов, прокладок, сварных швов, фланцев, арматуры, а также состояние привалочных поверхностей фланцев и арматуры.
3. Простучать молотком и промерить толщину стенки трубопровода с помощью ультразвуковых толщиномеров или путем сквозных засверловки с последующей заваркой отверстий. Замер толщин стенок производится на участках, работающих в наиболее тяжелых условиях (коленах, тройниках, врезках, местах сужения трубопровода, перед запорной арматурой и после нее). Результаты замера фиксируются в паспорте трубопровода
4. Произвести испытание трубопровода.

Надежность работы технологических трубопроводов проверяют проведением периодических гидравлических и пневматических испытаний.

Периодические испытания трубопроводов на прочность и плотность приурочиваются ко времени проведения ревизии трубопровода. Периодичность проведения испытаний должна приниматься равной удвоенной периодичности проведения ревизии, принятой в соответствии с таблицей 2.1 для данного трубопровода, но не реже одного раза в 8 лет.

Таблица 2.1. Периодичность проведения ревизий технологических трубопроводов

Транспортируемые среды	Категория трубопровода	Периодичность ревизии при скорости коррозии, мм/год		
		Более 0,5	0,1-0,5	До 0,1
Продукты с токсическими свойствами	I и II	Не реже 1 раза в год	Не реже 1 раза в два года	Не реже 1 раза в три года

Все технологические трубопроводы должны подвергаться испытанию на прочность и плотность перед пуском их в эксплуатацию после монтажа, ремонта, связанного со сваркой, разборкой, после консервации или простоя более одного года, в случае изменения технологического процесса. Испытание трубопровода на прочность и плотность производится одновременно и может быть гидравлическим или пневматическим. Гидравлическое испытание более предпочтительно.

Гидравлическое испытание трубопровода на прочность и плотность проводят одновременно. Величина испытательного давления трубопровода на прочность должна приниматься равной:

$$P_{исп} = 1,25 P_{раб} ([\sigma]_{20} / [\sigma]_t),$$

где $[\sigma]_{20}$; $[\sigma]_t$ – допускаемое напряжение материала трубопровода соответственно при 20 °С и при рабочей температуре.

Величину испытательного давления для трубопроводов с рабочим давлением менее 0,2 МПа (2 кгс/см²) следует принимать не менее 2 кгс/см², а с рабочим давлением свыше 0,5 МПа (5 кгс/см²) – не менее $P_{раб} + 3$ кгс/см². Величину испытательного давления на прочность для стальных трубопроводов, работающих под вакуумом, следует принимать равной 2 кгс/см².

Для проверки прочности трубопровод выдерживают под испытательным давлением в течение 5 минут, после чего давление снижают до рабочего. Для проверки плотности при рабочем давлении осуществляют осмотр трубо-

провода и обстукивание сварных швов молотком массой 1-1,5 кг. Удары должны наноситься по трубе рядом со швом с обеих сторон.

Результаты гидравлического испытания на прочность и плотность признаются удовлетворительными, если во время испытания не произошло падение давления по манометру, а также не появилась течь и отпотевание на элементах трубопровода.

Пневматическое испытание трубопроводов может производиться на прочность и плотность. В зависимости от транспортируемой среды пневматическое испытание может производиться воздухом или инертным газом.

Пневматическое испытание трубопроводов на прочность не разрешается в действующих цехах производственных предприятий, а также на эстакадах, в каналах и лотках, где уложены трубопроводы, находящиеся в работе.

Величина испытательного давления при испытании на прочность принимается такой же, как и при гидравлическом испытании.

На время проведения пневматических испытаний трубопроводов на прочность как внутри помещения, так и снаружи, следует установить охраняемую зону и наглядно обозначить ее. Минимальное расстояние в любом направлении от испытываемого трубопровода до границы зоны должно быть: при наземной прокладке – не менее 25 метров, при подземной – не менее 10 метров.

Во время подъема давления в трубопроводе и при достижении в нем испытательного давления на прочность пребывание в зоне охраны кого-либо запрещается.

Необходимость проведения дополнительного испытания трубопровода на плотность с определением падения давления за время испытания определяется проектной организацией. Внутрицеховые технологические трубопроводы следует подвергать дополнительному испытанию на плотность совместно с оборудованием, которое они обслуживают.

Длительность испытаний должна быть не менее 24 часов для внутрицеховых, междцеховых и междзаводских трубопроводов.

Падение давления в трубопроводе за время испытания его на плотность определяют по формуле:

$$\Delta P = 100[1 - (P_{\text{кон}} \cdot T_{\text{нач}}) / (P_{\text{нач}} \cdot T_{\text{кон}})]$$

где ΔP – падение давления, % от испытательного давления;

$P_{\text{нач}}$ – сумма манометрического и барометрического давлений в начале испытания, МПа (кгс/см²);

$P_{\text{кон}}$ – то же, в конце испытания, МПа (кгс/см²);

$T_{\text{нач}}$ – температура в трубопроводе в начале испытания, °C;

$T_{\text{кон}}$ – то же, в конце испытания, °C.

Давление и температура в трубопроводе определяются как среднее арифметическое показаний всех манометров и термометров, установленных на нем во время испытания.

Результаты дополнительного испытания на плотность межсоединительных технологических трубопроводов признают удовлетворительными, если падение давления в них окажется не более 0,1 % в час при транспортировании СДЯВ и токсических продуктов и не более 0,2 % в час – при транспортировании взрывоопасных легковоспламеняющихся, горючих и активных газов (в том числе сжиженных).

Указанные нормы относятся к трубопроводам с внутренним диаметром до 250 мм включительно.

Общий порядок проведения испытаний трубопроводов:

- очистка трубопровода от продукта;
- подбор заглушек (указать их размер);
- отглушение участка трубопровода (указать места установок);
- подключение к трубопроводу гидравлического устройства (указать вид устройства и способ присоединения);
- заполнение трубопровода водой (указать предельные значения температуры воды);
- создание давления на требуемое время испытаний;
- осмотр наружный;
- сброс давления до необходимой величины (указать как сбрасывается давление);
- обстукивание молотком (если предусмотрено нормативом);
- сброс давления и удаление воды (указать куда удаляется вода);
- удаление заглушек;
- составление и подписание акта испытаний.

На технологические трубопроводы ведется следующая техническая документация:

1. Перечень ответственных технологических трубопроводов по установке.

2. Паспорт трубопровода. К нему прилагают:

а) схема трубопровода (рис. 2.1) с указанием на ней условного диаметра, исходной и отбраковочной толщин элементов трубопровода, мест установки арматуры, фланцев, заглушек и других деталей, установленных на трубопроводе, места спускных, продувочных и дренажных устройств, сварных стыков, контрольных засверловки и их нумерацию;

б) акты ревизии и отбраковки трубопроводов;

в) удостоверения о качестве ремонтов трубопроводов (первичные документы, подтверждающие качество примененных при ремонте материалов и качество сварных стыков, предъявляются исполнителем при передаче удостоверения технадзору и в дальнейшем хранятся в организации, выполнившей работу);

г) документацию по контролю и наблюдению за металлом горячих трубопроводов.

3. Акт периодического наружного осмотра трубопровода.
4. Акт на ремонт и испытание арматуры.
5. Эксплуатационный журнал трубопроводов ведется для трубопроводов, на которые не составляют паспорт.
6. Журнал установки и снятия заглушек.
7. Документация на предохранительные клапаны.
8. Журнал режима термообработки сварных соединений.
9. Журнал учета просвечивания гамма-лучами или испытания ультразвуком сварных стыков.

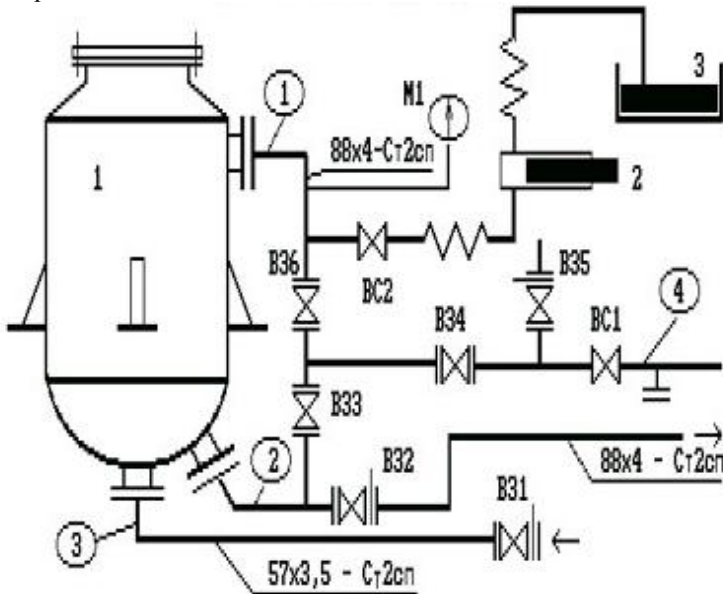


Рис. 2.1. Схема трубопровода

- 1 - аппарат; 2 - гидравлический насос; 3 - ёмкость с водой; M1 - манометр;**
B3 - вентиль запорный; BC - вентиль спускной; 3 - заглушка;
1 - участок трубопровода от 1 до BC1;
2 - участок трубопровода от 1 до B32;
3 - участок трубопровода от 1 B31.

Содержание протокола лабораторной работы

1. Составить схему трубопровода с указанием условных обозначений труб, мест установки арматуры и ее условное обозначение, фланцев, заглушек.
2. Установить вид испытаний трубопроводов.
3. Составить порядок проведения гидравлических испытаний.
4. Рассчитать пробное гидравлическое давление для трубопровода.

5. Рассчитать падение давления в трубопроводе за время испытания его на плотность и герметичность

6. Заполнить форму отчета (таблица 2.2)

Таблица 2.2. Форма отчета

№ п/п			
Наименование трубопровода			
Рабочие параметры	Давление $P_{\text{раб}}$, кг/см ²		
	Температура $T_{\text{раб}}$, °C		
Вид испытаний	На прочность	Гидравлическое или пневматическое испытание	
		Давление $P_{\text{исп}}$, кгс/см ²	...
		Продолжительность испытания, мин	...
	На плотность	Гидравлическое или пневматическое испытание	...
		Давление $P_{\text{исп}}$, кгс/см ²	...
		Продолжительность испытания, мин	...
	На герметичность	Испытательное давление $P_{\text{исп}}$, кгс/см ²	...
		Продолжительность испытаний, час	...
		Падение давления за время испытания, %	...
		Допуст. величина падения давления, %	...

Лабораторная работа №3

Трубопроводная арматура в химической промышленности

Цель работы: изучение конструкций и принципа работы основных видов трубопроводной арматуры

Введение

Трубопроводной арматурой называют технические устройства, предназначенные для отключения, распределения, регулирования, смещения или сброса сред, монтируемые на трубопроводах.

Классификация арматуры

По назначению арматуру можно разделить на следующие категории:

а) промышленная трубопроводная арматура общего назначения, используемая на водопроводах, паропроводах, городских газопроводах, системах отопления;

б) арматура специального назначения (для особых условий работы), предназначенная для эксплуатации при относительно высоких давлениях и температурах, при низких температурах, на коррозионных, токсичных, радиоактивных, вязких, абразивных и сыпучих средах;

в) арматура по специальному заказу (специальная), которая разрабатывается и изготавливается по отдельным заказам на основании особых технических требований.

По функциональному назначению арматура делится на классы:

а) запорная арматура, предназначенная для полного перекрытия потока среды. К ней относится около 80 % всей арматуры;

б) регулирующая арматура, предназначенная для регулирования расхода рабочей среды с целью управления параметрами технологического процесса: давлением, температурой, составом ингредиентов, участвующих в технологическом процессе и др.;

в) распределительно-смесительная арматура используется для распределения потока среды по определенным направлениям и смещения;

г) предохранительная арматура служит для предохранения обслуживаемого объекта от чрезмерного повышения давления путем выпуска избыточного количества рабочей среды;

д) защитная арматура предназначена для защиты оборудования от аварийных изменений параметров рабочей среды путем закрытия и отключения обслуживаемого участка;

е) фазоразделительная и массоразделительная арматура предназначена для автоматического разделения сред в зависимости от их фаз и состояния.

По способу перекрытия потока сред арматура подразделяется на типы:

а) клапан (вентиль) имеет затвор в виде тарелки, золотника или конуса, перемещающиеся возвратно-поступательно параллельно оси потока среды, движущейся из под седла, расположенного в корпусе.

б) кран, затвор которого имеет форму тела вращения (или части его), поворачивающийся вокруг своей оси, расположенной перпендикулярно к оси потока.

в) задвижка, затвор которой выполняется в виде диска или клина, перемещающийся возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока среды, параллельно поверхностям седел, закрепленных в корпусе.

г) заслонка, затвор которой имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, расположенной вдоль плоскости затвора.

д) мембранный клапан имеет затвор в виде упругой мембраны, перемещающейся вдоль оси потока в седле клапана.

е) шланговый клапан, перекрытие потока, в котором происходит за счет пережима эластичного (например, резинового) шланга, внутри которого движется рабочая среда.

По методу управления арматура классифицируется на группы:

а) автоматически действующей или автономной называется арматура, рабочий цикл которой совершается под действием рабочей среды. К ним относятся: регуляторы давления, регуляторы уровня, конденсатоотводчики, обратные клапаны, предохранительные клапаны;

б) управляемой называется арматура, рабочий цикл которой выполняется оператором вручную или устройствами, установленными в системе автоматического управления технологическими процессами. К управляемой арматуре относятся все типы запорной арматуры и регулирующие клапаны. Управляемая арматура может иметь ручной или механический привод, закрепленный на арматуре или дистанционно.

Арматура с ручным приводом снабжается маховиком, закрепленным на шпинделе или штоке; маховиком и редуктором.

Арматура может иметь шарнирную муфту для управления дистанционно расположенным приводом: ручным или механическим.

В качестве механического привода может применяться электромеханический, электромагнитный, мембранный, поршневой, сифонный.

По давлению рабочей среды арматура подразделяется на группы.

Для решения различных технических задач связанных, например, с унификацией размеров, расчетов, испытаний, давление среды разделяется на условное, рабочее и пробное.

Условное давление (P_r) представляют собой наибольшее избыточное рабочее давление при температуре 20°С, при котором обеспечивается длительная работы арматуры и других частей трубопроводов (труб, фланцев, тройников и др.). В стандартах (ГОСТах, ОСТах), справочниках указываются размер арматуры и других частей трубопроводов, обоснованные расчетом на проч-

ность на каждое значение условного давления и прочностных характеристик материалов, из которых они изготовлены, при температуре 20°C.

В соответствии с ГОСТ 356, условные давления в МПа, образуют следующий ряд: 0,1; 0,16; 0,25; 0,40; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 160; 250.

Рабочее давление (P_p) представляет собой наибольшее избыточное давление, при котором обеспечивается длительная работа арматуры и других частей трубопроводов при рабочей температуре среды.

Пробное давление ($P_{пр}$) представляет собой избыточное давление, при котором арматура должна подвергаться гидравлическому испытанию на прочность и плотность (непроницаемость) материалов корпусных деталей.

По условным давлениям арматуру можно разделить на следующие группы:

- арматура для глубокого вакуума, используемая для давлений ниже 0,1 Па абс.;
- вакуумная арматура, используемая для давления от 0,1 Па абс. и выше
- до 0,1 МПа;
- арматура малых давлений, применяемая для давлений до 1,6 МПа (изб.);
- арматура средних давлений – для давлений до 10 МПа;
- арматура высоких давлений – до 80 МПа;
- арматура сверхвысоких давлений от 100 МПа и выше.

По температурному режиму арматуру можно разделить на следующие категории:

- криогенная или арматура для глубокого холода – рабочая температура ниже -153 °С;
- арматура холодильной техники – рабочая температура от -153 до -70 °С;
- арматура для пониженных температур – рабочая температура от -30 до -70 °С;
- арматура для средних температур – до 455 °С;
- арматура для высоких температур – до 600 °С;
- арматура жаропрочная – до температур выше 600 °С.

По исполнению присоединительных патрубков арматура классифицируется по конструкции и размерным рядам (рис. 3.1).

а) арматура с патрубками под приварку является более надежным исполнением присоединения к трубам в трубопроводе. Она предпочтительно применяется в трубопроводах для горючих, токсичных, пожаро- взрывоопасных сред;

б) арматура фланцевая имеет присоединительные патрубки, снабженные фланцами. Фланцевые соединения позволяют производить быструю замену арматуры;

в) арматура муфтовая, цапковая, штуцерная.

Муфтовая арматура, в патрубках корпуса которой нарезана внутренняя резьба. Соединение ее с трубопроводом производится путем ввинчивания отрезка трубопровода, имеющего наружную резьбу, в патрубок арматуры.

Цапковая арматура имеет присоединительные патрубки с наружной резьбой. Соединение с трубопроводом осуществляется путем навинчивания накидной гайки, закрепленной на трубопроводе с помощью бурта. Уплотнение происходит с помощью прокладки, устанавливаемой между торцом патрубка арматуры и торцом бурта трубы.

Штуцерная арматура, на патрубках которой нарезана наружная резьба, присоединяется к трубопроводу с помощью муфты без применения прокладки.

Применяют эти виды арматуры на трубопроводах небольших диаметров ($D_v \leq 80 \text{ мм}$). В технологических трубопроводах они не применяются.

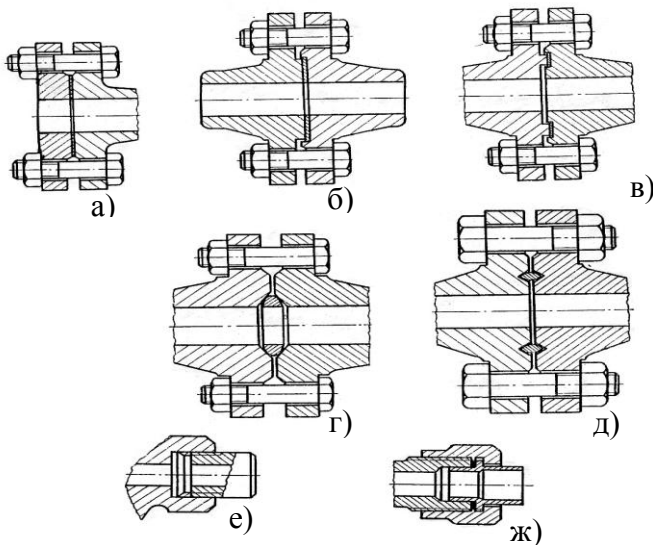


Рис. 3.1. Основные типы присоединения арматуры к трубопроводу:

- а – фланцевое (фланцы с соединительным выступом и плоской прокладкой);
- б – фланцевое (фланцы стальные приварные встык с уплотнением типа выступ-впадина с плоской прокладкой);
- в – фланцевое (фланцы с уплотнением типа шип-паз с плоской прокладкой);
- г – фланцевое (фланцы стальные с линзовой прокладкой);
- д – фланцевое (фланцы стальные с прокладкой овального сечения);
- е – муфтовое; ж – цапковое.

Основными монтажными размерами арматуры являются: условный диаметр прохода, строительная длина и высота; размеры присоединительных патрубков: сварных, фланцевых, резьбовых.

Условные диаметры (D_y) проходов трубопроводной арматуры аналогично условным диаметрам трубопроводов, имеют 31 основной размер: 3; 6; 10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 2000; 2400; 3000; 3400; 4000.

Строительная высота арматуры H (рис. 3.2) определяется расстоянием от оси прохода до верхнего конца шпинделя или штока, установленного в верхнее крайнее положение (седло открыто), при ручном управлении, или до наиболее высокой точки привода.

Строительная длина арматуры L характеризует длину участка трубопровода, которую занимает арматура (рис. 2.3).

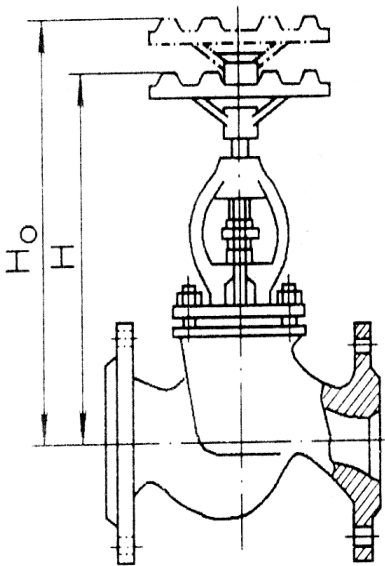


Рис. 3.2. Строительная высота арматуры:
 H – в закрытом виде;
 H_0 – в открытом виде

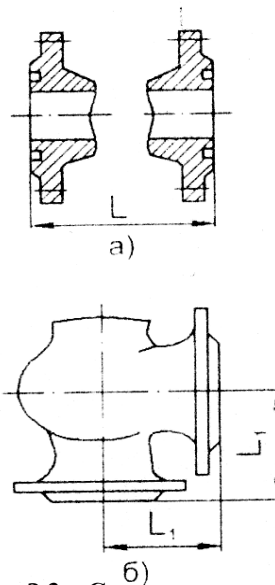


Рис. 3.3. Строительная длина L и L_1 проходной арматуры

Обозначение арматуры

В различных странах, в международных промышленных объединениях и организациях, действуют различные системы обозначения арматуры.

Обозначения арматуры, принятое в этих системах, используется при проектировании технологических схем, например, в дипломных проектах, в каталогах арматурных заводов, в ведомостях для заказа арматуры.

В арматуростроении стран Европы широко применяется классификация Европейского комитета по арматуростроению – СЕИР. Во многих странах ми-

ра используется классификация арматуры и уплотнений, рекомендованная Организацией Объединенных Наций (ООН). В отечественном арматуростроении наиболее широко используется система обозначения Центрального конструкторского бюро арматуростроения – ЦКБА

В системе обозначений ЦКБА индекс изделия включает пять элементов, расположенных последовательно:

1. Тип арматуры (цифровое обозначение – табл. 3.1).

Таблица 3.1

Тип арматуры	Обозначение	Тип арматуры	Обозначение
Кран (пробно-спусковой)	10	Регулятор давления (клапан редукционный)	16,21
Кран (для трубопровода)	11	Клапан распределенный	23
Запорное устройство для указателя уровня	12	Клапан регулирующий	25
Клапан запорный, клапан отсеченный	13,14,15,22	Клапан смесительный	27
Клапан обратный подъемный или приемный (с сеткой)	16	Задвижка	30,31
Клапан предохранительный	17	Заслонка	32
Клапан обратный поворотный	19	Задвижка шланговая	33
Клапан перепускной	20	Конденсатоотводчик	45

2. Материал корпуса (буквенное обозначение – табл. 3.2).

Таблица 3.2

Тип арматуры	Обозначение	Тип арматуры	Обозначение
Сталь углеродистая	с	Монель-металл	Мн
Сталь легированная	лс	Пластмассы (кроме винипласта)	п
Сталь коррозионно-стойкая (нержавеющая)	нж	Винипласт	вп
Чугун серый	ч	Фарфор	к
Чугун ковкий	кч	Титановый сплав	тн
Латунь или бронза	Б	Стекло	ск
Алюминий	а		

3. Привод (цифровое обозначение – табл. 3.3).

Для обозначения привода используется первая цифра трехзначного числа (от 3 до 9). Две последние цифры обозначают номер модели арматуры по каталогу ЦКБА. При отсутствии привода (т.е. привод – маховик или ручка) индекс состоит из двух цифр, обозначающих номер модели по каталогу ЦКБА.

Таблица 3.3

Тип арматуры	Обозначение	Тип арматуры	Обозначение
Под дистанционное управление	0	С цилиндрической зубчатой передачей	4
Механический: С червячной передачей	3	С конической зубчатой передачей	5
		Пневматический	6
Гидравлический	7	Электромагнитный	8
Пневмогидравлический	6(7)	Электрический (электромоторный)	9

4. Материал уплотнительных колец (буквенное обозначение после второй группы цифр – табл. 3.4).

При отсутствии вставных или наплавленных уплотнительных колец в корпусе или затворе, когда уплотнение поверхности образуется непосредственно материалом корпуса или затвора, в индексе проставляется обозначение - бк (без колец).

Таблица 3.4

Тип арматуры	Обозначение	Тип арматуры	Обозначение
Латунь и бронза	бр	Кожа	к
Монель-металл	мн	Эбонит	э
Коррозионостойкая и нержавеющая сталь	нж	Резина	р
Нитрированная сталь	нт	Винипласт	вп
Баббит	бт	Пластмассы (кроме винипласта)	п
Стеллит	ст	Без вставных или наплавленных колец	бк
Сормайт	ср	Второпласт	фт

5. В случае применения внутреннего покрытия корпуса (проточных частей) обозначение материала покрытия объединяется с обозначением материала уплотнительных колец (табл. 3.5).

Иногда после букв, обозначающих материал уплотнения, проставляется еще одна цифра, обозначающая вариант конструктивного исполнения.

Примеры условного обозначения некоторых типов арматуры:

1. Индекс 30ч925бр обозначает задвижку (30) чугунную (ч) с электроприводом (9) конструкции модели, обозначенной порядковым номером 25 по каталогу ЦКБА, с уплотнительными кольцами из бронзы или латуни (бр).

Таблица 3.5

Материал внутреннего покрытия	Условное обозначение
Резина	гм
Эмаль	эм
Свинец	св
Пластмасса	п
Наирит	н

2. Индекс 15с22нж1 обозначает клапан (вентиль) (15), корпус стальной (с), с ручным приводом – маховиком, конструкции модели (22), с уплотнительными кольцами из нержавеющей стали (нж), конструктивное исполнение (1).

3. Индексы 15ч91эм2 и 15ч591эм2 обозначают клапаны (вентили) диафрагмовые, рабочая среда подается под диафрагму. Вентили управляются вручную (15ч91эм2) или при помощи маховика и конического редуктора (15ч591эм2). Корпусные детали – чугунные, диафрагма – из кислотостойкой резины. Внутренняя полость корпуса и уплотнительные поверхности фланцев покрыты коррозионностойкой эмалью, конструктивное исполнение 2.

Условные обозначения арматуры для нефтяной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности построены по отдельной системе. Здесь обычно сначала идет ряд букв, обозначающих сокращенное наименование изделия, а затем цифры, указывающие условное давление. Например, ЗКЛПЭ-16 – задвижка клиновая с электроприводом во взрывозащищенном исполнении на $P_y = 16 \text{ кгс/см}^2$; СППКР-40 – специальный полноподъемный пружинный предохранительный клапан с рычагом для продувки на $P_y = 40 \text{ кгс/см}^2$.

К основным, наиболее часто применяемым типам запорной арматуры можно отнести четыре: задвижки, клапаны (вентили), краны, заслонки (дисковые поворотные затворы).

Задвижки

Задвижки получили широкое распространение, отличаются простотой конструкции, прямоточным движением среды и малым гидравлическим сопротивлением. Поэтому их можно применять для больших диаметров проходов ($d_y = 50 \div 3000 \text{ мм}$) и больших давлений среды ($P_y = 0,4 \div 20 \text{ МПа}$) и температурах до 450°C .

Существуют самые разнообразные конструкции задвижек. Задвижки обычно изготавливаются полнопроходными, т.е. диаметры отверстия в присоединительных патрубках не сужаются. В ряде конструкций задвижек, предназначенных для работы при высоких перепадах давления на затворе, для

уменьшения усилий, требуемых для управления задвижкой, площадь прохода выполняют несколько меньшей площади сечения присоединительных патрубков, т.е. с суженным проходом.

Наиболее целесообразной принято считать классификацию задвижек по конструкции затвора, поэтому признаку задвижки могут быть объединены по основным типам: клиновые и параллельные. У первых уплотнительные кольца под небольшим углом, образуют клин, у вторых кольца в затворе расположены параллельно друг другу.

В свою очередь клиновые задвижки могут быть с цельным, упругим и составным клином, образованном двумя дисками. Параллельные задвижки также можно подразделить на однодисковые и двухдисковые, с расположенным между ними распорным клином или распорной пружиной.

В зависимости от конструкции системы винт-гайка и ее расположения (в среде или вне среды) задвижки могут быть выдвижным штоком (штоком) и с невыдвижным штоком (штоком).

В задвижках с невыдвижным штоком ходовой узел погружен в рабочую среду, к нему закрыт доступ, он подвержен коррозии и действию абразивных частиц, если их содержит среда. В связи с этим они применимы в трубопроводах, транспортирующих нефть, минеральные масла, воду. Задвижки с невыдвижным штоком имеют меньшую строительную высоту, что делает целесообразным их применение для подземных коммуникаций.

Клиновые задвижки

К клиновым задвижкам относятся задвижки, затвор которых имеет вид плоского клина.

В клиновых задвижках седла и их уплотнительные поверхности параллельны уплотнительным поверхностям затвора и расположены под некоторым углом к направлению перемещения затвора. Затвор в задвижках этого типа называют «клином». Преимущества таких задвижек – повышенная герметичность прохода в закрытом положении, а также небольшая величина усилия, необходимого для создания уплотнения.

К недостаткам клиновых задвижек можно отнести необходимость применения направляющих для перемещения затвора, повышенный износ поверхностей затвора, а также технологические трудности обеспечения герметичности в затворе (подгонка).

Пример конструкции задвижки с цельным клином и выдвижным штоком показан на рисунке 3.4. Она состоит из литого корпуса, в который запрессованы или ввинчены уплотнительные седла (кольца) 2, как правило их изготовленные из высоколегированных или износостойких сталей. Вместе с корпусом отлиты, а затем механически обработаны направляющие 3 для фиксации направления перемещения затвора (клина).

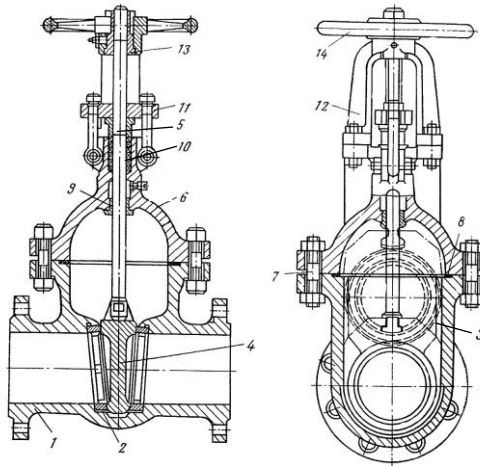


Рис. 3.4. Полнопроходная задвижка с цельным клином:

- 1 – корпус; 2 – седло; 3 – направляющая движения клина; 4 – клин; 5 – шток;
6 – верхняя крышка; 7 – шпилька; 8 – уплотнительная прокладка;
9 – направляющая втулка; 10 – сальник; 11 – нажимной фланец; 12 – бугель;
13 – гайка; 14 – маховик.

Клин 4 имеет две кольцевые уплотнительные поверхности и шарнирно через сферическую опору подвешен к штоку 5, верхняя крышка 6 соединяется с корпусом посредством болтов или шпилек 7. Для центровки крышки по отношению к корпусу в ней имеется кольцевой выступ, который входит в проточку корпуса. Уплотнение между крышкой и корпусом обеспечивается прокладкой 8, которая закладывается в проточку корпуса. Для предотвращения перекосов штока при движении в верхнюю часть крышки запрессовывается направляющая втулка 9.

Сальниковое уплотнение, препятствующее утечке среды из полости задвижки по штоку, состоит из камеры в корпусе крышки, куда помещается набивка, нажимной втулки и фланца 11.

На крышке укреплена стойка (бугель) 12, на которой расположена ходовая гайка 13, изготавливаемая из антифрикционных материалов. Маховик 14 жестко соединен с ходовой гайкой. При вращении маховика с гайкой шток, имеющий на поверхности резьбу, и связанный с ним клин поднимаются или опускаются. В нижнем конечном положении клин свободно входит в пространство между седлами и прижимается к ним.

Эта конструкция имеет ряд недостатков: повышенный износ уплотнительных поверхностей, необходимость индивидуальной пригонки клина и седел, вероятность заедания клина в закрытом состоянии в результате износа, коррозии, под действием температуры.

Задвижки с цельным клином выпускают как с выдвигным, так и с невыдвигным штоком.

На рисунке 3.5 показана конструкция задвижки с суженным проходом и упругим клином. Такая конструкция обеспечивает лучшее уплотнение прохода в закрытом состоянии без индивидуальной подгонки, так как затвор выполнен в виде разрезанного или полуразрезанного клина, обе части которой связаны между собой упругим (пружинящим) элементом. Под действием усилия прижатия, которое передается через шпindel, в закрытом положении упругий элемент может изгибаться в пределах упругих деформаций, обеспечивая плотное прилегание обеих уплотнительных поверхностей к седлам.

Затвор 3 в задвижке (рис. 3.5) представляет собой разрезанный клин с упругим ребром 8, которое изгибаясь под усилием, создаваемым шпинделем 5, позволяет уплотнительным поверхностям клина поворачиваться на некоторый угол, чтобы обеспечивать лучшее прилегание к уплотнительным поверхностям седел 2.

Эта задвижка снабжена не подвижным шпинделем. Рабочая среда в рассмотренных конструкциях может поступать в задвижку с любой стороны.

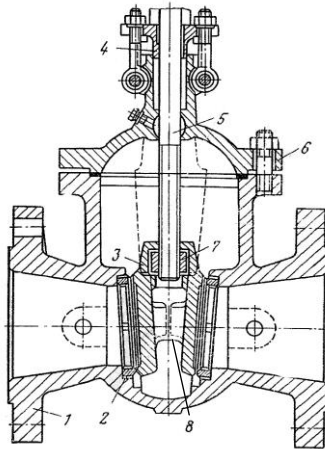


Рис. 3.5. Задвижка с суженным проходом и упругим клином:

- 1 – корпус; 2 – седло; 3 – затвор; 4 – нажимная втулка; 5 – шпindel; 6 – верхняя крышка; 7 – ходовая гайка; 8 – ребро.

Клапаны (вентили) запорные

В арматуростроении клапаном (вентилем) называют устройства, служащие для перекрытия потока среды с помощью затвора, имеющего вид диска (тарелки, золотника), при поступательном движении шпинделя (штока) вдоль оси потока, перпендикулярно к плоскости седла.

При ручном управлении затвор перемещается с помощью системы: винт – ходовая гайка. На базе клапанов могут быть созданы дросселирующие устройства с любой расходной характеристикой.

По сравнению с другими видами запорной арматуры, клапаны имеют следующие преимущества: высокую герметичность, малый ход золотника (по сравнению с задвижками), необходимой для полного перекрытия прохода (обычно $0,25 D_y$); применение при высоких и низких температурах; возможность применения при высоких давлениях и высоких перепадах давления на золотнике; установка на трубопроводе в любом положении; простота конструкции, обслуживания, ремонта; относительно небольшие габаритные размеры и масса; исключение возможности возникновения гидравлического удара.

К недостаткам клапанов относят: высокое гидравлическое сопротивление (по сравнению с кранами, задвижками); невозможность применения на потоках сильно загрязненных сред, а также на средах с высокой вязкостью; подача среды только в одном направлении.

Вследствии того, что усилия, возникающие на золотнике под действием давлений, действуют по оси шпинделя, в ventилях большого диаметра возникают усилия трения в резьбе, возникает необходимость применения мощных приводов, что вызывает большое потребление электроэнергии и увеличения массы и габаритных размеров.

Конструкции клапанов классифицируются по нескольким признакам.

По конструкции корпуса клапаны подразделяют на проходные, прямые, угловые и смесительные.

По назначению их классифицируют на запорные, запорно-регулирующие. В свою очередь регулирующие клапаны подразделяют по конструкции дроссельных устройств на клапаны (ventили) с профилированным золотником и игольчатые.

Запорные клапаны по конструкции затворов (золотников) подразделяют на тарельчатые и диафрагмовые, а по способу уплотнения шпинделя – на сальниковые и сальфонные.

Проходные клапаны

Проходными называют клапаны, которые имеют корпус с соосными или параллельными патрубками. Они предназначены для установки в прямолнейных трубопроводах.

Проходные клапаны имеют недостатки: высокие гидравлические сопротивления, обусловленные тем, что поток среды делает, проходит корпус, два поворота; наличие зоны застоя в нижней части корпуса, где скапливаются твердые частицы; большие строительные размеры.

Проходной клапан (рис 3.6) состоит из литого корпуса 1, на переключке которого закреплено седло 2. к корпусу крепится крышка 5, отлитая вместе со стойкой 7. На крышке смонтирован сальник 6 и ходовая гайка 8, в которую ввинчен шпиндель 4, связанный с золотником 3 тарельчатого типа. Герметизация прохода в закрытом положении осуществляется по торцевой поверхности седла 2 и уплотнительного кольца, закрепленного на золотнике. Маховик 9 закреплен на шпинделе, который при вращении маховика совершает враща-

тельное и поступательное движения. Конструкция узла соединения золотника со шпинделем обеспечивает возможность смещения оси тарелки по отношению к оси шпинделя, что способствует плотному прилеганию уплотнительного кольца золотника к седлу и исключает вращение золотника по торцу узла после их соприкосновения.

Ходовая гайка предохраняется от вращения в гнезде стойки при помощи шпонки или винтовым стопором.

Для уплотнения между крышкой и корпусом устанавливают прокладку.

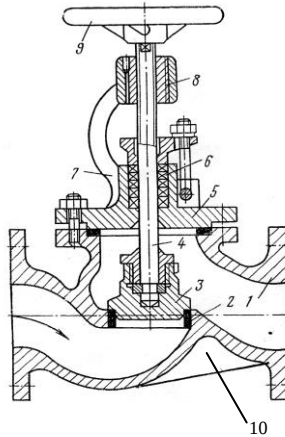


Рис. 3.6. Проходной клапан

1 – корпус; 2 – седло; 3 – золотник; 4 – шпиндель; 5 – крышка;
6 – сальник; 7 – стойка; 8 – ходовая гайка; 9 – маховик; 10 – ребро.

Угловые клапаны

Угловые клапаны имеют корпус с перпендикулярным расположением патрубков. Они предназначены для установки на трубопроводах перпендикулярных друг другу или для монтажа на повороте. По сравнению с прямооточным у них более высокое гидравлическое сопротивление. Он состоит (рис. 3.7) из корпуса 1, на котором закреплена крышка 4, отлитая вместе со стойкой, на которой размещено сальниковое уплотнение 5 и ходовая гайка 6. набивка сальника выполняется 4-6 колец из сальникового шнура. Также, как и у других видов арматуры. Тарельчатый золотник 2 соединен со шпинделем 3, среда подается под золотник.

Мембранные клапаны

Мембранные (иногда называют диафрагмовые) клапаны имеют запорный элемент в виде эластичной мембраны, перекрывающей проход. Материал мембраны: резина, фторопласт, полиэтилен и др. полимеры. Преимущества мембраны клапанов: простота конструкции, отсутствие сальника, зон застоя, незначительное гидравлическое сопротивление. Основной недостаток клапа-

нов данного типа — относительно небольшой срок службы мембраны и необходимость опорожнения трубопровода при замене мембраны.

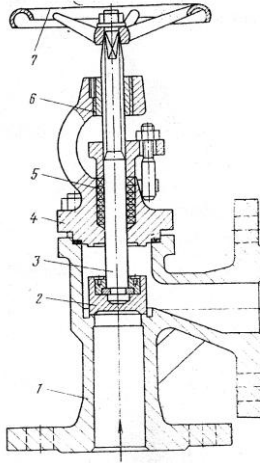


Рис. 3.7. Угловой запорный вентиль

1 — корпус; 2 — золотник; 3 — шпindel; 4 — крышка; 5 — сальник;
6 — ходовая гайка; 7 — маховик.

Мембранный вентиль (рис. 3.8) состоит из корпуса 1, на котором с помощью шпилек и гаек закреплена крышка 6. мембрана 2 одновременно играет роль запорного органа и герметизирует рабочую полость от утечек во внешнюю среду. Мембрана штока связана с золотником (грибком) 3 и перемещается одновременно с ним. Для предотвращения разрыва мембраны от давления среды предусмотрена телескопическая опора из колец 8.

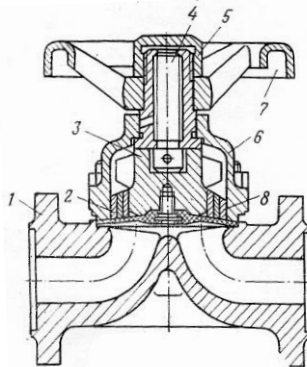


Рис. 3.8. Мембранный вентиль

1 — корпус; 2 — мембрана; 3 — золотник; 4 — шпindel; 5 — ходовая гайка;
6 — крышка; 7 — маховик; 8 — опорные кольца.

Мембрана прижимается к корпусу крышки 6, на которой крепится ходовая гайка 5, связанная с маховиком. Подача среды в мембране клапана возможна с любой стороны. Они часто выпускаются с футеровкой внутренних поверхностей корпуса резиной, полиэтиленом, эмалированием.

Краны запорные

У кранов затвор имеет форму тела вращения или части его, который поворачивается вокруг своей оси, расположенной перпендикулярно оси потока среды.

Достоинства крана, как запорного устройства, заключаются в следующем: простота конструкции, высокая надежность, малое гидравлическое сопротивление, возможность установки на трубопроводе в любом рабочем положении, отсутствие застойных зон, простое управление, обеспечивающее поворот на 90° для цикла «открытие-закрытие», малое время на поворот (быстродействие), применяемость для любых средств (газообразных, жидких, загрязненных), возможность использования в качестве регулирующего устройства.

К недостаткам кранов можно отнести: сложность притирки конических и сферических поверхностей, необходимость смазки во время эксплуатации, повышенные требования к обслуживанию крупногабаритных шаровых кранов, являющихся основным запорным устройством на магистральных трубопроводах.

Конусные краны

Для обеспечения внешней герметичности эти краны могут быть сальниковыми или натяжными (рис. 3.9) в зависимости от способа натяжения затвора: с сальником в верхней части пробки (а) или с натяжной гайкой в нижней части пробки (б).

В сальниковых кранах пробка 2 поднимается к уплотнительной поверхности корпуса 1 путем затягивания поджимной гайки 3 и через набивку 4 усилие затяжки передается на пробку крана. Для отжатия пробки при техническом обслуживании (закладка смазки) и ремонтах, а также для регулировки усилия поджатия пробки снизу на корпусе предусматривается установка отжимного винта 5.

В натяжных кранах продольное усилие создается натяжной гайкой 6, накрученной на нижний резьбовой хвостовик пробки. Натяжные краны просты по конструкции, более технологичны в изготовлении.

Конусность пробок равна 1:7. Проходное отверстие (окно) в конусных пробках имеет трапецеидальную форму с отношением высоты к средней линии 2,5 : 1.

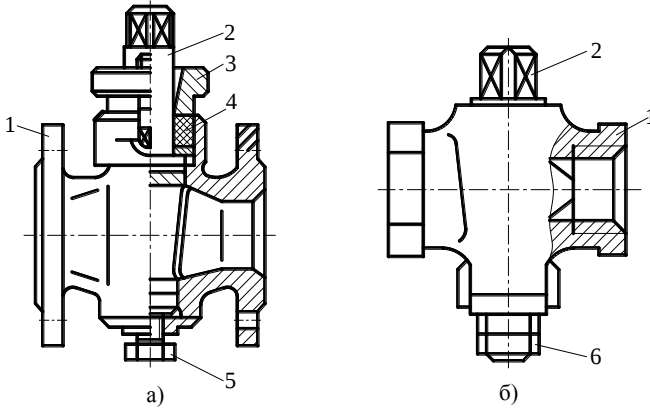


Рис. 3.9. Краны запорные с конической пробкой:

а) сальниковый фланцевый для жидких сред,

б) натяжной муфтовый для газа.

1 – корпус; 2 – пробка коническая; 3 – гайка нажимная;
4 – сальниковая набивка; 5 – отжимной винт; 6 – гайка натяжная

Цилиндрические краны

Они используются в основном на трубопроводах, по которым транспортируются вязкие, кристаллизующиеся вещества. Могут иметь паровую рубашку на стальном сварном корпусе.

По исполнению присоединительных патрубков на корпусе конические и цилиндрические краны изготавливаются фланцевыми, муфтовыми, цапковыми, штуцерными и с патрубками под приварку.

Общепромышленные краны в зависимости от материала корпусных деталей предназначены:

- из латуни и бронзы $D_y \leq 80 \text{ мм}$ для сред с $P_y \leq 2,5 \text{ МПа}$ с $t_p \leq 225^\circ \text{C}$;
- из чугунов серого и ковкого на $D_y \leq 150 \text{ мм}$ для воды, пара, нефтепродуктов, природного газа с $P_y \leq 2,5 \text{ МПа}$ при $t_p \leq 150^\circ \text{C}$;
- из стали на $D_y \leq 1600 \text{ мм}$ для природных, сжиженных газов при $t_p \leq 500^\circ \text{C}$.

Специальные пробковые краны могут изготавливаться из коррозионно-стойких сталей, титана высококремнистого чугуна, фаолита, полимерных материалов.

Пробковые краны с $D_y \leq 200 \text{ мм}$ имеют ручное управление с помощью рычага, закрепленного на хвостовике пробки (шпинделе). Поворот пробки у кранов больших размеров осуществляется с помощью гидропривода или специального механизма с электроприводом.

В процессе эксплуатации из кранов рабочей средой смазка выдавливается в проходное сечение пробки и затем уносится в трубопровод. Периодическое добавление смазки у кранов небольших размеров производится вручную в процессе ТО и ремонтов, а у кранов больших размеров применяются пресс-масленки и мультипликаторы давления.

Шаровые краны

У этих кранов, получивших в настоящее время широкое применение, пробка изготовлена в виде шара со сквозным цилиндрическим отверстием для прохода среды, диаметр которого равен диаметру трубопровода. Они обладают высокой надежностью, внутренней герметичностью и изготавливаются с диаметрами прохода до 1600 мм.

По способу крепления пробки в корпусе шаровые краны можно разделить на две разновидности:

- с плавающим шаром (Рис. 3.10 а);
- с шаром на опорах (Рис. 3.10 б).

Для кранов с малым диаметром прохода чаще применяются конструкции с плавающей пробкой, в которых пробка жестко не связана со шпинделем, может смещаться от оси шпинделя. Под действием давления среды пробка прижимается к выходному уплотнительному кольцу корпуса, обеспечивая герметичность затвора.

При больших D_y и P_y плавающая пробка создает чрезмерно большие нагрузки на уплотнительные кольца, что затрудняет управление работой крана. В этих случаях рекомендуется применение кранов с фиксированной пробкой, имеющей нижнюю цапфу, вращающуюся, как и верхняя, в подшипниках скольжения или качения.

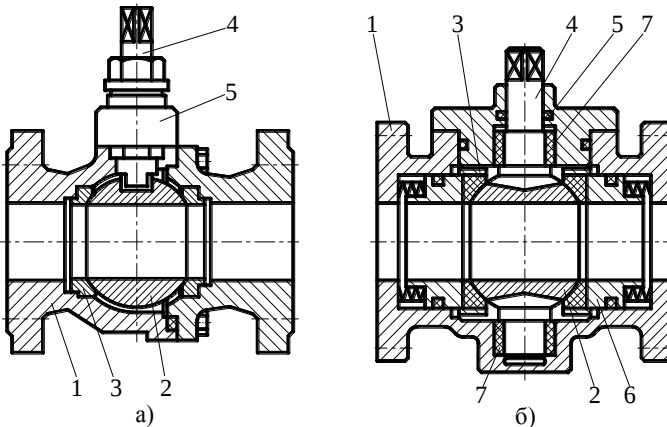


Рис. 3.10 а) кран шаровой с плавающей пробкой, б) стальной с шаром на опорах и подвижными уплотнительными кольцами:

- 1 – корпус, 2 – шаровая пробка, 3 – уплотнительное кольцо, 4 – шпиндель, 5 – сальник, б – подъёмное устройство, 7 – подшипник.

Краны с малым D_y обычно имеют ручное управление, краны с большим D_y снабжают пневмогидроприводом, реже – электроприводом и являются основным запорным устройством для магистрального газопровода.

Предохранительная арматура

Наряду с запорной арматурой в химической промышленности широко применяются различные по устройству защитные предохранительные устройства, основными из которых являются предохранительные клапаны.

Предохранительные клапаны предназначены для автоматического выпуска из защищаемого сосуда или установки избыточного объема рабочей среды, создающего повышенное давление, не предусмотренное нормальным ходом технологического процесса.

Предохранительные клапаны обычно классифицируются по способу создания нагрузки на золотник, по высоте подъема золотника, по способу открытия клапана, по способу выпуска из него среды.

По способу создания нагрузки на золотник различают (рис.3.11 а, б, в, г, д):

- клапаны грузовые с прямым нагружением золотника;
- клапаны грузовые рычажные;
- клапаны пружинные;
- клапаны пружинные со вспомогательным поршнем.

Грузовые предохранительные клапаны с прямым нагружением золотника (а) применяются в основном для защиты аппаратов, работающих при низком давлении.

Грузовые рычажные клапаны (б) имеют более широкое распространение, так как позволяют в больших пределах изменять давление срабатывания путем перемещения грузов по рычагу.

Преимуществами грузовых клапанов являются: простота конструкции и постоянство нагрузки на золотник при его подъеме. Недостатки – большие габариты, склонность к вибрации, невозможность применения на подвижных установках, необходимость защиты от налипания осадков в зимнее время. На рис. 3.11а показана конструкция грузового рычажного клапана.

Пружинные предохранительные клапаны с прямым нагружением золотника (в) являются самым распространенным типом клапанов. Они имеют малые габариты при больших проходных сечениях, они устанавливаются на подвижных объектах, например, цистернах. Недостатком пружинных клапанов является то, что при подъеме золотника возрастает усилие пружины вследствие ее сжатия.

Пружинные клапаны со вспомогательным поршнем (г) имеют на штоке золотника поршень, на который действует усилие от рабочего давления среды, почти полностью уравновешивающее давление на золотник, а пружина клапана создает лишь небольшое избыточное усилие, необходимое для герметизации затвора. В некоторых клапанах этого типа на поршень или под поршень

подается сжатый воздух, давление которого создает дополнительное усилие на уплотнительных поверхностях затвора, благодаря чему улучшается герметичность клапана, но усложняет управление его работой, поэтому они применяются редко.

По высоте подъема золотника предохранительные клапаны разделяются на низкоподъемные, среднеподъемные и полноподъемные.

У низкоподъемных клапанов отношение высоты подъема золотника h к диаметру d сопла составляет $\frac{h}{d} = \frac{1}{20} : \frac{1}{40}$, т. е. площадь сечения щели, через

которую происходит истечение среды, значительно меньше площади пропускного сечения сопла. Низкоподъемные предохранительные клапаны применяются для защиты сосудов, работающих на жидких (несжимаемых) средах, когда небольшой по объему сброс среды приводит к резкому снижению давления в защищаемом объекте.

У среднеподъемных клапанов $\frac{h}{d} = \frac{1}{6} : \frac{1}{10}$. Такие клапаны используются в основном как перепускные.

Полноподъемные клапаны отличаются высокой производительностью, так как сечение щели при подъеме золотника равно или больше сечения сопла клапана, т. е. $\frac{h}{d} \geq \frac{1}{4}$.

По способу открытия различают клапаны прямого и непрямого действия.

Предохранительные клапаны прямого действия открываются под действием силы, создаваемой давлением среды в защищаемом объекте. К ним относятся все ранее рассмотренные конструкции: а, б, в, г.

Для открытия клапана непрямого действия на него подается управляющий импульс. На рис. 3.11д показан основной предохранительный клапан 6 непрямого действия, под поршень которого подается управляющий импульс от вспомогательного клапана 7 с игольчатым клапаном 8, с помощью которого ведется точная наладка этой системы на давление срабатывания. Усилие пружины основного клапана рассчитано на величину большую, чем сила давления среды на золотник, поэтому в закрытом состоянии золотник плотно прилегает к седлу сопла, обеспечивая надежную герметичность. При повышенном давлении в защищаемом сосуде сверх установленного вначале срабатывает вспомогательный клапан 7 и сбрасываемая среда поступает на поршень основного клапана, обеспечивая его открытие. Полная пропускная способность такой системы достигается при незначительном превышении давления среды.

Преимуществом предохранительных клапанов непрямого действия является возможность получения высокой пропускной способности за счет увеличения диаметра сопла.

По способу выпуска среды различают предохранительные клапаны открытого типа и предохранительные клапаны закрытого типа.

Клапаны открытого типа не имеют патрубка с фланцем для присоединения отводящих трубопроводов и выпускают выбрасываемую рабочую среду при срабатывании клапана непосредственно в атмосферу.

Клапаны закрытого типа имеют патрубок для подсоединения отводящего трубопровода, сбрасываемая среда по нему отводится либо на безопасное расстояние, либо в утилизационную емкость. Эти же клапаны используются для отвода в выпускную трубу взрывоопасных и токсичных газов.

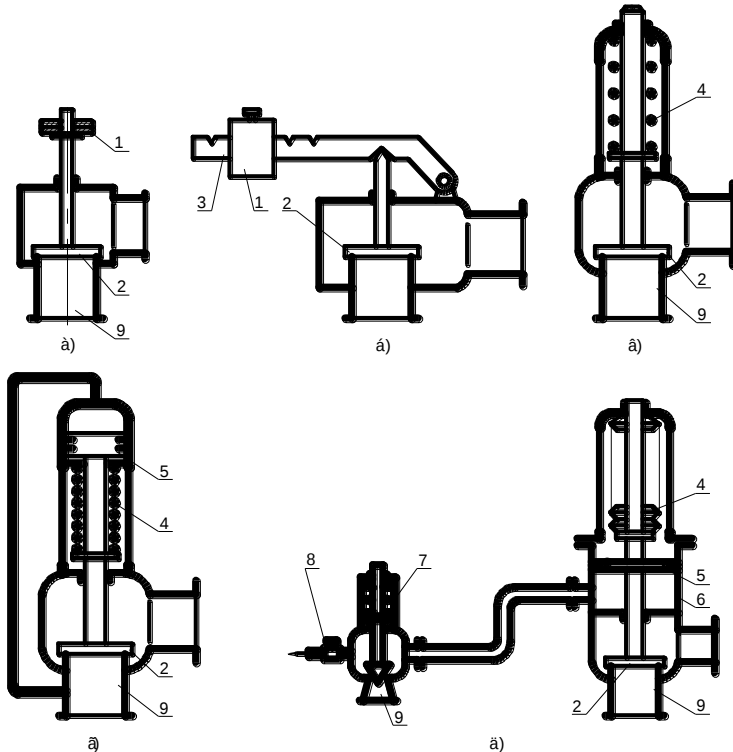


Рис. 3.11. Основные типы предохранительных клапанов:

- а) грузовой с прямым нагружением; б) грузовой рычажный; в) пружинный с прямым нагружением; г) пружинный с вспомогательным поршнем;
д) клапан непрямого действия.

1 – груз; 2 – золотник; 3 – рычаг; 4 – пружина; 5 – поршень;
6 – основной предохранительный; 7 – вспомогательный клапан
8 – клапан игольчатый; 9 – сопло.

На рис. 3.12 показана типовая конструкция пружинного предохранительного клапана. Регулировочная втулка 3 на сопле 2 позволяет добиваться четкого срабатывания запорного органа и полного подъема золотника 4. Для

правильной посадки золотника 4 на седло сопла служит направляющая втулка 5. Такая конструкция обеспечивает движение штока 9 без перекосов. Втулка 5 предохраняет также пружину 7 клапана от воздействия высоких температур выбрасываемой среды при срабатывании клапана. Пружина 7 настраивается на давление срабатывания регулировочным винтом 8. Набором сменных пружин 7 обеспечивается регулирование давления срабатывания клапана в широком диапазоне.

Число предохранительных клапанов для защиты сосудов, работающих под давлением, их размеры и пропускная способность должны быть выбраны таким образом, чтобы в сосуде не могло повыситься давление более чем на 0,05 МПа – для сосудов с рабочим давлением до 0,3 МПа включительно:

на 15% - для сосудов с рабочим давлением от 0,3 до 6,0 МПа и

на 10% - для сосудов с рабочим давлением свыше 6 МПа.

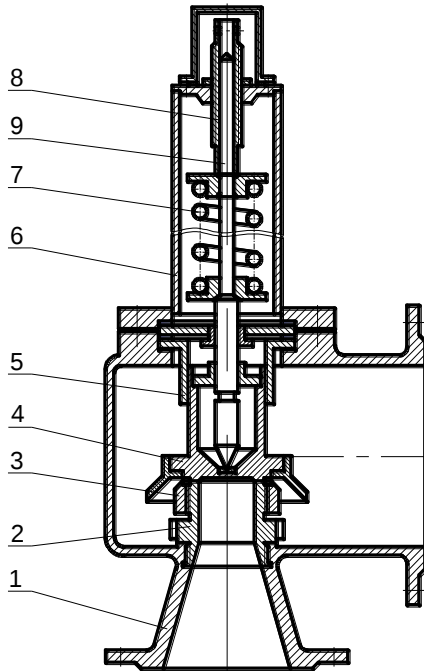


Рис. 3.12. Предохранительный клапан типа СППК 4-200-16:

- 1 – корпус, 2 – сопло, 3 – нижняя регулировочная втулка, 4 – золотник,
5 – направляющая втулка, 6 – крышка, 7 – пружина,
8 – винт регулировочный, 9 – шток.

Правила эксплуатации и обслуживания предохранительных клапанов

Предохранительные клапаны следует устанавливать непосредственно на штуцерах защищаемого аппарата в вертикальном положении. Допускается установка клапана на трубопроводе на специальном штуцере. Гидравлическое сопротивление этого короткого участка трубопровода от аппарата до места установки клапана должно быть минимальным. Между клапаном и аппаратом не должно быть запорной арматуры. Рабочую среду, сбрасываемую предохранительным клапаном, желательно отводить в безопасное место через выпускную трубу. Все штуцера и трубопроводы должны иметь внутренний диаметр трубопровода не меньше D_y клапана.

Для обеспечения надежной работы предохранительных клапанов их необходимо по графику периодически подвергать ревизии. Так, на аппаратах периодического действия с нейтральными средами при температуре среды не выше 250 °С ревизию проводят не реже одного раза в 12 месяцев. При температуре свыше 250 °С на аппаратах с агрессивными продуктами и с сжиженными газами ревизию клапанов производят не реже одного раза в 3 месяца. На аппаратах непрерывного действия, содержащих среды, вызывающие коррозию запорных органов не более 0,2 мм в год, при отсутствии возможности залипания и примерзания запорных органов, ревизию клапанов допускается проводить не реже одного раза в 12 месяцев, а если скорость коррозии превышает 0,2 мм в год, то ревизия должна проводиться не реже одного раза в 6 месяцев при условии, что в этот период обеспечивалась нормальная работа клапана, например, периодическим принудительным открыванием с периодичностью, предусмотренной инструкцией.

Выполненные работы по ревизии и ремонту клапана оформляются специальным актом или о них делается соответствующая запись в техническом паспорте клапана, после чего клапан должен быть опломбирован.

Наиболее характерными дефектами при эксплуатации клапанов являются утечка среды, пульсация, износ поверхностей.

Появление утечки технологической среды может наступить в результате загрязнения, повреждения уплотнительных поверхностей затвора, нарушения соосности деталей, деформаций или ослабления пружины.

Пульсация – это колебания клапана при его срабатывании. Причиной пульсации является чрезмерно большая пропускная способность клапана или сужение сечения подводящего и отводящего трубопроводов (например, за счет отложений на стенках).

Повреждения уплотнительных поверхностей восстанавливают механической обработкой и последующей притиркой.

При всех ремонтах и ревизиях клапана особое внимание должно уделяться контролю качества пружины: обнаружению поверхностных дефектов – трещин, вмятин, забоин, рисок, определению перпендикулярности торцов пружины по отношению к ее оси.

Одной из обязательных операций при ревизии пружины является ее трехкратное сжатие статической нагрузкой до максимального прогиба, при

этом пружина не должна давать остаточных деформаций. Максимальным прогибом считается такое сжатие, при котором зазор между витками на участке среднего витка пружины не превышает 0,1 диаметра проволоки, из которой изготовлена пружина.

При регулировании клапана на заданное давление срабатывания в качестве контрольной среды рекомендуется использовать воздух, если клапан предназначен для работы на газах, и воду, если клапан предназначен для работы на жидкостях.

Обратные клапаны и обратные затворы

В процессе эксплуатации трубопроводов могут возникать ситуации, например при аварийной остановке насоса или компрессора, технологическом снижении давления, разрыве трубопровода и т. д., когда поток изменит направление движения на обратное, что, в свою очередь, может привести к авариям. Для того чтобы исключить эту возможность, устанавливаются обратные клапаны и обратные затворы, которые пропускают рабочую среду только в одном нужном направлении. Они являются автоматическими самодействующими предохранительными устройствами.

На рис. 3.13, 3.14 показана конструкция обратного подъемного клапана типа 15ч16бр и обратного поворотного затвора типа 19ч16бр. Узел затвора, состоящий из золотника 3 и седла 4 – основной узел обратных подъемных клапанов и поворотных затворов, которые устанавливаются на трубопроводе с учетом движения среды «под золотник». Это направление указывается стрелкой на корпусе.

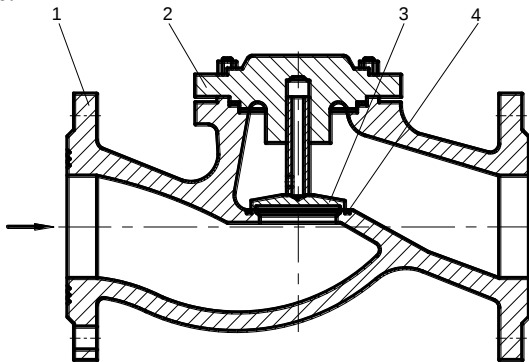


Рис. 3.13. Обратный клапан подъёмный 16ч16бр:

1 – корпус, 2 – крышка, 3 – золотник, 4 – седло.

Обратные подъемные клапаны устанавливаются на горизонтальных участках трубопроводов, поворотные затворы – на вертикальных и горизонтальных трубопроводах.

Преимущество поворотных затворов заключается в том, что они имеют меньшее гидравлическое сопротивление. Подъемные клапаны более просты и

надежны. Они могут быть угловыми и проходными, причем для их изготовления можно использовать корпуса запорных клапанов (вентилей).

Чтобы придать обеим рассматриваемым конструкциям большую чувствительность и ускорить посадку золотника на седло, они могут снабжаться пружинами или дополнительными грузами.

В нижней части полого хвостовика 3 у подъемных клапанов сверлится небольшое отверстие, сообщающее полости направляющего отверстия крышки 2 и полости клапана. Это препятствует торможению (демфированию) золотника при подъеме.

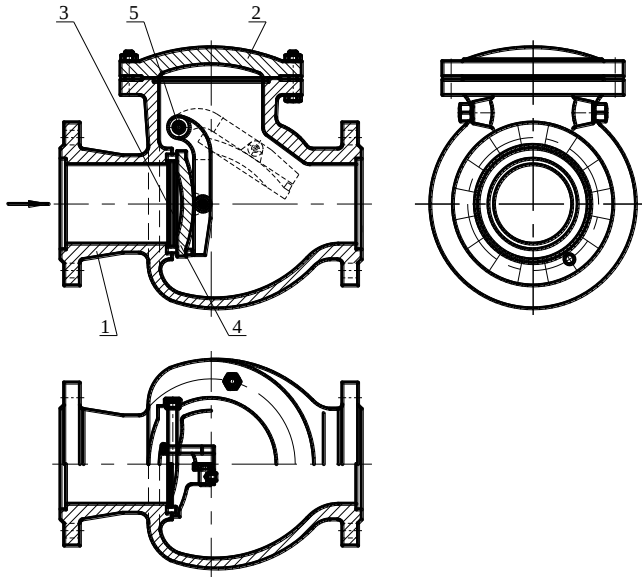


Рис.3.14. Обратный поворотный затвор 19ч166р:

1 – корпус, 2 – крышка, 3 – диск с золотников 4 – седло, 5 – ось.

Конденсатоотводчики

Эффективное использование тепла конденсирующегося водяного пара, который применяется в качестве теплоносителя, возможно лишь при надежной системе отвода образующегося при этом конденсата. Одновременный отвод пара должен исключаться. Для этих целей используются конденсатоотводчики, относящиеся к фазоразделительной арматуре. В паре всегда содержатся неконденсирующиеся примеси: воздух, диоксид углерода и другие газы, которые также должны удаляться конденсатоотводчиками.

Классификация конденсатоотводчиков

По принципу действия конденсатоотводчики делятся на три группы:

- поплавковые (механические), приводимые в действие уровнем конденсата;
- термостатические, приводимые в действие температурой конденсата;
- термодинамические, приводимые в действие движущимся потоком пара или конденсата.

Кроме того, конденсатоотводчики подразделяются на клапанные и бесклапанные. Все выше перечисленные – клапанные.

К бесклапанным конденсатоотводчикам относятся, например, сопловые конденсатоотводчики. Они просты по конструкции, имеют небольшую производительность, применяются редко. В данном пособии – не рассматриваются.

Наиболее часто применяются конденсатоотводчики поплавкового типа. По конструкции они могут быть с открытым поплавком, с открытым опрокинутым поплавком и закрытым поплавком. На рис. 3.15 (а) показан конденсатоотводчик с открытым поплавком. В корпусе 1 расположен поплавок 2, представляющий собой открытый стакан, в днище которого закреплен вертикальный шток 3, имеющий по высоте направляющие ребра и золотник 4, закрепленный на его верхнем конце. При изготовлении золотник притирается к седлу, установленному в крышке 5. В этом же узле крышки закрепляется трубка 6, которая служит направляющей для штока и, будучи всегда погруженной нижним концом в конденсат, находящийся в стакане, образует гидрозатвор, препятствующий проскоку пара при отводе конденсата из горшка. Вес поплавка можно регулировать подбором сменного кольца, укладываемого на дно стакана.

При пуске конденсатоотводчика конденсат заполняет корпус, поплавок всплывает, золотник упирается в посадочную поверхность седла и перекрывает его выходное отверстие. Конденсат, заполнив корпус, начинает переливаться в стакан поплавка. Когда в нем наберется определенное количество конденсата, поплавок начинает тонуть (опускаться вниз) одновременно со штоком, золотник которого открывает отверстие в седле. За счет разности давлений в горшке и отводящем трубопроводе конденсат по трубке 3 выдавливается из стакана в отводную линию. Так как конденсата из конденсатоотводчика убывает значительно больше, чем в это время образуется, то поплавок снова всплывает, выпускное отверстие в клапане перекрывается и рабочий цикл отвода конденсата повторяется.

Клапан 7 служит для стравливания воздуха из полости конденсатоотводчика при его пуске, кран 8 нужен для опорожнения при ремонтах.

Термостатические конденсатоотводчики по типу используемого термостата делятся на две группы: сифонные, сифон которых заполнен сильно-расширяющейся жидкостью при изменении температуры, и с биметаллическими термопластинами.

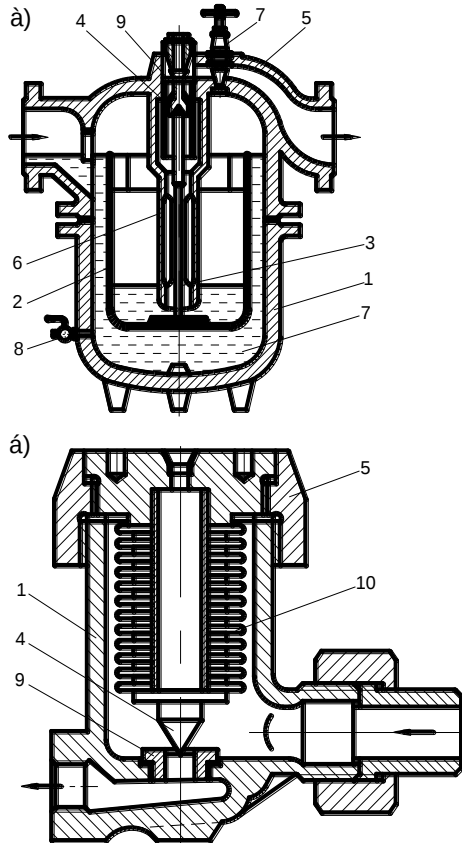


Рис. 3.15. Конденсатоотводчики: а) поплавковый фланцевый 45ч9нж, б) термостатический 45кч6бр.

1 – корпус, 2 – поплавок, 3 – шток, 4 – золотник, 5 – крышка, 6 – трубка, 7 – ёмкость, 8 – кран, 9 – седло, 10 – сифон

На рис. 3.15 (б) показан термостатический конденсатоотводчик, запорный орган которого (золотник) 4 управляется термостатом сифонного типа 10. Принцип действия этого устройства основан на использовании свойства тел расширяться при нагревании и разности температур пара и конденсата. При поступлении в конденсатоотводчик пара, всегда имеющего температуру выше температуры конденсата, жидкость в сифоне нагревается, расширяется, сифон удлиняется и золотник 4 перекрывает отверстие в седле 9. После конденсации пара температура снижается, сифон укорачивается и отверстие в седле открывается для выхода конденсата в дренажную емкость.

Используя в термостате вместо сиффона биметаллическую пластину, которая, изгибается при нагреве, можно управлять положением золотника.

В термодинамических конденсатоотводчиках диск, перекрывающий входное и выходное отверстия, поднимается только при изменении перепада давления в камерах, в которых расположены эти отверстия.

Экономия тепловой энергии при отводе конденсата возможна лишь при точном знании требований, предъявляемых к конденсатоотводчикам, выборе конструкции, соответствующей условиям их работы, правильной установке и эксплуатации, включающей профилактический осмотр и своевременный ремонт.

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкции и принцип работы определенных видов запорной арматуры, выполнить их эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип работы арматуры.
3. Указать возможные неисправности при эксплуатации запорной арматуры.
4. Описать состав технического обслуживания и ремонта арматуры.
5. Составить вывод по работе.

Лабораторная работа №4

Теплообменные аппараты

Цель работы: изучение классификации, устройства и принципа работы теплообменных аппаратов различных типов.

Введение

Теплообменные аппараты – это устройства, предназначенные для нагревания, охлаждения или для изменения агрегатного состояния теплоносителя. В теплообменных аппаратах один теплоноситель (теплоотдающий) передает теплоту другому теплоносителю (тепловоспринимающему). Если передача теплоты происходит при изменении агрегатного состояния какого-либо теплоносителя (кипение, конденсация), то его температура в процессе теплопередачи остается постоянной. В остальных случаях температуры теплоносителей в теплообменных аппаратах изменяются.

Повышение эффективности теплообменников увеличением оребрения и увеличением коэффициентов теплоотдачи на уже развитых поверхностях приводит к увеличению стоимости и массы радиаторов, усложняет процесс их изготовления, увеличивает аэродинамическое сопротивление и засоряемость. Представляет интерес разработка таких способов повышения эффективности радиаторов, при которых влияние перечисленных недостатков минимально.

Основными материалами для производства теплообменников служат цветные металлы: медь, олово, латунь, алюминиевые сплавы. В настоящее время усилился интерес к разработкам теплообменников из полимерных материалов, обладающих высокой технологичностью, возможностью автоматизации производства, малым весом, дешевизной, коррозионной стойкостью и стойкостью к воздействию химически агрессивных сред. Применение пластмасс экономит остродефицитные материалы, многие ее виды допускают повторное использование.

Классификация теплообменных аппаратов

По принципу работы теплообменные аппараты могут быть разделены на две большие группы: поверхностные и контактные.

В поверхностных теплообменных аппаратах теплоносители (горячий и холодный) омывают поверхность твердой стенки или тела. Поверхностные теплообменные аппараты разделяются на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных теплообменных аппаратах обменивающиеся теплотой теплоносители 1 и 2 протекают одновременно и передача теплоты происходит через разделяющую их стенку 3 (рис. 4.1, а). Теплообмен происходит за счет конвекции и теплопроводности стенки, а если хоть один из теплоносителей является излучающим газом, то и за счет теплового излучения.

В регенеративных теплообменных аппаратах (рис. 4.1, б, в) одна и та же поверхность теплообмена 3 через определенные промежутки времени омыва-

ется то горячим 1, то холодным 2 теплоносителями. Сначала поверхность отбирает теплоту от горячей среды и нагревается, затем поверхность отдает теплоту холодной среде. Таким образом, в регенеративных теплообменных аппаратах теплообмен всегда происходит в нестационарных тепловых условиях, тогда как рекуперативные теплообменные аппараты большей частью работают в тепловом режиме.

В качестве поверхности теплообмена в регенеративных теплообменных аппаратах используется теплоаккумулирующая насадка, элементы которой, например в виде шаров, решеток, колец, образуют каналы сложной формы для прохождения теплоносителей. Поверхность теплообмена регенеративного теплообменного аппарата может быть выполняющей переключаящейся (рис. 4.1, б) через определенный промежуток времени или вращающейся (рис. 4.1, в).

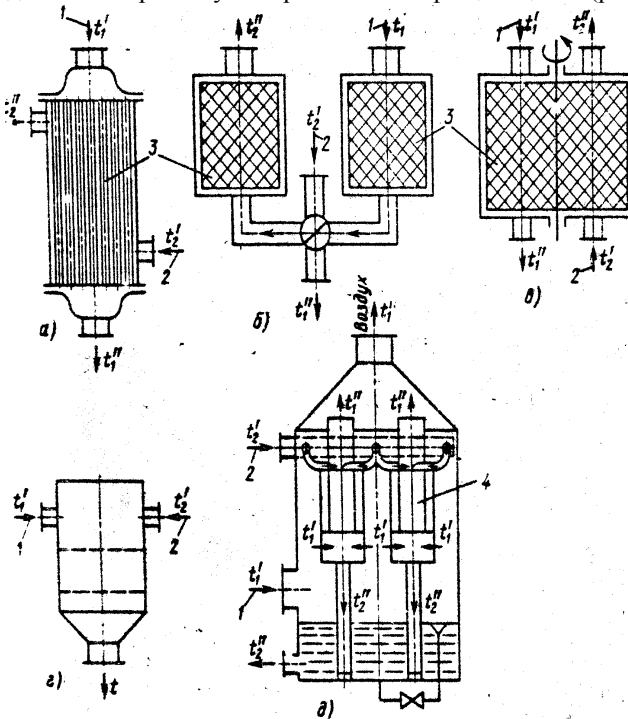


Рис. 4.1. Типы теплообменных аппаратов

В контактных теплообменных аппаратах передача теплоты от греющего теплоносителя к нагреваемому происходит при их непосредственном контакте.

Контактные теплообменные аппараты делятся на смесительные и барботажные. В аппаратах смесительного типа (рис. 4.1, г) нагреваемый 2 и греющий 1 теплоносители перемешиваются. В барботажных аппаратах греющий теплоноситель прокачивается через нагреваемый, или наоборот, не сме-

шиваясь с ним. В барботажном теплообменном аппарате (рис. 4.1, д) горячий воздух 1 направляется в теплообменные элементы 4, по внутренней цилиндрической поверхности закрученным тонким слоем стекает вода 2. Воздух, проходя через слой воды, разрывает ее поток на отдельные пленки и при непосредственном контакте с водой охлаждается.

В теплообменных аппаратах нагревание одного теплоносителя происходит за счет охлаждения другого. Исключение составляют теплообменники с внутренним тепловыделением, в которых теплота выделяется в самом аппарате и идет нагрев теплоносителя. Это разного рода электронагреватели и реакторы.

Если в теплообменных аппаратах теплота от горячего теплоносителя рассеивается излучением, то такие теплообменные аппараты называются излучателями или радиационными теплообменниками.

По роду теплоносителей различают теплообменные аппараты: жидкость-жидкость; пар-жидкость; газ-жидкость; пар-пар; пар-газ; газ-газ.

В зависимости от изменения агрегатного состояния теплоносителей теплообменные аппараты делят: без изменения агрегатного состояния; с изменением агрегатного состояния одного теплоносителя; с изменением агрегатного состояния обоих теплоносителей.

В теплообменных аппаратах могут протекать различные процессы теплообмена: нагрев; охлаждение; кипение; конденсация; вымораживание; ректификация и т.д. В зависимости от этих процессов теплообменные аппараты можно называть: подогреватели, охладители, испарители, конденсаторы и т.д.

По характеру движения теплоносителей относительно теплопередающей поверхности теплообменные аппараты делят на два типа: с естественной и с принудительной циркуляцией теплоносителей.

К теплообменным аппаратам с естественной циркуляцией относятся испарители, выпарные аппараты, водогрейные котлы, у которых теплоноситель движется благодаря разности плотностей жидкости и образующейся парожидкостной смеси в трубах циркуляционного контура.

К теплообменным аппаратам с принудительной циркуляцией относятся, например, рекуперативные теплообменники, в которых теплоносители движутся за счет внешних сил, создаваемых компрессорами, насосами, вентиляторами.

По роду теплового режима теплообменные аппараты могут быть со стационарными и нестационарными процессами теплообмена. Рекуперативные теплообменные аппараты в основном работают в установившемся стационарном режиме, а регенеративные – в нестационарном режиме.

По виду (конфигурации) поверхности теплообмена рекуперативные теплообменные аппараты делят: кожухотрубные с прямыми гладкими трубами; кожухотрубные с U-образными трубами; кожухотрубные с оребренными трубами; секционные «труба в трубе»; змеевиковые; спиральные; пластинчатые; пластинчато-ребристые; ламельные.

Регенеративные теплообменные аппараты классифицируются по виду насадки. При низких температурах в криогенных регенеративных теплообменных аппаратах в качестве элементов насадки часто используется алюминиевая гофрированная лента (рис. 4.2, *а*). При намотке на диски двух лент образуется извилистые каналы, конфигурация которых способствует интенсификации процессов теплообмена при течении по ним теплоносителей. При умеренных и низких температурах устанавливают сетчатую насадку (рис. 4.2, *б*) из материала с высокой теплопроводностью (медь, латунь).

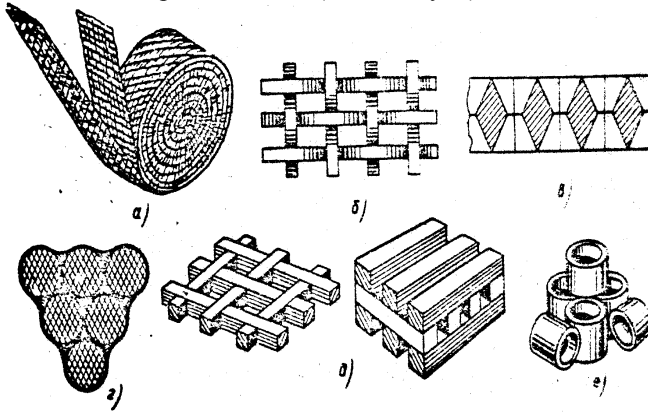


Рис. 4.2. Типы насадок регенеративных теплообменных аппаратов

Для уменьшения гидравлического сопротивления в низкотемпературных регенеративных теплообменных аппаратах применяется насадка (рис. 4.2, *в*), металлические пластины и каналы которой в виде усеченной пирамиды равномерно распределены по всему сечению. В криогенных и металлургических теплообменных аппаратах используют насадку в виде шариков или гранул диаметром 6...12 мм (рис. 4.2, *г*), изготовленных из материала с большой теплоемкостью и обладающих повышенной жаростойкостью (оксиды алюминия, магнезия, кварцит и т.п.). В высокотемпературных регенеративных теплообменных аппаратах насадка часто выполняется решетчатой из огнеупорного кирпича разной формы (рис. 4.2, *д*). В некоторых аппаратах насадку делают из колец Рашига (рис. 4.2, *е*).

По способу компенсации температурных удлинений рекуперативные теплообменные аппараты классифицируют: без компенсации (жесткая конструкция); с компенсацией упругим элементом (полужесткая конструкция); с компенсацией в результате свободных удлинений (нежесткая конструкция) (рис. 4.3).

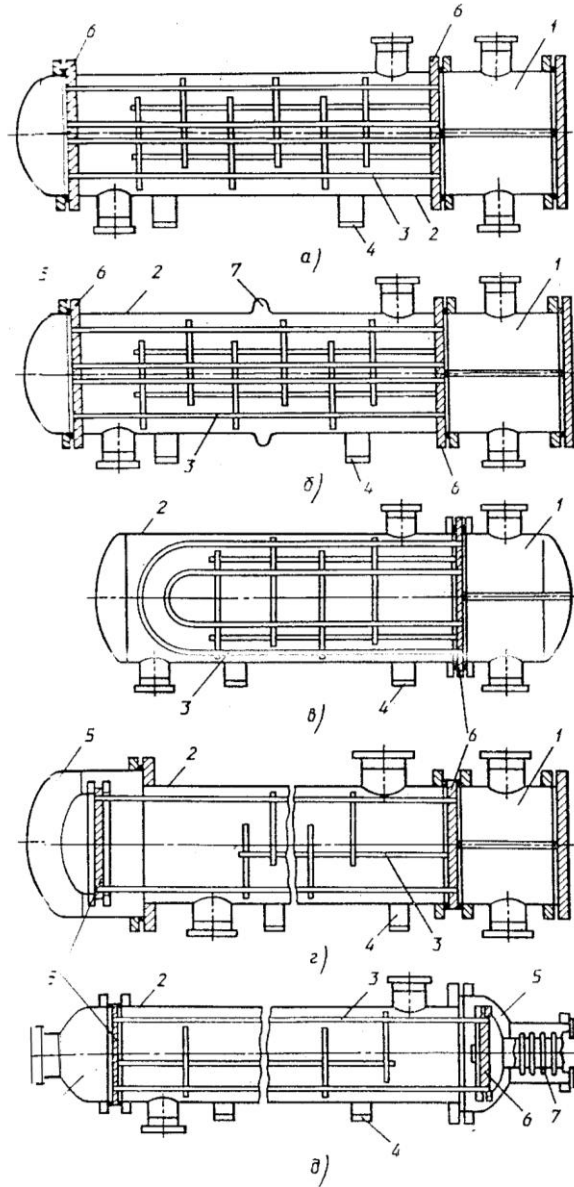


Рис. 4.3. Схемы рекуперативных теплообменных аппаратов с различными способами компенсаций температурных удлинений:

1 – распределительная камера; 2 – кожух; 3 - теплообменные трубы;
4 – опора; 5 – задняя крышка; 6 – трубная решетка; 7 – компенсатор.

В теплообменных аппаратах жесткой конструкции (рис. 4.3, *а*) теплообменные трубы 3 и кожух 2 соединены жестко с трубными решетками 6.

Для полужесткой конструкции (рис. 4.3, *б*) на кожухе 2 предусмотрены специальные компенсаторы температурных деформаций, выполненные в виде гофр. Такие аппараты применяют в тех случаях, когда возникающие температурные напряжения в трубах и кожухе вследствие разности температур не превышают допустимые.

В теплообменных аппаратах нежесткой конструкции (рис. 4.3, *в, г, д*) трубы и кожух могут свободно перемещаться относительно друг друга благодаря применению U-образных труб (рис. 4.3, *в*) подвижной (плавающей) трубной решетки 6 (рис. 4.3, *г*) и подвижной трубной решетки 6 и компенсатора 7 на ней (рис. 4.3, *д*). Подробные конструкции теплообменников с плавающей трубной решеткой и с U-образными трубами представлены на рис. 4.3.1, *а, б*.

По виду кожуха, ограничивающего теплопередающую поверхность, рекуперативные теплообменные аппараты делят следующим образом: с коробчатым кожухом; кожухотрубные; кожухотрубные с компенсатором на кожухе; не имеющие ограничивающего кожуха (оросительные аппараты).

По ориентации теплопередающей поверхности в пространстве теплообменные аппараты могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными.

По принципу монтажа теплообменные аппараты разделяют на автономные, навешенные и встроенные.

По оборудованию и обвязке можно выделить аппараты: не имеющие оборудования и обвязки; покрытые изоляцией; оборудованные контрольно-измерительной аппаратурой и приборами автоматики и т.д.

По числу теплоносителей (потоков) теплообменные аппараты разделяют на двух, трех и многопоточные (рис. 4.4). В отдельных случаях к многопоточным теплообменным аппаратам относят системы, состоящие из нескольких теплообменников обычного типа, соединенных циркулирующим промежуточным теплоносителем 3 (рис. 4.4, *в*). Многопоточные теплообменные аппараты имеют обычно чередующиеся слои компактной теплообменной поверхности (рис. 4.4, *г*).

В прямоточном теплообменнике теплоносители движутся параллельно друг другу в одном направлении. При значительном изменении температуры теплоносителей располагаемая разность температур в прямоточных теплообменных аппаратах используется плохо. В этом случае, если эффективность передачи теплоты является определяющим фактором при проектировании, такого типа теплообменные аппараты не применяют. Однако температура теплопередающей стенки в таких теплообменных аппаратах оказывается более однородной, чем при противотоке.

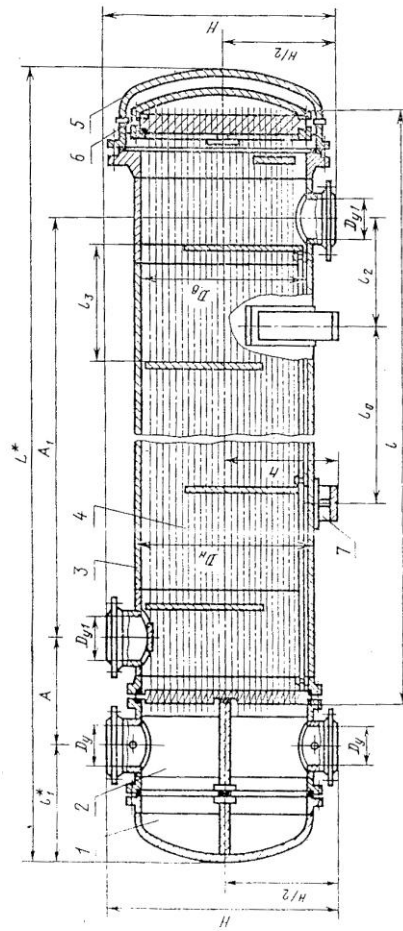


Рис. 4.3.1, а Теплообменник ТП горизонтальный:

1 - крышка распределительной камеры; 2 - распределительная камера; 3 - кожух; 4 - теплообменная труба; 5 - крышка кожуха; 6 - крышка плавающей головки; 7 - опора.

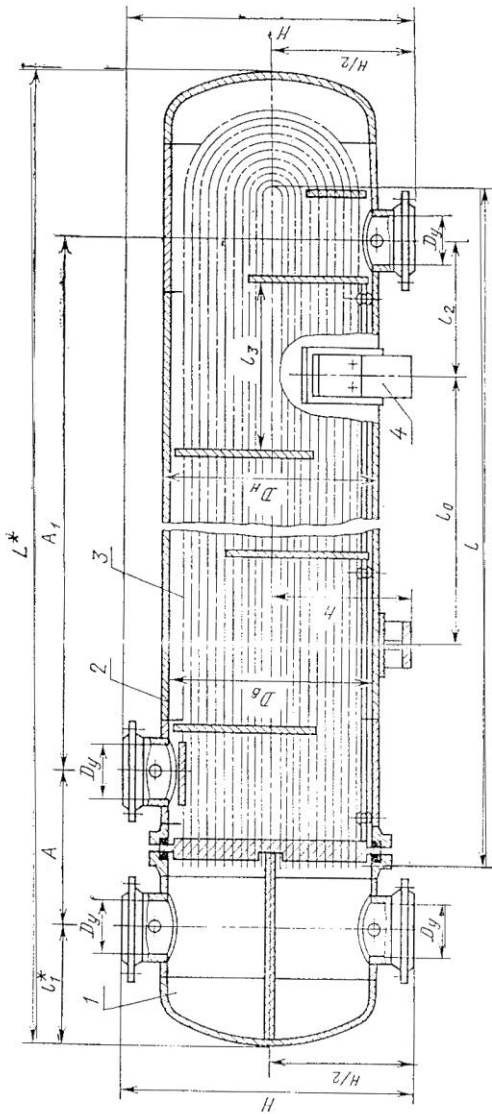


Рис. 4.3.1, б Теплообменник ТУ горизонтальный:

1 - распределительная камера; 2 - кожух; 3 - теплообменная труба;
4 - опора.

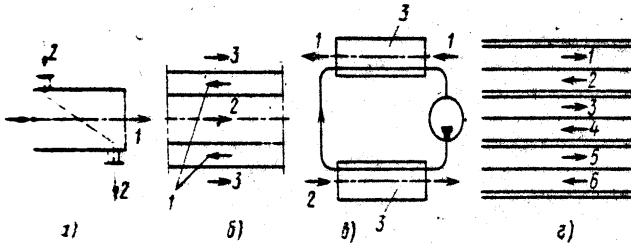


Рис. 4.4. Схемы ТА в зависимости от числа теплоносителей:

а – двухпоточный; б – трехпоточный; в – с промежуточным теплоносителем; г – многопоточный; 1-6 – потоки.

В зависимости от взаимного направления потоков теплоносителей различают схемы (рис. 4.5): прямоток, противоток, перекрестный ток, смешанный ток, а также сложные схемы тока.

Следует подчеркнуть, что перечисленные схемы теплоносителей представляют собой некую идеализацию реальных ситуаций. На практике никогда нельзя достигнуть течения теплоносителя, совпадающего с идеальным вариантом.

В противоточных теплообменных аппаратах два теплоносителя движутся параллельно друг другу, но в противоположных направлениях. Противоточные теплообменные аппараты наиболее эффективны: они обеспечивают наилучшее использование располагаемой разности температур; в них также может быть достигнуто наибольшее изменение температуры каждого носителя.

В теплообменных аппаратах перекрестного тока два теплоносителя движутся под прямым углом друг к другу. Например, первый поток может течь внутри труб, собранных в пучок, тогда как второй поток может двигаться в пространстве между трубами в направлении, в целом перпендикулярном оси этих труб. По эффективности эти теплообменные аппараты занимают промежуточное положение между теплообменным аппаратом с прямотоком и теплообменником с противотоком. Если же исходить из практических соображений, связанных с подачей теплоносителей к поверхностям теплообмена, то такой теплообменник сконструировать проще, чем указанные выше.

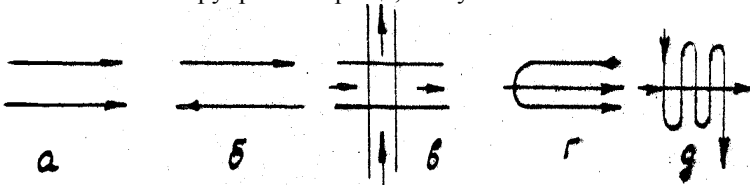


Рис. 4.5. Схемы тока теплоносителей:

а – прямоток; б – противоток; в – перекрестный ток; г – смешанный ток; д – многократный перекрестный ток.

Теплообменники со смешанным током и с многократным перекрестным током можно рассматривать как компромиссный вариант между требованием высокой эффективности аппарата и простотой конструкции. Чем больше число ходов в таком теплообменнике, тем ближе он по экономичности к противоточному варианту.

Схемы однократного и многократного перекрестного тока можно подразделить на три группы в зависимости от наличия градиента температуры теплоносителя в сечениях теплообменных аппаратов, нормальных к направлению движения теплоносителя. Если, например, жидкость протекает внутри труб, а газообразный теплоноситель движется перпендикулярно к трубному пучку и может свободно перемешиваться в межтрубном пространстве, то его температура в сечении, нормальном к направлению движения газа, выравнивается. Поскольку жидкость проходит внутри труб отдельными не перемешиваемыми между собой потоками, в сечении пучка всегда имеет место градиент температур. В рассмотренном примере газообразный теплоноситель считается идеально перемешанным, а жидкость внутри труб абсолютно не перемешанной. С этой точки зрения возможны следующие три случая: оба теплоносителя идеально перемешаны и градиенты их температур в поперечном сечении равны нулю; один из теплоносителей идеально перемешан, а другой абсолютно не перемешан; оба теплоносителя абсолютно не перемешаны.

В регенеративных теплообменных аппаратах, где греющий и нагреваемый теплоносители проходят через насадку поочередно, реализуются две схемы движения – прямоток и противоток. Эффективность аппарата при противотоке теплоносителей выше, чем при прямотоке.

Типовые конструкции теплообменных аппаратов

Кожухотрубные теплообменные аппараты

Кожухотрубные аппараты изготавливают жесткой, полужесткой и нежесткой конструкции; одно- и многоходовыми; прямоточными, противоточными и поперечноточными; горизонтальными и вертикальными. Они просты по конструкции и, как правило, имеют невысокую стоимость.

Кожухотрубные теплообменные аппараты состоят из пучка труб 3 (рис. 4.3), жестко закрепленных в трубных решетках 6, кожуха 2, крышек 5 с фланцами, образующими распределительные камеры, опор 4 и перегородок, расположенных в межтрубном пространстве. На кожухе и крышках установлены технологические патрубки и штуцера. В зависимости от назначения аппарата конструкция основных узлов и используемые материалы могут существенно отличаться.

Наиболее компактные трубные пучки рекуперативных теплообменных аппаратов изготавливают из гладких труб наружным диаметром d и толщиной стенки 6х0,5; 8х1; 10х1; 12х1 мм, однако очистка таких труб затруднена. Поэтому в теплообменных аппаратах машиностроения используют трубы 14х1; 14х1,5; 16х0,75; 16х1; 16х1,5; 19х1; 22х2; 24х1; 32х4 и др.

Оребренные трубы применяют в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), в охладителях надвучного воздуха (ОНВ) дизелей, в охладителях масла (ОМ) дизелей и газотурбинных двигателей, в холодильных конденсаторах и аппаратах специального назначения.

Для изготовления трубных пучков теплообменных аппаратов используются следующие материалы: медь, латунь, медно-никелевые сплавы, сталь, алюминий и алюминиевые сплавы.

Закрепление концов труб (рис. 4.6). Наиболее распространенным способом закрепления труб 2 в отверстиях трубных решеток 1 является вальцовка – прочноплотное соединение, образующееся в результате деформации трубы в радиальном направлении под действием силы, создаваемой вальцовочным инструментом. Для обеспечения осевой прочности пучка в отверстиях трубных решеток 1 выполняют как минимум две кольцевые расширительные канавки 3 шириной 2...3,5 мм и глубиной 0,4...1 мм. При конической развальцовке входного участка труб 2 снижается коэффициент местного гидравлического сопротивления, а следовательно, вероятность эрозии на этом участке ввиду предотвращения отрыва потока на входной кромке.

Передовой технологией закрепления труб является их взрывное вальцевание, при котором взрывной заряд помещается внутри трубы в толще трубной решетки. С помощью детонатора заряд подрывается, энергия взрыва затрачивается на деформацию трубы в радиальном направлении, в результате чего даже толстостенные трубы образуют с трубной решеткой весьма прочное соединение, которое трудно получить обычной вальцовкой. При этом требования к геометрии трубы отверстия существенно снижаются, что позволяет использовать способ взрывного вальцевания при ремонте труб. Применяют также электрогидравлический способ развальцовки труб.

Если трубы подвержены вибрации, циклическому нагреву, большим перепадам давления или на концах труб может возникнуть тепловой удар, то концы труб следует приваривать к трубной решетке. Шов 4 может быть утопленным, валиком и валиком с канавкой, канавкой (применяется при тонких трубных решетках), а также зубчатым.

Сварка взрывом отличается от взрывной вальцовки мощностью заряда, требует конической раззенковки отверстия трубной решетки с наружной стороны и большой высоте выступающей части трубы над трубной решеткой. Хотя соединение получается прочное, в зазоре труба – коническое отверстие возможно возникновение щелевой коррозии.

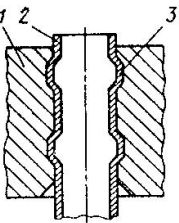
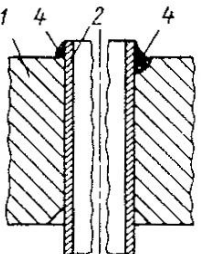
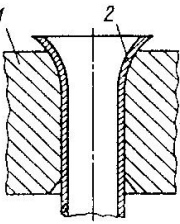
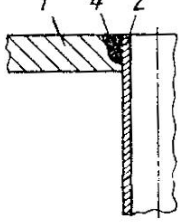
Способ	Схема	Способ	Схема
Вальцовка при использовании двух кольцевых расширительных канавок в трубной решетке		Сварка: со швом, валиком и валиком с канавкой	
Коническая развальцовка входного участка трубы		со швом канавкой	

Рис. 4.6. Способы закрепления концов труб в трубной решетке

При использовании автоматической сварки плотным швом развальцовочные канавки не выполняются.

Лучшее соединение получается, когда передняя часть трубы взрывом приваривается к трубной решетке, а остальная часть трубы развальцовывается взрывом по толщине трубной решетки.

В кожухотрубных теплообменных аппаратах один теплоноситель течет внутри труб, другой – в межтрубном пространстве. При поперечном обтекании пучков труб достигается более интенсивная теплоотдача, чем при продольном. Для крепления труб с целью предотвращения их прогибов и вибраций, а также для организации поперечного обтекания труб в межтрубном пространстве и получения более высокой скорости жидкости внутри кожуха устанавливают поперечные перегородки (рис. 4.7). Наиболее распространены односторонние сегментные перегородки 1 и 2 (рис. 4.7, а), перегородки типа диск-кольцо 3 и 4 (рис. 4.7, б) и двусторонние сегментные перегородки 5 и 6 (рис. 4.7, в). Кроме того, применяют перегородки, перекрывающие трубный пучок, сегментные перегородки тройного расположения и др. Двусторонние сегментные перегородки и сегментные перегородки тройного расположения применяют с целью уменьшения потерь давления, при этом может быть получено снижение Δp на 60...100 %.

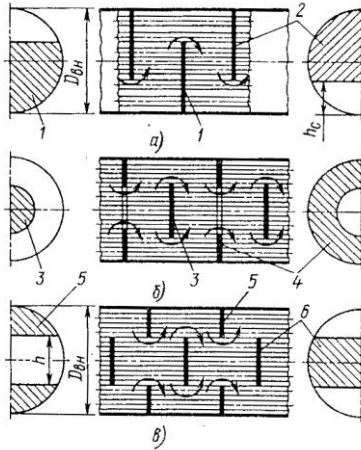


Рис. 4.7. Типы поперечных перегородок

Вырез в перегородке, через который теплоноситель перетекает из одного отсека в другой, называется окном перегородки. Отношение высоты h окна к внутреннему диаметру $D_{вн}$ кожуха для односторонних сегментных перегородок обычно $h/D_{вн} = 0,15 \dots 0,40$, для двусторонних сегментных перегородок $h/D_{вн} = 0,20 \dots 0,30$.

Уплотнение трубного пучка в кожухе теплообменных аппаратов осуществляется различными способами (рис. 4.8). Для предотвращения вредных перетечек через радиальные зазоры кожух-поперечная перегородка, снижающих иногда перепад температур теплоносителей вдвое, по периферии перегородок наиболее часто устанавливают уплотнительные сегменты из упругодеформируемого материала, например, из маслбензостойкого пластика. Толщина уплотняющего листа составляет $2 \dots 5$ мм, напуск за пределы наружного диаметра — $10 \dots 15$ мм. Один из вариантов крепления уплотнительных сегментов показан на рис. 2.2, а.

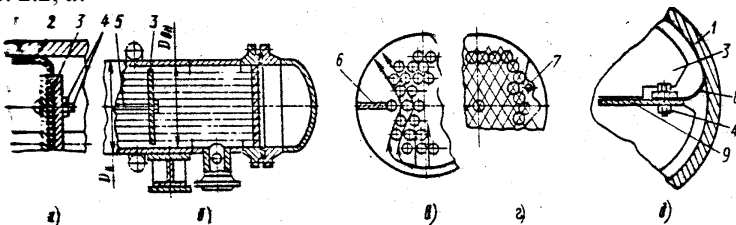


Рис. 4.8. Схемы уплотнения трубного пучка в кожухе теплообменного аппарата:

- 1 — кожух; 2 — пластиковый лист; 3 — поперечная перегородка;
4 — крепежные детали; 5 — стяжной стержень; 6 — уплотняющий лист;
7 — вытеснитель; 8 — пакет уплотняющих полос; 9 — продольная перегородка.

При сборке теплообменных аппаратов на операции надвигания кожуха 1 на трубный пучок края уплотнительного пластикового листа 2 отгибаются в соответствии с формой кожуха и уплотняют зазор.

Для повышения жесткости трубного пучка и нужного дистанционирования поперечных перегородок используется система стяжных стержней 5 и распорок (рис. 4.8, б). Круглые металлические стержни 5 одним концом ввинчивают в неподвижную трубную решетку, а другим закрепляют на последней перегородке 3 контргаиками.

Для предотвращения протечек теплоносителя между кожухом аппарата и трубным пучком в окружном направлении устанавливают закрепленные на перегородках уплотняющие листы 6 (рис. 4.8, в) или вытеснители (рис. 4.8, г).

В некоторых теплообменных аппаратах используют перегородки продольного типа, с помощью которых реализуется схема смешанного тока или, если число ходов в трубах совпадает с числом продольных ходов в межтрубном пространстве, схема противотока. При закрепленных трубных решетках продольную перегородку иногда приваривают к кожуху. Но при использовании U-образных труб или подвижных трубных решеток продольную перегородку обычно приваривают к неподвижной трубной решетке. В этом случае зазоры между продольной перегородкой и кожухом необходимо тщательно уплотнять. Типичный пример такого уплотнения – пакет 8 уплотняющих полос из коррозионно-стойкой стали (рис. 4.8, д).

Для повышения скорости теплоносителя в трубах в полости крышек теплообменных аппаратов устанавливают перегородки (рис. 4.9). При этом создается большое число ходов – участков теплообменной поверхности, в пределах которых теплоноситель в трубах движется в одном и том же направлении от одной трубной решетки к другой.

В двухходовом теплообменном аппарате в полости крышки со стороны неподвижной решетки выполняется одна перегородка, обеспечивающая течение жидкости через половину труб в одном направлении. Пройдя этот ход жидкость поворачивает в полости противоположной крышки и возвращается через другую половину труб к выходному патрубку, который так же, как и входной, расположен на крышке со стороны неподвижной трубной решетки. Изменяя число перегородок в полостях крышек теплообменных аппаратов, можно получить требуемое число ходов теплоносителя в трубах. Перегородки или приваривают, или отливают как одно целое с крышками.

В кожухотрубных теплообменных аппаратах трубы могут быть расположены по сторонам шестиугольников или, что одно и то же, равносторонних треугольников или по концентрическим окружностям (табл. 4.1).

В теплообменных аппаратах с кожухом коробчатого типа компоновка труб может быть: коридорной (по вершинам квадратов); шахматной, частным случаем которой является треугольная. При такой компоновке труб при одном и том же шаге можно разместить наибольшее число труб на единице площади; с неравномерным поперечным шагом.

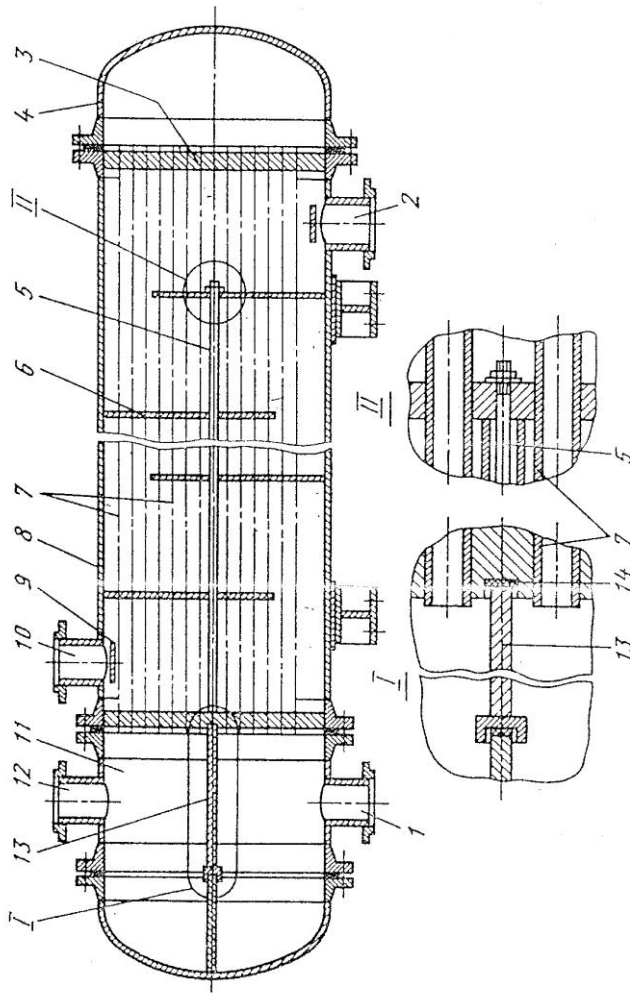
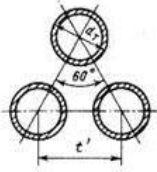
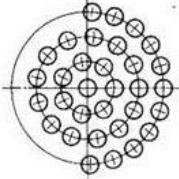
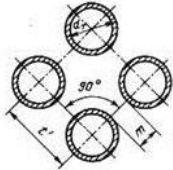
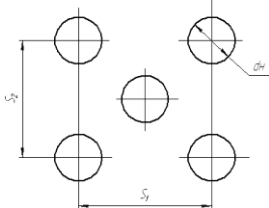
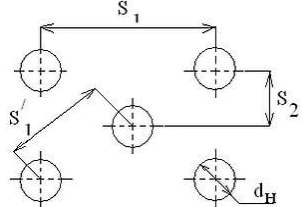


Рис. 4.9. Теплообменник горизонтальный многоходовой по трубам с кожухом диаметрами от 325 до 1200 мм:
 I; 12 - штуцера ввода и вывода теплоносителей из трубного пространства; 2; 10 - «-» из межтрубного пространства; 3 - трубные решетки; 4 - крышки; 5 - стяжки; 6 - поперечные перегородки; 7 - теплообменные трубки; 8 - кожух; 9 - отбойник; 11 - распределительные камеры; 13 - перегородка.

Таблица 4.1. Компоновка труб в трубном пучке

Компоновка	Схема
По вершинам равносторонних треугольников	
По концентрическим окружностям	
По вершинам квадратов	
Шахматная: с равномерным шагом	
Шахматная: с неравномерным шагом	

Площадь трубной решетки одноходового по трубам рекуперативного ТА, необходимая для размещения труб, при треугольной разбивке

$$F_{mp} = 0,866 \cdot S^2 n_{mp} \quad (4.1)$$

В многоходовых теплообменниках площадь трубной решетки больше рассчитанной по формуле (4.1) вследствие установки перегородок в крышках и наличия мест, где трубы не установлены по технологическим условиям. Это учитывается коэффициентом заполнения трубной решетки $\Psi_3 = 0,7 \dots 0,85$. Чем больше ходов в аппарате, тем меньше значение Ψ_3 . В аппаратах с U-образными трубами принимается $\Psi_3 = 0,6 \dots 0,65$. Внутренний диаметр кожуха многоходового аппарата

$$D_{вн} = 1,1 \sqrt{F_{mp} / \Psi_3} \quad (4.2)$$

Толщина трубной решетки рассчитывается из условий прочности, но при вальцовке труб должна быть $\delta_{\min} \geq 5 + 0,125d$ для стальной трубы и $\delta_{\min} \geq 10 + 0,2d$ для медной. При иных способах закрепления труб из других материалов минимальная толщина трубной решетки должна быть равна диаметру труб с учетом допуска на коррозию. Материал трубных решеток и труб выбирают одновременно с точки зрения стойкости к контактной электрохимической коррозии. В случае применения сплавов меди особенно важно избежать образования гальванических пар.

В последнее время получили распространение трубные решетки из углеродистой или низколегированной стали, покрытые плакирующим слоем требуемого металла со стороны межтрубного пространства или полости крышки и слоем из органического материала с противоположной стороны. Органические покрытия наносят прежде всего на поверхности, контактирующие с охлаждающей водой. Наиболее часто используют эпоксидную, спеченную феноловую или эпоксифеноловую смолу.

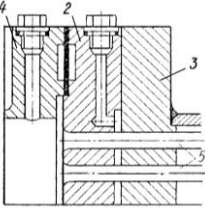
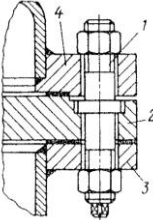
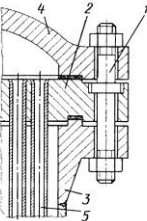
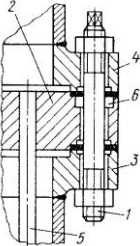
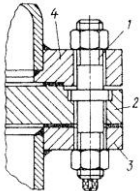
Типичные способы соединения неподвижных трубных решеток с фланцем кожуха показаны в табл. 4.2.

Направление течения теплоносителей. Вопрос о том, какой из теплоносителей направлять в трубы или межтрубное пространство, должен решаться с точки зрения не только интенсификации теплообмена, но и надежности работы теплообменного аппарата. Теплоноситель с более высоким давлением направляют в трубное пространство, чтобы не делать толстостенный кожух; теплоноситель, способный вызвать коррозию металла, следует направлять по трубам во избежание коррозии корпуса аппарата; более нагретый теплоноситель следует пропускать по трубам, так как при этом уменьшаются потери тепла в окружающую среду.

Для повышения теплоотдачи и уменьшения загрязнений скорость нужно увеличивать, а для снижения потерь давления и предотвращения нежелательных последствий вибрации труб – уменьшать.

Структура условного обозначения теплообменников представлена на рис. 4.10.

**Таблица 4.2. Типичные способы соединения неподвижных
трубных решеток с фланцем кожуха**

Схеме соединения	Характеристика	Область применения
	Двойные трубные решетки. Трубы 5 в развальцованы в обеих трубных решетках 2 и 3. Нижняя трубная решетка 3 приварена к кожуху и является его фланцем.	Рекуперативные ТА в межтрубном пространстве которых циркулирует находящаяся под высоким давлением агрессивная или загрязняющая окружающую среду жидкость
	Соединения типа выступ (с обеих сторон трубной решетки 2) – впадина (во фланцах 3 кожуха и 4 крышки).	При предъявлении повышенных требований к надежности соединения.
	Соединения типа шип – паз	То же
	Соединения типа выступ – впадина с кольцевой проточкой 6 во фланцах 3 и 4 к трубной решетке 2.	То же
	Соединения типа выступ (в трубной решетке 2) – впадина (во фланце 4 крышки). Уплотнение обеспечивается с помощью шпилек.	Рекуперативные ТА с давлением внутри кожуха менее 1 МПа.

Защита от электрохимической коррозии и коррозионной эрозии. Электрохимическая коррозия возникает в случае применения материалов с различными значениями электрохимического потенциала, работающих на морской воде. Морская вода выступает в качестве электролита металлов с разными потенциалами. При электрохимической реакции происходят окисление металла и восстановление водорода или кислорода, выделение металлов из раствора и т.п.

В случае разрушения защитной пленки на поверхности металла вследствие поперечных касательных напряжений, возникающих при большой скорости течения, а также на входе в трубы при существенной турбулизации потока (воздействие на конец трубы) проявляется коррозионная эрозия в виде язвин.

Для защиты от коррозии и кавитационной эрозии помимо поддержания требуемых температуры и скорости потока применяют протекторы, которые при электрохимическом контакте двух различных металлов являются анодом, а защищаемые металлы – катодом. Материал анода (протектора) должен иметь более низкий электрический потенциал, чем материал, из которого изготовлены крышки, трубы и трубные решетки, тогда анод растворяется в электролите (разрушается) быстрее, насыщая электролит (в данном случае морскую воду) соединениями, замедляющими коррозию и эрозию.

Секционные теплообменные аппараты и аппараты «труба в трубе»

Секционные теплообменники состоят из нескольких последовательно соединенных секций (рис. 4.11, а), представляющих собой трубный пучок 2, размещенный в кожухе 1, выполненном из трубы большего диаметра. При малых тепловых нагрузках секция может выполняться не из пучка труб, а из одной трубы 2, т.е. по типу «труба в трубе» (рис. 4.11, б).

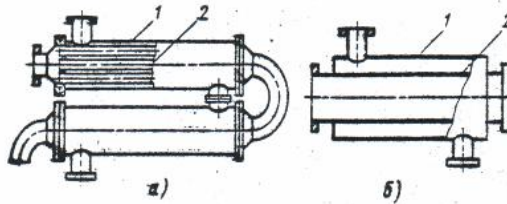


Рис. 4.11. Схема теплообменника:

а – секционного; б – типа «труба в трубе».

Секционные аппараты типа «труба в трубе» могут быть разборными и неразборными, одно-, двух- и многопоточными. Аппараты типа «труба в трубе» делятся на аппараты жесткой конструкции, полужесткой с линзовыми компенсаторами, с сальниками на одном или обоих концах труб. Внутренние трубы могут иметь продольные ребра или поперечную винтовую накатку. Аппараты такого типа используются обычно для нагревания или охлаждения газообразных сред.

Разборные одно- и многопоточные секционные аппараты типа «труба в трубе» находят широкое применение в различных отраслях промышленности при температуре $-40...+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $1,6...10\text{ МПа}$.

Путем последовательного или параллельного соединения отдельных секций можно получить теплообменные аппараты с различной площадью поверхности теплообмена. К недостаткам рассматриваемых теплообменников относятся их относительно высокая стоимость и большой расход металла на единицу площади поверхности теплообмена.

Секционные теплообменники и аппараты типа «труба в трубе» применяют также для подогрева жидкого топлива с небольшим расходом. Они удобны для размещения, из них легко можно скомпоновать аппарат требуемой поверхности нагрева.

Змеевиковые теплообменные аппараты

Конструкция змеевикового теплообменника показана на рис. 4.12, а. Аппарат имеет корпус 1, в котором размещен змеевик 3 или система змеевиков. Витки змеевика ориентированы по винтовой линии. При большой площади поверхности теплообмена змеевики по длине набирают из нескольких секций. Во избежание прогибов труб при большом числе витков и большом диаметре навивки каждый виток закрепляют болтами на стойках.

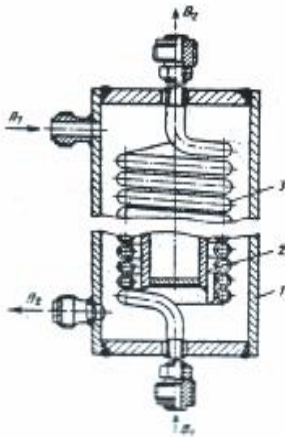


Рис. 4.12, а. Змеевиковый теплообменник:

1 – корпус; 2 – стакан; 3 – змеевик из трубы.

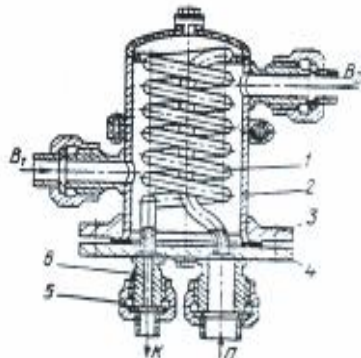


Рис. 4.12, б. Змеевиковый подогреватель:

1 – змеевик; 2 – корпус; 3 – фланец корпуса; 4 – крышка; 5 – накидная гайка; 6 – штуцер; B_1 и B_2 – вход и выход воды; П – вход пара; К – выход конденсата.

В змеевиковом теплообменнике, изображенном на рис. 4.12, *а*, пар вводится в верхнюю часть корпуса через вход Π_1 со скоростью до 50 м/с, выходит снизу через выход Π_2 . Охлаждающая жидкость поступает в змеевик снизу через вход B_1 и движется в нем со скоростью до 2 м/с, выходит через выход B_2 . Разность давлений теплоносителей в змеевиковых аппаратах может достигать 10 МПа.

Змеевиковые теплообменники используют так же, как водонагреватели. Змеевиковый водонагреватель (рис. 4.12, *б*) состоит из змеевика 1, расположенного в корпусе 2, и крышки 4, к которой прикреплен змеевик.

Трубчатые теплообменные аппараты для охлаждения воздуха и охлаждаемые воздухом

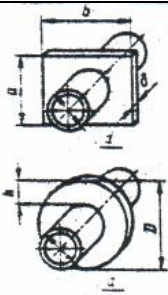
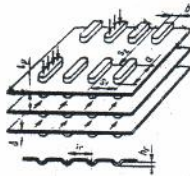
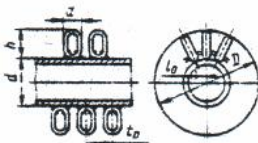
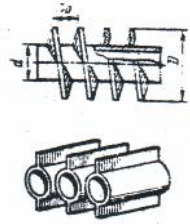
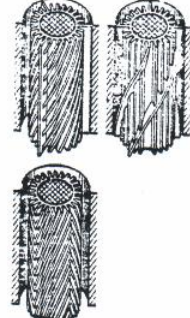
К этой группе теплообменных аппаратов могут быть отнесены охладители надувочного воздуха (ОНВ) дизелей, радиаторы транспортных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), радиаторно-вентиляторные установки (РВУ) для охлаждения компримирующего газа, масла и воды газомотокомпрессоров, аппараты воздушного охлаждения (АВО) трансформаторных подстанций, химических и нефтехимических производств, бытовые и промышленные кондиционеры и другие аппараты, трубные пучки которых скомпонованы из труб с высокими, соизмеримыми с радиусом трубы, ребрами.

Благодаря оребрению площадь теплообменной поверхности, контактирующей с воздухом, может быть увеличена в 7...20 раз и больше, что компенсирует относительно невысокие коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха. Трубные пучки рассматриваемых теплообменных аппаратов чаще всего имеют прямоугольную форму, воздух направляется в развитое наружным оребрением труб межтрубное пространство.

Наружные ребра круглых или овальных труб могут иметь различные конфигурации (табл. 4.3).

В современных конструкциях ОНВ применяют моно- и биметаллические трубы (рис. 4.13) диаметром $D = 25...29$ мм, а также биметаллические трубы с разрезными ребрами. Продольные разрезы на ребрах с последующим отгибом лепестков обеспечивают многократное разрушение пограничного слоя, формирующегося на ребрах, и способствует выравниванию поля коэффициентов теплоотдачи по поверхности ребра. По результатам анализа экспериментальных данных выявлено, что размер, радиус и направление отгиба лепестков мало влияют на интенсификацию теплообмена. Число разрезов целесообразно принимать не более 20, а их глубину – меньше 3...4 мм. Экспериментально установлено увеличение значений коэффициентов теплоотдачи в пучках с разрезными ребрами на 20...35 %, а аэродинамического сопротивления – на 20...90 % по сравнению со значениями в пучках из таких же труб с неразрезными ребрами.

Таблица 4.3. Схемы оребрения труб теплообменных аппаратов

Оребрение	Трубы	Схема	Область применения
Поперечными квадратными ребрами	Круглая		ОНВ, воздухоохладители установок кондиционирования воздуха.
Круглыми ребрами			ОНВ, АВО, воздухоохладители установок кондиционирования воздуха, калориферы
Коллективное	Круглая или овальная		Радиаторы транспортных двигателей
Проволочное	То же		ОНВ, охладители масла силовых трансформаторов
Винтовая накатка или непрерывное спиральное	Круглая		ОНВ, АВО, РВУ, радиаторы, калориферы
Плавниковыми ребрами			Трубы паровых котлов
Полизональными ребрами			ТА специального назначения

Разрез (вид А) типа «интеграл» и «полуинтеграл» дают наибольшее увеличение сопротивления, разрезы по винтовой линии – самое низкое (14...35 %). Необходимо отметить, что разрезание ребер оправдано только в том случае, когда в аппарате используется незагрязненный воздух. В противном случае разрезы ребер задерживают пыль, сажу, масло, золу и другие загрязняющие вещества, в результате межреберные щели труб быстро заполняются асфальтоподобной массой, которую трудно удалить даже с помощью современных химических средств очистки.

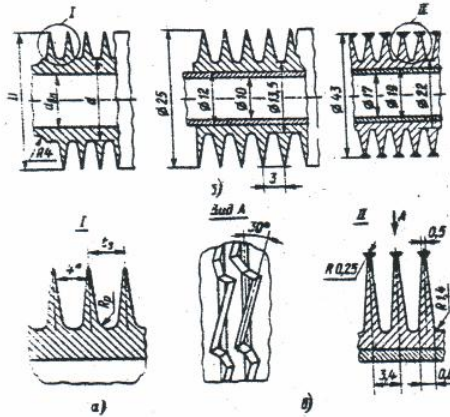


Рис. 4.13. Трубы, оребренные винтовой накаткой:

а – монометаллические; б – биметаллические; в – биметаллические с разрезными ребрами

В РВУ и АВО чаще используются биметаллические трубы диаметром $D = 43, 49$ и 56 мм. Это связано с тем, что рассматриваемые аппараты имеют большое фронтальное сечение и экономически целесообразно развивать площадь поверхности межтрубного пространства (увеличивать коэффициент $\Psi_{ор}$ оребрения), что можно достичь применением ребер большой высоты.

Следует отметить, что с ростом высоты ребра значения коэффициентов теплоотдачи снижаются. Так, увеличение значения коэффициента оребрения на 40 % при $\Psi_{ор} > 15$ сопровождается уменьшением значения коэффициента теплопередачи на 12 %. Однако интенсивность роста площади поверхности теплопередачи при повышении $\Psi_{ор}$ выше, чем снижение коэффициента теплопередачи, что в итоге улучшает характеристику аппарата. Оптимальная высота ребра составляет $(0,4...0,8)d$, причем меньшие значения рекомендованы для труб с $d > 15$ мм. Оптимальный шаг ребер $t_p = (0,2...0,4)d$, однако при накатке такой шаг не всегда может быть получен. Обычно $t_p = 3...4$ мм. Уменьшение шага ребер приводит к снижению конвективной теплоотдачи, так как у основания ребер образуются зоны со слабой циркуляцией потока.

На интенсивность теплообмена в межтрубном пространстве значительное влияние оказывают материал и толщина ребра. Чем выше теплопроводность ребра, тем больше коэффициент теплопередачи. При достижении значения теплопроводности сплавов алюминия $\lambda_p = 140 \text{ Вт/(м·К)}$ тем роста α при увеличении λ_p замедляется. Поэтому применение биметаллических труб с оребренной рубашкой из сплавов АМцМ или АД-1 оправдано с точки зрения теплообмена и улучшения массовых характеристик аппарата. При высоте ребра $h_p = 5 \dots 16 \text{ мм}$ оптимальная его толщина $0,5 \text{ мм}$. Увеличение числа заходов винтовой линии накатных ребер от одного до трех не влияет на теплоотдачу и аэродинамическое сопротивление пучков.

Технология изготовления биметаллических труб существенным образом влияет на термическое сопротивление в месте контакта двух металлов, которое необходимо учитывать в тепловом расчете. Установлено, что не следует добиваться большого уменьшения высоты неровностей сопрягаемых поверхностей, поскольку существенное влияние оказывает усилие выпрессовки, которое должно составлять $(4 \dots 7) \cdot 10^3 \text{ Н}$. Снижение термического сопротивления контакта может быть достигнуто применением прокладок из медной, свинцовой или оловянной фольги толщиной $0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$.

Интенсификация теплообмена в трубчатых теплообменниках

Следствием интенсификации процессов теплообмена является увеличение коэффициента теплопередачи, который при чистых поверхностях теплообмена определяется коэффициентами теплоотдачи со стороны греющего и нагреваемого теплоносителей. Во многих случаях физико-химические свойства применяемых теплоносителей существенно различаются, не одинаковы их давление и температура, коэффициенты теплоотдачи. Так, значение коэффициента теплоотдачи со стороны воды $\alpha = 2000 \dots 7000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, со стороны газового теплоносителя $\alpha \leq 200 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, для вязких жидкостей $\alpha = 100 \dots 600 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. Очевидно, что интенсификация теплоотдачи должна осуществляться со стороны теплоносителя, имеющего малое значение коэффициента теплоотдачи. При одинаковом порядке значений коэффициентов теплоотдачи теплоносителей интенсификация теплоотдачи может осуществляться с обеих сторон теплообмена, но с учетом эксплуатационных и технических возможностей.

Обычно интенсификация теплоотдачи связана с ростом затрат энергии на преодоление увеличивающихся гидравлических сопротивлений. Поэтому одним из главных показателей, характеризующих целесообразность интенсификации теплоотдачи в теплообменниках, является ее энергетическая эффективность. Повышение интенсивности теплоотдачи должно быть соизмеримо с увеличением гидравлических сопротивлений.

Применяют следующие основные способы интенсификации теплообмена:

- конструирование шероховатых поверхностей и поверхностей сложной формы, способствующих турбулизации потока в пристенном слое;

- использование турбулизирующих вставок в каналах;
- увеличение площади поверхности теплообмена путем оребрения;
- воздействие на поток теплоносителя электрическим, магнитным и ультразвуковым полями;
- турбулизацию пристенного слоя путем организации пульсаций скорости набегающего потока и его закрутки;
- механическое воздействие на поверхность теплообмена путем ее вращения и вибрации;
- применение зернистой насадки как в неподвижном, так и в псевдоподвижном состоянии;
- добавление в теплоноситель твердых частиц или газовых пузырьков.

Возможность и целесообразность применения того или иного способа интенсификации для конкретных условий определяются техническими возможностями и эффективностью этого способа.

Одним из наиболее широко используемых способов интенсификации теплообмена (повышения теплового потока) является оребрение наружной поверхности труб при условии направления в межтрубное пространство теплоносителя с низким значением коэффициента теплоотдачи.

Схемы некоторых устройств, используемых для интенсификации теплоотдачи в трубах, приведены в табл. 4.4.

Применяют лопаточные завихрители, прерывистые шнековые завихрители с различной формой центрального тела и др. Следует отметить, что одновременно с увеличением коэффициента теплоотдачи на 30...40 % имеет место повышение гидравлического сопротивления в 1,5-2,5 раза. Объясняется это тем, что диссипация энергии при распадении масштабных вихревых структур (они возникают при закрутке потока) существенно превышает выработку турбулентности – на подпитку ослабевающих вихрей нужен непрерывный подвод энергии извне.

Установлено, что при турбулентном и переходном режимах течения целесообразно интенсифицировать турбулентные пульсации не в ядре потока, а в пристенном слое, где турбулентная теплопроводность мала, а плотность теплового потока максимальна, потому что на этот слой приходится 60...70% располагаемого температурного напора «стенка-жидкость». Чем больше число Re , тем на более тонкий слой целесообразно воздействовать.

Перечисленные рекомендации могут быть реализованы путем создания каким-либо способом, например, накаткой чередующихся плавно очерченных кольцевых выступов на внутренней поверхности гладкой трубы. Для капельных жидкостей с $Re = 2...80$ наилучшие результаты были получены при $t_{вс}/d_{вн} = 0,25...0,5$ и $d_{вс}/d_{вн} = 0,94...0,98$. Так, при $Re = 10^5$ теплоотдача возрастает в 2,0-2,6 раза при росте гидравлического сопротивления в 2,7-5,0 раз по сравнению с теплоотдачей гладкой трубы. Для воздуха хорошие результаты получены при $t_{вс}/d_{вн} = 0,5...1,0$ и $d_{вс}/d_{вн} = 0,9...0,92$: в переходной области те-

чения ($R_c = 2000 \dots 5000$) отмечен рост теплоотдачи в 2,8...3,5 раза при увеличении сопротивления в 2,8-4,5 раза (сравнивается с гладкой трубой).

Методы механического воздействия на поверхность теплообмена и воздействия на поток электрического, ультразвукового и магнитного полей изучены еще недостаточно.

Таблица 4.4. Схемы устройств, применяемых для интенсификации теплоотдачи

Оребрение Закрученная лента		Оребрение Труба с винтообразными плавными очерченными выступами	
Непрерывный шнековый завихритель		Витая труба	
Кольцевой канал типа диффузор-конфузор		Чередующиеся плавные очерчен- ные кольцевые выступы на внутренней по- верхности глад- кой трубы	

Пластинчато-ребристые теплообменники

Этот тип теплообменников относится к числу наиболее компактных аппаратов благодаря развитой поверхности теплообмена в ограниченном объеме. Пластинчато-ребристые теплообменные аппараты выпускаются с ребрами различной конфигурации. Наиболее распространены ребристые поверхности, образующие треугольные и прямоугольные каналы для движения теплоносителей (рис. 4.14).

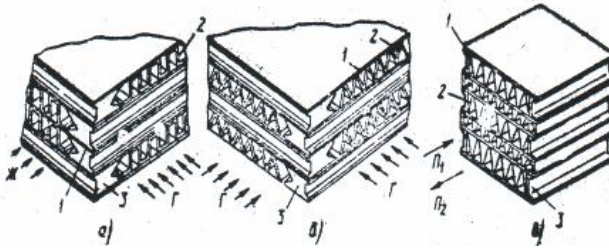


Рис. 4.14. Пластинчато-ребристые поверхности теплообмена:
 а – с прямоугольными каналами; б и в – с треугольными каналами;
 1 – пластина; 2 – насадка; 3 – проставка; Ж – жидкость; Г – газ;
 Π_1 и Π_2 – вход и выход потока.

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкцию и принцип работы теплообменного аппарата, выполнить его эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип его работы.
3. Указать возможные неисправности при работе теплообменного аппарата.
4. Описать состав технического обслуживания и ремонта теплообменного аппарата.
5. Составить вывод по работе.

Лабораторная работа № 5 ***Вращающиеся барабанные аппараты***

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия вращающихся барабанных аппаратов.

Введение

В большинстве химических производств перерабатываются мелкодисперсные сыпучие материалы со специфическими свойствами (слеживаемость, низкая газопроницаемость, пыление), часто затрудняющими проведение химических реакций и процессов тепло- и массообмена. При выборе оборудования для переработки таких материалов, после анализа функциональных, экономических, экологических, эргономических и других критериев, предпочтение чаще всего отдают машинам барабанного типа, таким, как вращающиеся печи, сушилки, грануляторы, холодильники, кристаллизаторы и т.д.

Широкое распространение машин барабанного типа в химической и других отраслях промышленности обусловлено следующими их преимуществами:

- высокая единичная производительность;
- простота конструкции; динамическая уравновешенность;
- универсальность;
- возможность реализации периодических и непрерывных процессов;
- широкий диапазон обрабатываемых материалов с различными физико-химическими свойствами;
- высокая экономичность вследствие рациональности конструкции и возможности совмещения в одной машине нескольких технологических процессов;
- высокая надежность конструкции;
- возможность полной механизации и автоматизации.

Принцип действия машины барабанного типа заключается в том, что ее рабочая камера (полный цилиндр, установленный на опорных станциях) совершает вращательное движение вокруг продольной оси.

Классификация вращающихся барабанных аппаратов

Машины барабанного типа классифицируются по виду реализуемых технологических процессов, конструктивным особенностям, непрерывности или периодичности работы, способу тепло- и массопереноса и другим критериям.

В соответствии с классификацией по наличию внутренних устройств барабана и частоте его вращения можно выделить следующие группы:

1. Медленно вращающиеся барабаны без внутренних устройств;
2. Быстровращающиеся барабаны без внутренних устройств;
3. Медленно вращающиеся барабаны с внутренними устройствами.

К вращающимся барабанным аппаратам первого типа относятся: вращающиеся печи химических производств, вращающиеся барабанные холодильники.

К аппаратам второго типа относятся: грануляторы-аммонизаторы, грануляторы для саж и т.д.

К аппаратам третьего типа относятся барабанные сушилки, сушилки гранулирующие и т.д.

Целью такой классификации является возможность группировать машины различного функционального назначения, для которых идентичны методы расчета основных конструктивных и технологических параметров.

Рабочая угловая скорость ω медленно вращающегося барабанного аппарата не превышает $0,2\omega_{кр}$ ($\omega_{кр}$ – критическая угловая скорость). Быстро вращающиеся барабанные аппараты работают в диапазоне рабочих угловых скоростей $(0,2 \div 0,6 \omega_{кр})$.

Типовые конструкции вращающихся барабанных аппаратов Вращающиеся барабанные печи

Эти машины предназначены для проведения химических и тепломассообменных процессов с сыпучим мелкодисперсным материалом. В процессе обработки в печах материал может изменять свой химический состав и физико-химические свойства.

Основные факторы, определяющие производительность и скорость прохождения процесса, а следовательно, и экономичность:

уровень температурного поля, поверхность контакта в гетерогенной системе, время контакта.

Обжиг материала происходит при непосредственном его контакте с газом-теплоносителем. В качестве теплоносителей используется топочный газ, образующийся при горении твердого, жидкого или газообразного топлива.

Каталогами предусмотрены печи с наружным диаметром футеровки $D_H = 1,0 \div 3,5$ м и длиной барабана $L = 8 \div 70$ м.

В таблице 5.1 дана индексация и основные параметры ряда прямоточных и противоточных вращающихся барабанных печей.

Индексация печей, например: ПВ-1,2-20П или ПВ 1,2-20Л означает: печь (П) вращающаяся (В) с условным диаметром 1,2 м и рабочей длиной 20 м; вращение барабана правое (П) или левое (Л).

Корпус печи (рис. 5.1) представляет собой цилиндрический сварной барабан (1), футерованный изнутри огнеупорным кирпичом (2). Корпус сварен из отдельных царг. Продольные сварные швы не должны быть продолжением один другого; их следует смещать на величину трехкратной толщины листа, но не менее, чем на 100 мм. В процессе работы поперечное сечение барабана не представляет собой правильного кольца постоянного радиуса. Сплюсывание барабана вызвано собственной массой и массой футеровки, оказывающим давление на нижнюю половину корпуса. Для сохранения формы поперечного

сечения барабана устанавливают кольца жесткости толщиной 20-30 мм, шириной 120-150 мм. Внутренний диаметр кольца принимают с учетом температурной деформации корпуса; шаг установки колец 2-3 мм. Корпус смонтирован под углом α к горизонтали, с уклоном в сторону разгрузки материала.

Таблица 5.1
Основные характеристики барабанных печей

Условное обозначение печей	Наружный диаметр, D_n , мм	Длина L, мм	Мощность электродвигателя N_2 , кВт	Номинальная частота вращения барабана n , об/мин.
ПВ 1-8-П ПВ 1-16-П	1000	8000 16000	3,8; 4,8; 6	1,62; 2,14; 3,20
ПВ 1.2-12П ПВ 1.2-16П	1200	12000 16000		
ПВ 1.6-16П ПВ 1.6-20П	1600	16000 20000		0,81; 1,07; 1,62
ПВ 2.2-18П	2200	18000	7,1; 8,3; 10,5	
ПВ 2.2-3,5		35000	8; 13; 15; 20	0,68; 1,01; 1,34; 2,02
ПВ 2.5-20 ПВ 2.5-40 ПВ 2.5-40-Л	2500	20000 40000 40000	17; 24; 28; 36	
ПВ 2.8-35 ПВ 2.8-45 ПВ 2.8-55	2800	35000 45000 55000	24; 37; 5	
ПВ 3-35 ПВ 3-45 ПВ 3-60	3000	35000 45000 60000	55; 75	
ПВ 3.2-50 ПВ 3.2-60	3200	50000 60000	55; 75	
ПВ 3.5-70	3500	70000	50; 75; 100; 50	

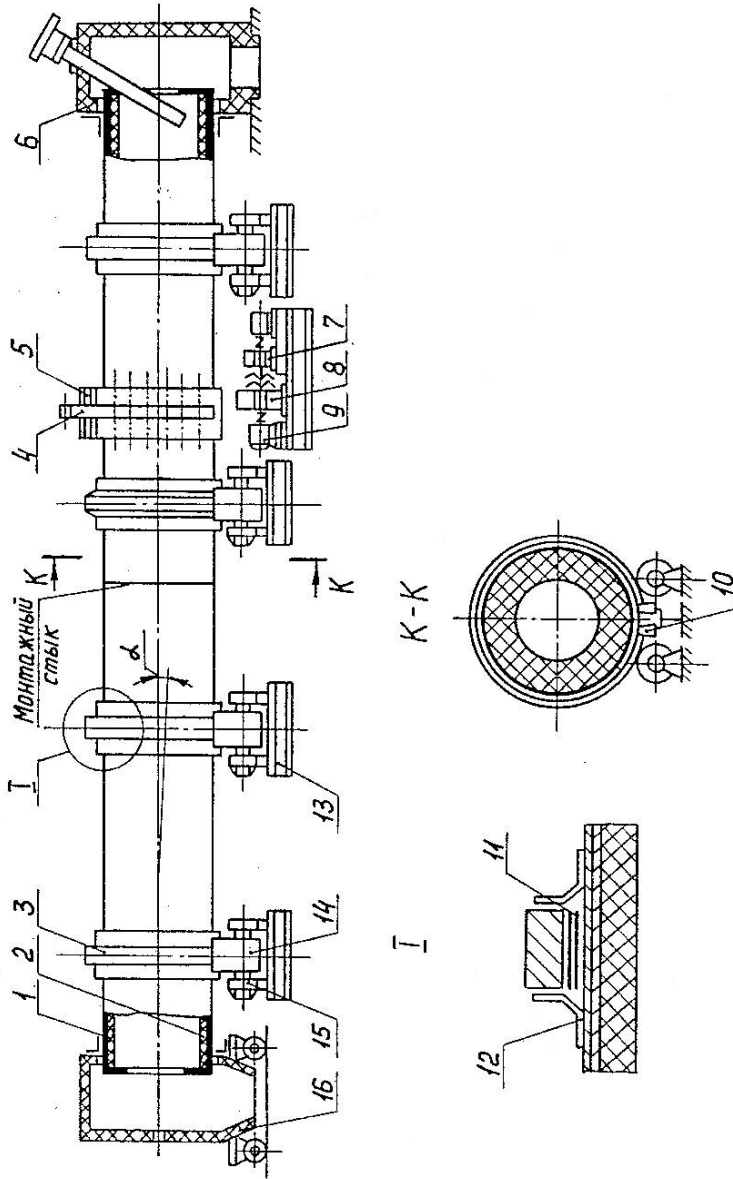


Рис. 5.1. Вращающаяся барабанная печь:

- 1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – бандаж; 4 – зубчатый венец; 5 – рессоры; 6 – загрузочная камера; 7 – вспомогательный привод; 8 – редуктор; 9 – электродвигатель; 10 – упорные ролики; 11 – прокладка; 12 – башмаки; 13 – станина; 14 – опорный ролик; 15 – подшипник; 16 – разгрузочная камера.

Футеровка барабана предохраняет металл от перегрева и абразивного изнашивания, уменьшает потери тепловой энергии в окружающую среду. В зависимости от характера реакции, pH среды в печи и температуры выбирают материал футеровки. В качестве футеровки используют стандартный огнеупорный клиновидный кирпич. Бандажи (3) вращающихся печей свободно надеты и зафиксированы от осевого смещения башмаками (упорами) (12); соосность корпуса и бандажа обеспечивает набор прокладок (11), установленных в каждом башмаке. Свободно надетые бандажи не создают в корпусе печи дополнительных местных краевых напряжений, являющихся результатом разных температурных деформаций корпуса и бандажа. При такой схеме закрепления бандаж может проворачиваться относительно корпуса печи, что ведет к увеличению внутреннего диаметра бандажа. Критической величиной, требующей остановки печи и установки дополнительных прокладок, является отставание бандажа от корпуса на 5 мм за один оборот.

Иногда на вращающихся химических и цементных печах устанавливают жестко закрепленные (приваренные) бандажи. В этом случае жесткость корпуса в опорных сечениях значительно увеличивается, а температурные напряжения не достигают критических величин благодаря высокой теплопроводности металла и, следовательно, небольшому перепаду температур в узле.

Опоры печи воспринимают массу корпуса с обрабатываемым материалом, обеспечивают возможность вращения корпуса и предотвращают его смещение в радиальном и осевом направлениях. На сварной станине (13) закреплены две стальные литые плиты, которые связывают корпуса подшипников (15) в один блок. Опорный ролик (14) напрессован на ось, которая на роликоподшипниках закреплена в корпусах. Каждый ролик своей нижней частью опущен в ванну с охлаждающей водой. Ближайшая к приводу опорно-упорная станция (сечение К-К, рис. 1.1) снабжена упорными роликами (10), исключаящими смещение корпуса в осевом направлении. Опорная станция около загрузочной камеры дополнительно снабжена массивным упором-предохранителем, предотвращающим смещение корпуса печи в осевом направлении и обеспечивающим его остановку в аварийных случаях.

Печь получает вращение от моторно-редукторной группы, в которую входят электродвигатель (9), редуктор (8) основного привода, подвешивающая шестерня. Вращающиеся химические печи могут иметь вспомогательный привод (7), состоящий из двигателя, редуктора и зубчатой муфты переключения. Этот двигатель имеет аварийную систему подачи энергии. Вспомогательный привод при отключении основного привода медленно проворачивает барабан во избежание его одностороннего перегрева внизу под слоем горячего материала, а также при монтажных и ремонтных работах. Частота вращения барабана от вспомогательного привода 1-3 об/час.

Вращение от подвешивающей шестерни передается на зубчатый венец (4), конструктивно выполненный из двух или более секторов, соединенных болтовыми соединениями. К корпусу печи зубчатый венец крепится рессорами (5),

которые расположены параллельно оси печи и служат для уменьшения ударной нагрузки в зубчатом зацеплении при случайных нарушениях процесса перемещения материала. Рессоры крепят на подставках, приваренных к корпусу печи.

На входном конце печи находится загрузочная камера (6), в которой расположены питатель (течка, шнек и др.) и газоход для подачи или отвода газовой фазы. На противоположном конце печи имеется, разгрузочная камера (16), в нижней части которой имеется отверстие для вывода готовой продукции; на торцевой стенке смонтированы горелка и смотровые окна.

Обычно разгрузочную камеру устанавливают на тележке, перемещающейся на рельсах и называют откатной. По форме камеры могут быть цилиндрическими или коробчатыми; при необходимости их футеруют огнеупорным кирпичом.

Вращающиеся печи работают при разряжении 50-250 Па, что исключает выход газов из реакционного пространства в окружающую среду. Применяемые уплотнения уменьшают до минимума подсос холодного воздуха в месте входа вращающегося барабана в головки. Самые простые уплотнения – лабиринтные радиальные и аксиальные (рис. 5.2). Они незначительно снижают подсос, однако при составлении теплового баланса печи легко учитывать количество прошедшего через них воздуха.

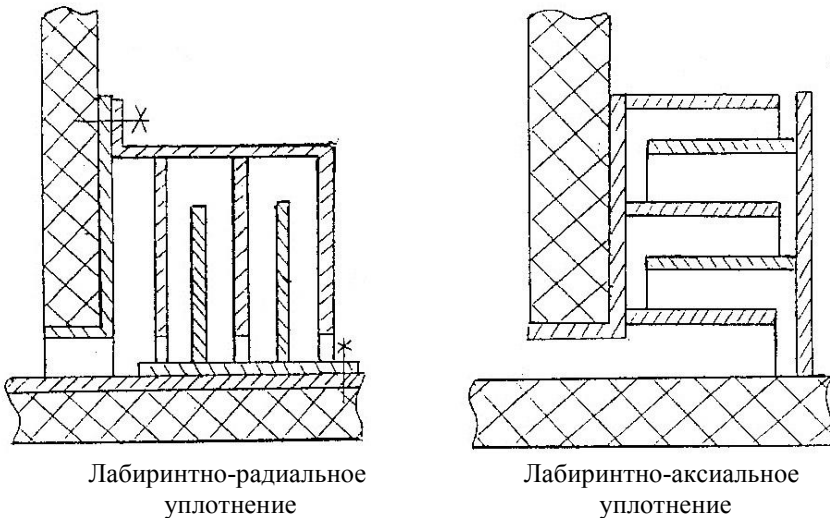


Рис. 5.2. Виды уплотнений

В промышленности могут применяться также радиальные секторные, ленточные и аэродинамические уплотнения.

Грануляторы-аммонизаторы

Данные машины характеризуются достаточно высокой скоростью вращения и отсутствием внутренних устройств. Они предназначены для ведения процессов аммонизации и грануляции в технологии производства сложных удобрений (нитрофоски, аммофоса и др.).

Гранулятор-аммонизатор – машина большой единичной мощности, с пропускной способностью порядка 100-500 т/ч. Диаметр барабана 4-5 м; длина 8-10 м; частота вращения от 8 до 12 об/мин.

Грануляторы-аммонизаторы работают при нормальных температурах, материал может подогреваться только за счет теплоты экзотермической реакции аммонизации и иногда при подаче пара для улучшения грануляции.

Корпус (1) гранулятора-аммонизатора (рис. 5.3) установлен на станциях опорноупорной (3) и опорной (7) с упором-предохранителем. Бандажи (II) скреплены жестко с барабаном клиновыми башмаками (10), привариваемыми после монтажа с дополнительными упорами (9). Свободно надетые бандажи в данном случае не применяют, т.к. большая масса барабана и материала внутри него при высокой частоте вращения $(0,4-0,5)\omega_{кр}$ приводит к значительному "раскатыванию" внутреннего диаметра бандажа. Зубчатый венец (5) крепится на барабане жестко при помощи фланцевого соединения (6), а эластичность зубчатого зацепления достигается за счет подпружиненной подвенцовой шестерни. С моторно-редукторной группой подвенцовая шестерня соединена карданным валом (4).

Разгрузочная камера (8) представляет собой короб, в нижней части переходящий в коническую разгрузочную точку. Загрузочная камера (2) – это точка, укрепленная на фланце, который закрывает входное отверстие барабана.

Уплотнения в грануляторах-аммонизаторах – ленточные или секторные в торцевом исполнении.

Узел подвенцовой шестерни 1 (рис. 5.3, а) укреплен на станине (7), к которой присоединен картер (3) шарнирной (4) и упругой (6) подвесками. В упругой подвеске усилие создается пакетотарельчатых пружин (5). Дистанционные катки (2), прижатые упругой подвеской к специальным проточкам на зубчатом венце, обеспечивают нормальную работу зубчатого зацепления.

Для очистки внутренней поверхности барабана от налипающего материала машина снабжена обдирочным ножом. Он представляет собой раму, на которой закреплены резцы (рис. 5.3, б). Рама совершает возвратно-поступательное осевое движение от гидро- или пневмопривода на величину шага h между резцами.

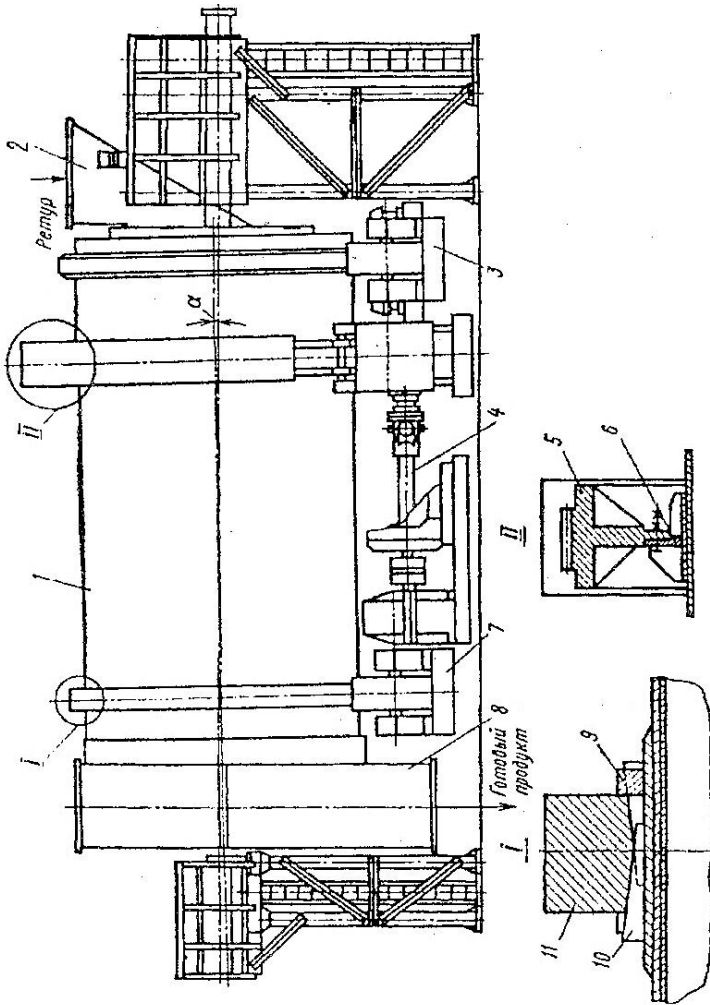


Рис. 5.3. Гранулятор-аммонизатор:

1 – корпус; 2 – загрузочная камера; 3 – опорно-упорная станция; 4 – карданный вал; 5 – зубчатый венец; 6 – фланец; 7 – опорная станция; 8 – разгрузочная станция; 9 – упор; 10 – клиновые башмаки; 11 – бандажи.

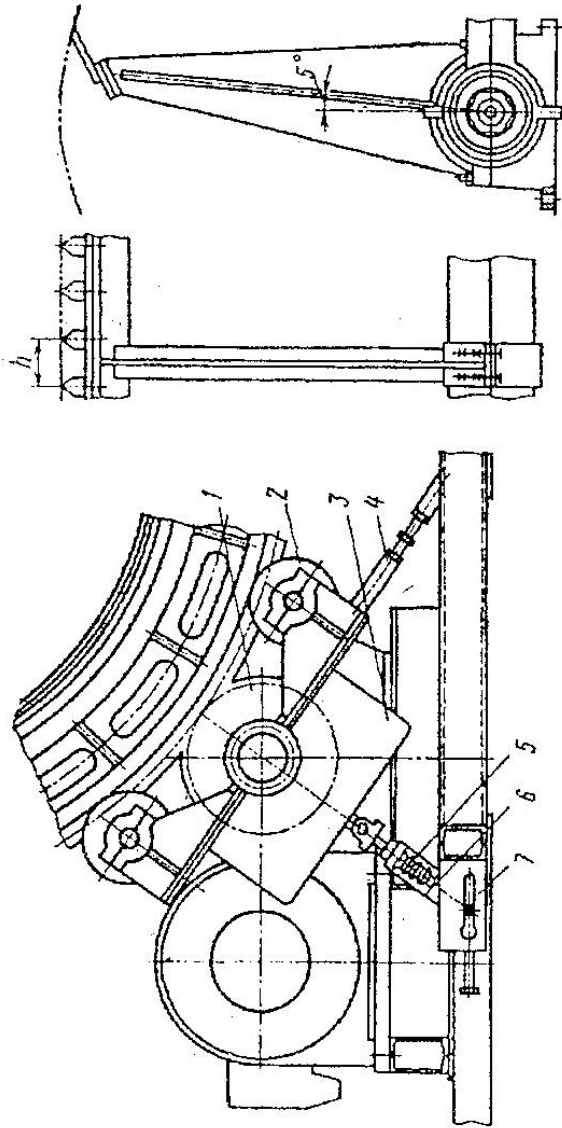


Рис. 5.3, б. Нож обдирочный

Рис. 5.3, а. Узел подвенцовой шестерни

1 – подвенцовая шестерня; 2 – дистанционные катки; 3 – картер;
4 – шарнирная подвеска; 5 – тарельчатая пружина; 6 – упругая подвеска; 7 – станина.

Вращающиеся барабанные сушилки (холодильники)

Барабанная вращающаяся сушилка (рис. 5.4, *а*) представляет собой барабан (1), установленный на двух опорах, с зубчатым венцом (2) на рессорах и свободно надетыми бандажми, т.к. температура газов на входе достигает 800-1000 °С. Привод (4) отодвинут к более "холодному" бандажу.

Внутренние устройства барабанных сушилок предназначены для равномерного распределения высушиваемого материала, обеспечения контакта с рабочим газом по всему сечению материала.

Барабанные аппараты данного типа имеют внутренние устройства насадочного типа, которые предназначены для перемешивания сыпучего материала и перемещения его по длине барабана к выходу. Сушилка (рис. 5.4, *а*) снабжена последовательно по ходу материала винтовой насадкой (7), подъемно-лопастной насадкой (6), а затем секторной насадкой (5). На рис. 5.4 *б*, представлены схемы насадок различных типов. При обработке материалов, обладающих значительной адгезией к материалу барабана, применяют лопасти, собирающие большие порции материала, для преодоления сил адгезии за счет сил гравитации. К таким устройствам относятся винтовые и подъемно-лопастные насадки. Для сушки мелких, немного подсушенных частиц, плохо переносящих удары и истирание, рекомендуют различные секторные насадки, в которых путь свободного полета частиц в ячейках весьма мал.

На рис. 5.4, *в*, представлены схемы движения материала в барабанной сушилке. Продольную, вдоль оси барабана, продувку материала сушильным агентом (рис. 5.4, *в(а)*) заменяют поперечной (рис. 5.4, *в(б)*) и создают сушилки с высокой степенью тепло- и массопередачи. По производительности они в 1,5 раза превосходят сушилки классических схем. Следует отметить, что с точки зрения конструкции такие сушилки не просты и при температурах входящих газов 500-600°С появляются большие температурные напряжения в элементах жалюзи, через которые сушильный агент попадает в слой сыпучего материала.

На рис. 5.4, *г* и 5.4, *д* представлены конструкции вращающихся барабанных холодильников с воздушным и водяным охлаждением.

Холодильник состоит из цилиндрического сварного корпуса-барабана (6), опорной (9) и упорно-опорной станции (II), привода (10), загрузочной (I) и разгрузочной (8) камер. На барабане установлены бандажы (5) и зубчатый венец (7). Барабан, устанавливаемый под небольшим углом (1-4°) к фундаменту, опирается бандажми на опорные ролики опорной и опорно-упорной станций. Аксиальное смещение барабана контролируется упорными роликами упорно-опорной станции. Вращение барабану сообщается от индивидуального привода посредством подвенцовой шестерни и зубчатого венца.

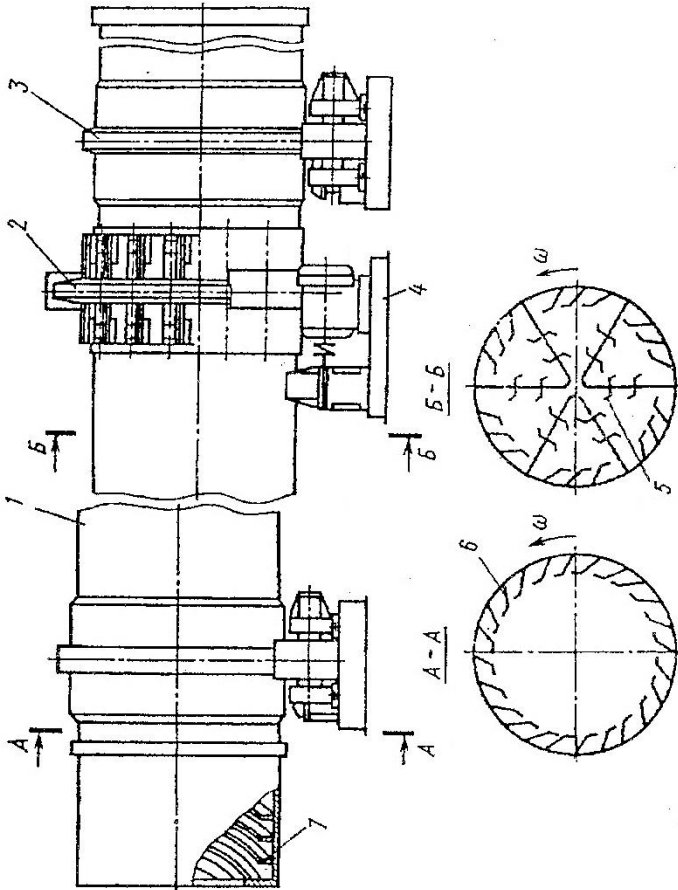


Рис. 5.4, а. Вращающаяся барабанная сушилка

1 – барабан, 2 – зубчатый венец, 3 – бандаж, 4 – привод, 5 – секторная насадка, 6 – подъемно-лопастная насадка, 7 – винтовая насадка.

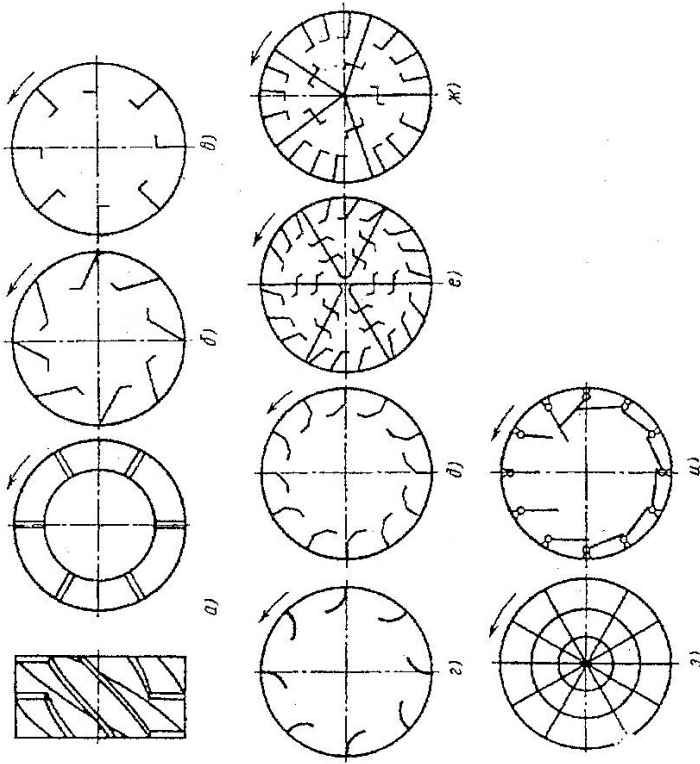


Рис. 5.4, б. Схемы насадок различных типов

а — винтовая распределительная; б-в — подъемно-лопастные;
 е-з — секторные; и — с прямыми самоочищающимися лопастями

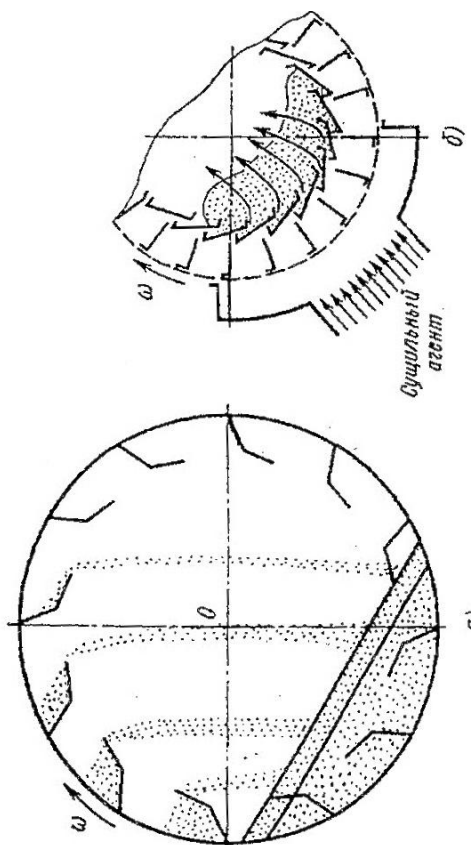


Рис. 5.4, в. Схемы движения материала в барабанных сушилках с продольной (а) и поперечной (б) подачей сушильного агента

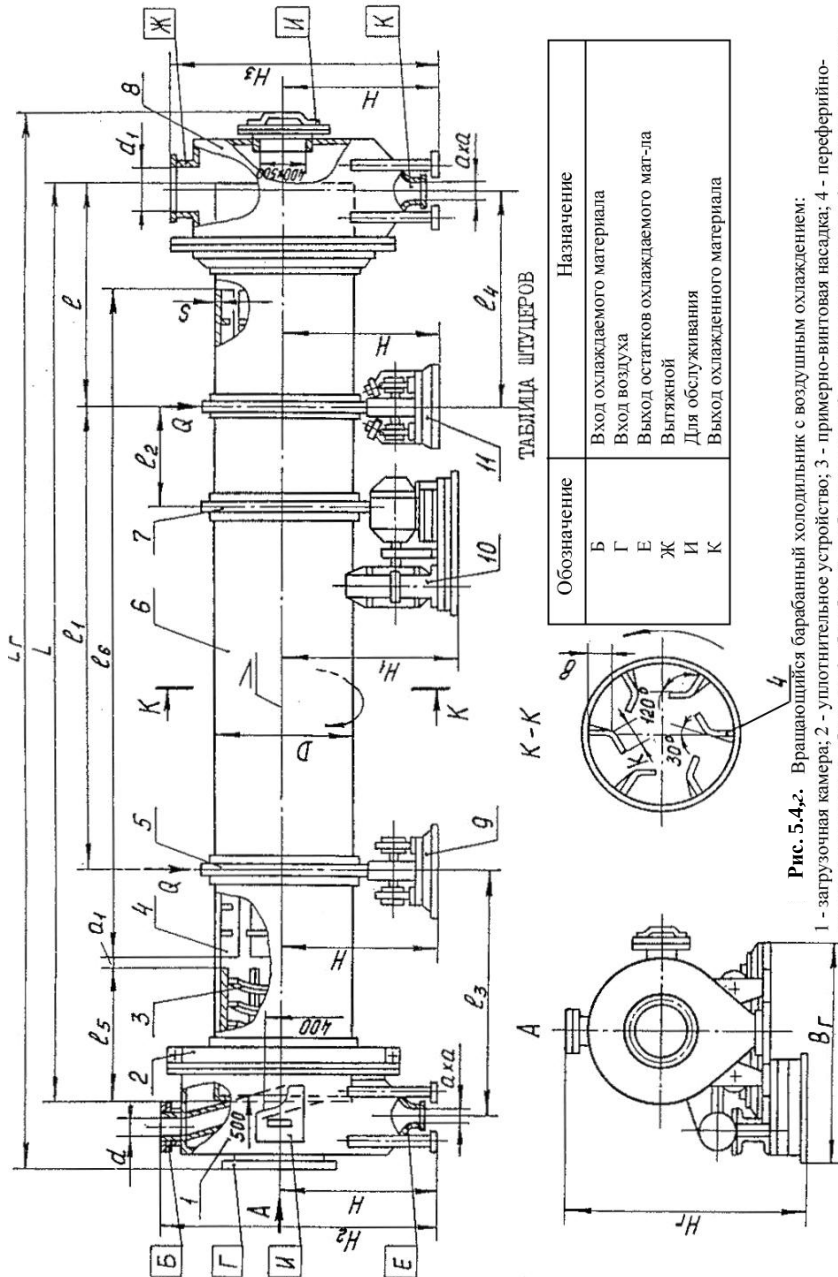


Рис. 5.4.2. Вращающийся барабанный холодильник с воздушным охлаждением:

1 - загрузочная камера; 2 - уплотнительное устройство; 3 - примерно-винтовая насадка; 4 - периферийно-лопастная насадка; 5 - бандаж; 6 - барабан; 7 - зубчатый венец; 8 - разгрузочная камера; 9 - опорная станция; 10 - привод; 11 - упорно-опорная станция.

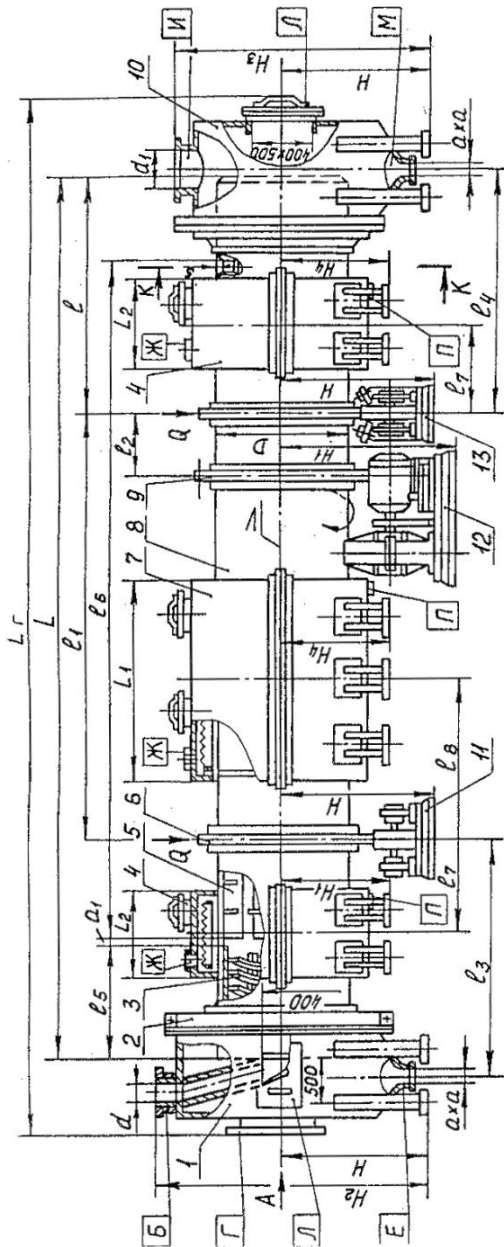


ТАБЛИЦА ШТУЦЕРОВ

Обозначение	Назначение
Б	Вход охлаждаемого материала
Г	Вход воздуха
Е	Выход остатков охлаждаемого мат-ла
Ж	Вход холодной воды
И	Вытяжной
Л	Для обсушивания
М	Выход охлажденного материала
П	Выход нагретой воды

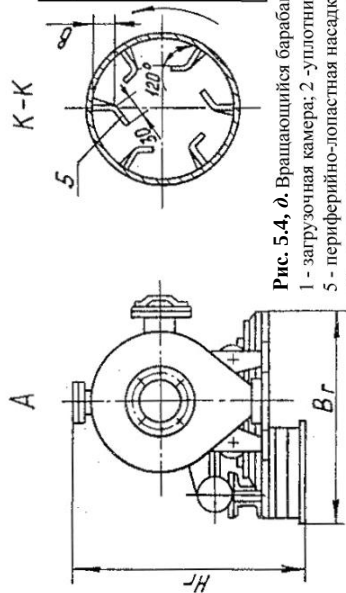


Рис. 5.4, д. Вращающийся барабанный холодильник с водяным охлаждением:

1 - загрузочная камера; 2 - уплотнительное устройство; 3 - приемно-винтовая насадка; 4 - боковая ванна; 5 - периферийно-лопастная насадка; 6 - бандаж; 7 - средняя ванна; 8 - барабан; 9 - зубчатый венец; 10 - разгрузочная камера; 11 - опорная станция; 12 - привод; 13 - упорно-опорная станция.

Привод, состоящий из редуктора и электродвигателя обеспечивает три значения угловой скорости барабана.

Привод расположен в наиболее благоприятных для работы условиях: смещен от середины барабана в сторону "холодного" его конца и установлен ближе к упорно-опорной станции, где аксиальное смещение барабана в результате его теплового удлинения минимально.

Загрузочная (1) и разгрузочная (8) камеры соединены с барабаном посредством уплотнительных устройств. В барабане холодильника предусмотрены приемно-винтовая (3) и периферийно-лопастная (3) насадки.

Холодильники с водяным охлаждением (рис. 5.4, *з*) дополнительно снабжены двумя боковыми (4) и средней ваннами (7). Вода в ванны подается через верхние штуцера "Ж" и распределяется по длине барабана специальными распределительными устройствами, расположенными внутри ванн. Нагретая вода удаляется через штуцера "П", расположенные в нижней части ванн.

Барабанный холодильник работает следующим образом. Подлежащий охлаждению материал подается в барабан холодильника по загрузочной камере, и приемно-винтовой насадкой перемещается на участок барабана, где установлена периферийно-лопастная насадка. Барабан холодильника непрерывно вращается, что вызывает пересыпание материала. Наличие периферийно-лопастной насадки способствует более активному пересыпанию материала и более интенсивному его охлаждению. В процессе охлаждения материал постепенно перемещается в сторону уклона холодильника и выгружается из барабана в разгрузочную камеру.

В холодильнике с водяным охлаждением участки барабана, заключенные в ванны, непрерывно орошаются холодной водой, что способствует более интенсивному отводу тепла от нагретых участков барабана.

Условное обозначение холодильника: Б – барабанный общего назначения, цифра после буквы – наружный диаметр барабана, мм; цифра после тире – длина барабана, м; Д – с воздушным охлаждением, невзрывозащищенное исполнение; Я – с водяным охлаждением, невзрывозащищенное исполнение; У – материал (углеродистая сталь) сборочных единиц и деталей, соприкасающихся с охлаждаемым материалом; последняя цифра – номер модели.

Например: холодильник Б1-8ДУ-01 или Б1-89У-01.

Барабан

Конструктивно вращающиеся барабанные аппараты выполняются следующим образом. Основной частью является барабан, габаритные размеры которого определяются необходимой величиной рабочего пространства. Внутри барабан может быть полым или снабженным насадкой для перемещения и пересыпания материала. Для передачи нагрузки от веса вращающегося барабана на ролики опорных станций на наружной поверхности барабана устанавливаются бандажы. На одной из опорных станций предусматриваются устройства для предупреждения осевого смещения барабана. На барабане укрепляет-

ся венцовая зубчатая шестерня, через которую барабан передается вращение от привода. С обеих сторон барабана имеются камеры для загрузки и выгрузки материала и подвода и отвода газа. Иногда роль камер играют подвижные головки, прижимаемые к барабану. Зазор между барабаном и камерами уплотняется лабиринтными, радиальными или торцовыми уплотнениями.

Корпус аппарата (барабан) изготавливается из листовой стали марка которой выбирается в соответствии с рабочей средой. Барабан изготавливается сварным. Сварка стыковая. Толщина листового проката для барабанов принимается не менее 10 мм, а небольших конструкциях даже до 40-50 мм.

В процессе эксплуатации возможны: возникновение местных напряжений в непосредственной близости к бандажам, возникновение дополнительных температурных напряжений, нарушение правильности регулировки одной из опорных станций. Чтобы избежать пагубного последствия сказанного здесь, корпус аппарата под бандажами и венцовой шестерней усиливается. Усиление осуществляется путем приварки в местах установки бандажей и венцовой шестерни кольцевых подкладок из листового проката (рис. 5.5). Во избежание смещения бандажа вдоль оси барабана между бандажем и прокладками по окружности барабана устанавливаются башмаки 3, закрепляемые болтами 5. Башмаки по окружности чередуются таким образом, чтобы их выступы были и слева и справа, что позволяет исключить осевое смещение барабана.

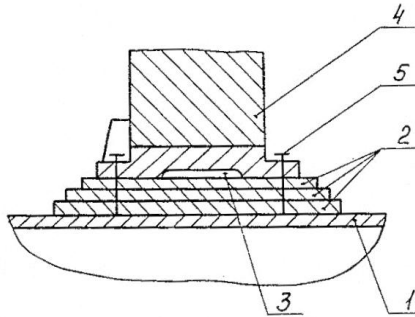


Рис. 5.5. Установка укрепляющих прокладок и башмаков:
1 – барабан; 2 – укрепляющие прокладки; 3 – башмак; 4 – бандаж; 5 – болты.

Опорные станции

Опорной станцией называется совокупность рамы-плиты с укрепленными на ней опорами.

Опорные ролики опорных станций следует изготавливать из более мягкого материала, чем бандажи. В этом случае более быстро изнашивающимся элементом будет ролик, бандажи же будут сохранены. Такой подход позволяет избежать необходимости замены при ремонте бандажа, что фактически потребовало бы осуществить демонтаж всей машины. Замена же износившегося ролика значительно более проста и не требует больших затрат времени и мате-

риалов. Вообще говоря, даже при одинаковом с бандажами материале износ роликов будет больше в силу их значительно более быстрого вращения.

Ширина ролика должна быть больше ширины бандаж на 20-30 мм. Это облегчает монтаж машины и позволяет избежать свисание бандаж с ролика, что не допустимо: поверхность бандаж должна полностью соприкасаться с поверхностью ролика. Кроме того, необходимо учитывать имеющее обычно место тепловое расширение барабана. Поэтому одна из опор выполняется с упорными роликами, и бандаж, лежащий на этой станции при тепловом расширении не сдвигается.

Ролики закрепляются на валу, установленном в двух подшипниках (рис. 5.6 и 5.7). На особо тяжелых машинах ролики сдвигаются (рис. 5.8).

Вся конструкция опоры выполняется скользящей вдоль оси, перпендикулярной к оси барабана. Это позволяет выбрать зазоры, возникающие при монтаже или частичном износе, а также упрощает описанную выше замену изношенного ролика. В конечном итоге такая конструкция позволяет поддерживать постоянно равномерность распределения нагрузки на опоры. Опоры устанавливаются на одной общей раме (клепанной или сварной), покрытой стальными листами. Прорези в последних для болтов подвижных спор делаются продолговатыми. Во избежание сдвига опор в поперечном оси барабана направлении, последние упираются в упорные болты.

В тяжелых медленно вращающихся барабанных аппаратах при значительном тепловом расширении барабана бандаж надевается на барабан свободно. Величина зазора выбирается таким образом, чтобы скомпенсировать увеличение диаметра барабана в результате теплового его расширения.

Бандажи работают в исключительно тяжелых условиях, подвергаясь весьма сложному нагружению. Ниже будет подвергнуто анализу нагруженное состояние бандаж, установленного свободно на башмаках, случай, наиболее широко применяемый в химической промышленности. Поскольку количество башмаков, как правило, достаточно велико, такой бандаж, в целях упрощения решения, допустимо рассматривать нагруженным непрерывно распределенной нагрузкой и установленным свободно с непрерывным касанием.

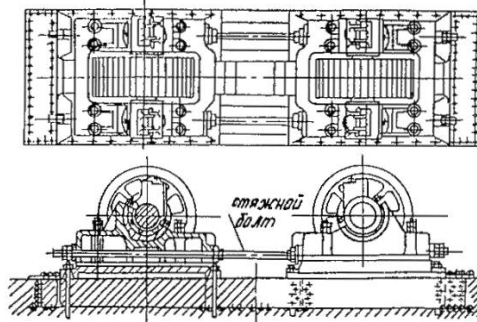


Рис. 5.6. Установка опорных роликов

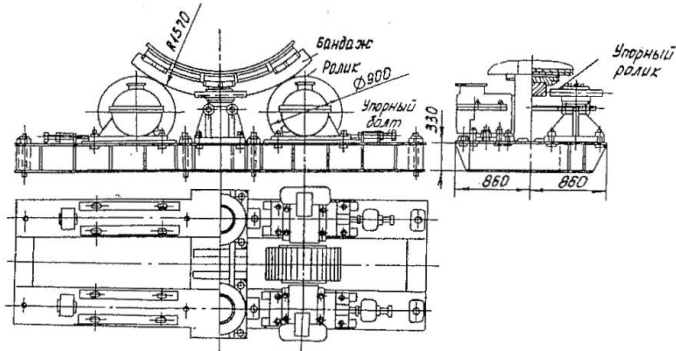


Рис. 5.7. Установка упорных роликов

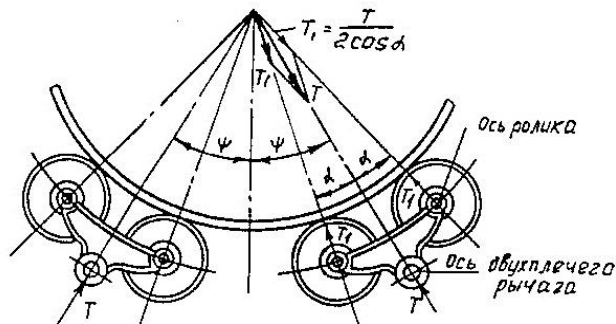


Рис. 5.8. Сдвоенные ролики

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкцию и принцип работы барабанного аппарата, выполнить его эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип его работы.
3. Выбрать тип уплотнения.
4. Описать возможные неисправности в процессе работы барабанного аппарата и методы их устранения.
5. Составить вывод по работе.

Лабораторная работа №6

Химические реакторы с рубашками и перемешивающими устройствами

Цель работы: изучение конструкции и принципа работы реактора в целом, основных его узлов и деталей.

Введение

Реактором называется аппарат, в котором протекает основной процесс химической технологии – образование продукта в результате взаимодействия исходных веществ.

Во всех химических реакторах имеют место определенные физические процессы, в результате которых создаются оптимальные условия проведения химического превращения. Для осуществления физических процессов реакторы могут иметь в своей структуре простые аппараты или элементы аппаратов (мешалки, теплообменные устройства и т.д.). В связи с этим химические реакторы можно рассматривать как комплексные аппараты, состоящие из определенных сочетаний простых аппаратов или элементов аппаратов, большинство из которых используется для проведения физических процессов, сопровождающих химическую реакцию.

Устройства реактора определяется рядом факторов:

– агрегатным состоянием реагирующих и образующихся веществ и их вязкостью;

– требуемой интенсивностью перемешивания реагентов;

– температурным режимом и давлением;

– химическими свойствами перерабатываемых веществ;

– наличием или отсутствием катализаторов;

– производительностью;

– непрерывностью или периодичностью процесса;

– удобством монтажа, обслуживания и ремонта аппарата;

– простотой изготовления и т.п.

Реакторы можно классифицировать:

– по принципу организации процесса – периодические, непрерывные, полунепрерывные (полупериодические);

– по гидродинамическому режиму – аппараты полного вытеснения, полного смешения, промежуточного типа;

– по тепловому режиму – изотермические, адиабатические, политропические;

– по фазовому состоянию перерабатываемых веществ – для проведения гомогенных реакций в газовой или жидкой фазе; для проведения реакций в газовой фазе над твердыми или жидкими катализаторами; для проведения реакций между газами и жидкостями над твердыми катализаторами или без них;

– по конструктивным особенностям – аппараты типа реакционной камеры, колонны, теплообменника или печи.

В реакторы периодического действия реагенты загружаются одновременно в начале операции. После определенного времени, необходимого для достижения заданной степени превращения, выгружаются продукты реакции. Основные параметры процесса изменяются во времени, продолжительность реакции можно измерить непосредственно.

В реакторах непрерывного действия подача исходных веществ и удаление продукта происходит непрерывно. Продолжительность реакции не может быть измерена непосредственно и для расчетов пользуются величиной времени контакта (пребывания), определяемой как отношение объема реакционной смеси в реакторе к объемному расходу реагентов.

В реакторах полупериодического действия один из реагентов питания поступает непрерывно, а другой периодически.

Изотермические реакторы имеют одну, постоянную температуру во всех точках реакционного пространства, скорость реакции зависит только от состава. Изотермические условия достигаются эффективным использованием тепла реакции, а также наличием теплового агента и поверхности теплообмена.

Адиабатические реакторы не имеют теплообмена с внешней средой. Для осуществления адиабатического режима достаточно иметь хорошую тепловую изоляцию.

В некоторых случаях для получения высоких степеней превращения осуществляют теплообмен с изменением температур во времени и пространстве. Используемые при этом неадиабатические и неизотермические реакторы называются реакторами с программированным тепловым режимом.

По характеру движения реакционной среды можно выделить реакторы с полным вытеснением и реакторы с полным смешением (перемешиванием). В реакторах с полным вытеснением элемент объема движется, не смешиваясь с предыдущим или последующим элементами объема. Состав элемента объема изменяется последовательно по длине реактора вследствие химической реакции. Реактор не имеет приспособлений для перемешивания и характеризуется значительными соотношениями между длиной и диаметром.

В реакторах полного перемешивания элементы объема мгновенно перемешиваются с содержимым реактора с помощью перемешивающих приспособлений: мешалки, перегородок, барбатера, инжектора и т.д. Создаются условия, при которых реакционная среда проходит через реактор большое количество раз.

Реакторы с полным вытеснением и полным смешением являются идеальными типами реакционных аппаратов. На практике чаще всего встречаются реакторы смешанного типа, в которых нет ни полного вытеснения, ни полного смешения.

Гомогенные реакторы – заполняются реагентами, находящимися либо только в газовом, либо только в жидком состоянии, т.е. в реакторе при проведении химической реакции находится одна фаза.

Гетерогенные реакторы – в таких реакторах вещества находятся в различных агрегатных состояниях. Существует столько типов гетерогенных реакторов, сколько комбинаций можно составить из трех агрегатных состояний: газ, жидкость и твердое тело.

Этот классификационный критерий не является достаточно точным, т.к. не учитывает фазового состояния продуктов реакции.

Общие требования к реакторам могут быть сформулированы в виде следующих предложений:

- обеспечение оптимального времени пребывания реагирующих веществ в зоне реакции для получения требуемой степени превращения;
- создание наилучшего контакта между реагирующими веществами, а также между ними и катализатором;
- обеспечение оптимального температурного режима процесса;
- механическая прочность аппарата, стойкость его материала к воздействию реакционной среды и отсутствие обратного воздействия;
- удобство обслуживания, монтажа и ремонта реактора, а также удобство управления процессом;
- доступность материалов, дешевизна и простота изготовления аппарата.

Основные элементы конструкций аппаратов с рубашками и перемешивающими устройствами

Промышленные химические реакторы отличаются большим конструктивным разнообразием.

Для проведения реакций в жидкой среде чаще других используются реакторы кубового типа (реактор смешения), принципиальное устройство которого показано на рис. 6.1.

Кубовый реактор представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд высотой, как правило, 1-2 диаметра. Он состоит из корпуса 1 с рубашкой 2, крышки 3, днища 4, опоры (стойки) 5, на которой укреплены редуктор 6 с электродвигателем 7 для привода вала 8 мешалки 9. Вал проходит через уплотнение 10, установленное в крышке 3. В аппаратах применяются стандартные опоры, например, лапы 11. В опорах должны быть предусмотрены регулировочные (отжимные) винты с контргайками и подкладными пластинами под них для выверки положения аппарата на фундаменте.

Каждый реактор должен иметь необходимые технологические штуцера для подвода и отвода продуктов, теплоносителя, для промывки, продувки, для установки предохранительных устройств, контрольно-измерительных приборов и арматуры.

Для проведения гидравлических испытаний должны быть предусмотрены штуцера для заполнения корпуса аппарата и рубашки водой, выпуска воздуха, установки манометров, а также отверстие с пробкой или заглушкой для полного слива воды после испытаний. Штуцера для подачи в реактор ис-

ходных веществ рекомендуется размещать в крышке аппарата, а для отвода продукта – как в крышке, так и в днище.

На аппаратах должны быть предусмотрены механически обработанные контрольные площадки или базовые поверхности для установки монтажного уровня при выверке вертикальности аппарата на фундаменте. Обычно такой поверхностью служит горизонтальная плоскость опоры 5, к которой крепится редуктор.

К основным элементам аппаратов с рубашками и перемешивающими устройствами можно отнести: корпус, крышку и днище, рубашку, перемешивающее устройство, уплотнение, узел концевой подшипника, фланцы, опорные конструкции.

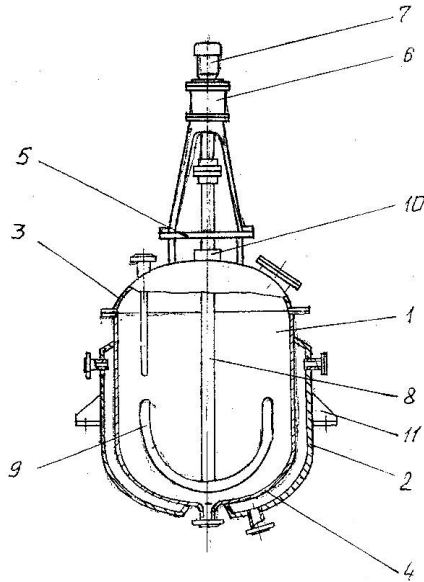


Рис. 6.1. Устройство реактора кубового типа

Корпус реактора

Корпус реактора является наиболее материалоемким и ответственным узлом. Форма корпуса, а, следовательно, и обечайек, из которых он состоит, определяется химико-технологическими требованиями проведения процесса, а также конструктивными соображениями и может быть цилиндрической, коробчатой, конической, сферической. Наибольшее распространение получили цилиндрические обечайки.

Цилиндрические обечайки из пластичных материалов при избыточном давлении среды до 10 МПа изготавливаются преимущественно из листов вальцовкой с последующим соединением стыков сваркой. Цилиндрические

обечайки из пластичных материалов для аппаратов высокого избыточного давления среды в них (10 МПа и более) изготавливают большей частью из поволоков (цельных или составных) с соответствующей термообработкой и последующей обработкой внутренней и наружной поверхностей на станке.

Цилиндрические обечайки для аппаратов высокого давления могут быть многослойными, витыми.

Соотношения между высотой H цилиндрического корпуса и его внутренним диаметром $D_{\text{в}}$ для аппаратов вертикального исполнения и между длиной L цилиндрического корпуса и его внутренним диаметром $D_{\text{в}}$ для аппаратов горизонтального исполнения определяются химико-технологическими требованиями и обычно бывают следующими:

$$\frac{H}{D_{\text{в}}} \leq 30 ; \quad \frac{L}{D_{\text{в}}} \leq 30$$

Днища

Составным элементом корпусов химических аппаратов являются днища (крышки), которые, как правило, органически связаны с обечайкой аппарата и изготавливаются из одного материала. Форма днища определяется сопрягаемой с ним формой обечайки, химико-технологическими требованиями, давлением среды, конструктивными соображениями. Днища бывают: плоскими (круглые, прямоугольные), коническими, эллиптическими, полушаровыми, сферическими (рис. 6.2.).

Стандартизованные и нормализованные эллиптические днища (а) рекомендуется применять в цилиндрических аппаратах вертикального исполнения, работающих под внутренним давлением или наружным избыточным давлением свыше 0,07 МПа. Штампованные эллиптические днища в силу ограничения толщины стенки применяются при давлении не выше 10 МПа.

Сферические днища (б), применяемые в химическом аппаратостроении бывают полушаровыми, сферическими без отбортовки и сферическими с отбортовкой. Полушаровые днища рекомендуется применять в стальных сварных цилиндрических аппаратах больших диаметров ($D_{\text{в}} \geq 4$ м) горизонтального исполнения – независимо от давления, вертикального исполнения – свыше 0,07 МПа.

Сферические неотбортованные днища (б) применяют в стальной сварной цилиндрической аппаратуре, работающей под наливом, а также под избыточным давлением не более 0,07 МПа для температур до +200 °С.

Конические днища (г), независимо от давления, применяются главным образом в вертикальных цилиндрических (сварных, кованых и литых) аппаратах в тех случаях, когда это обусловлено технологическим процессом, включающим применение эллиптических или плоских днищ (преимущественно для жидких сред, сыпучих и кусковых материалов, при необходимости непрерывного или периодического полного удаления содержимого из аппарата через нижний штуцер).

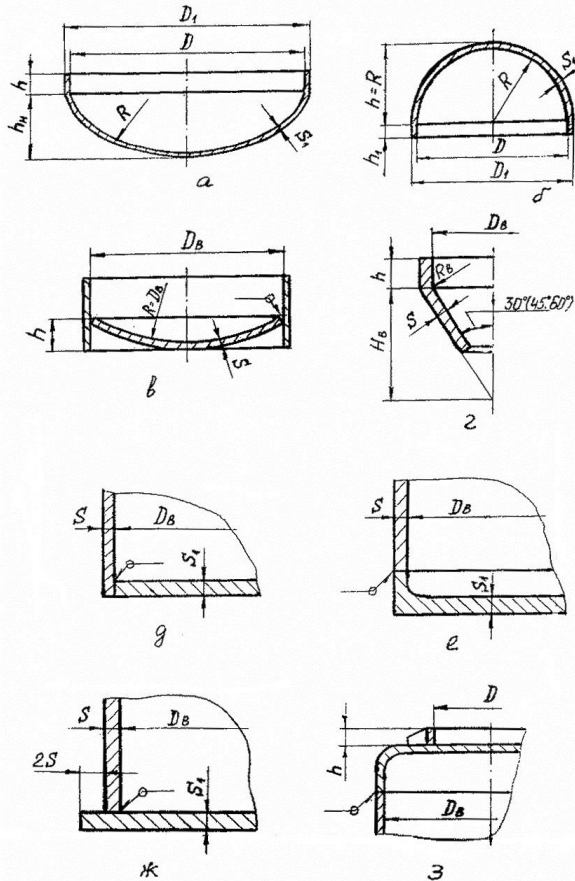


Рис. 6.2. Основные конструкции днищ

Угол при вершине конуса 60° рекомендуется применять для вязких жидкостей и суспензий, а также влажных, склонных к налипанию порошкообразных и кусковых материалов; угол 90° — для невязких жидкостей и сухих порошкообразных и кусковых материалов.

В горизонтальных аппаратах, работающих под наливом и избыточным давлением до 0,07 МПа, при $D_{\text{в}} > 1500$ мм целесообразно применять конические неотбортованные днища с большим углом при вершине (140°) вместо неотбортованных сферических и плоских днищ.

Плоские днища (д, е, ж, з) по сравнению с эллиптическими и сферическими днищами являются менее рациональными с точки зрения восприятия давления. Исходя из условий прочности, толщины стенок плоских днищ, подверженных давлению, получаются больше, чем у соответствующих эллипти-

ческих и сферических днищ. При работе аппаратов под избыточным давлением при диаметре свыше 400 мм и выше, плоские днища применять не рекомендуется.

Исключением являются днища кованых аппаратов высокого давления, применение которых не ограничивается диаметром.

Плоские днища следует применять в сварной вертикальной цилиндрической аппаратуре, работающей под наливом и атмосферным давлением, при установке аппарата днищем на сплошное основание. Верхние днища (крышки) в таких аппаратах можно выполнять плоскими с укрепленными ребрами (з), особенно для диаметров более 0,8 м. Плоские днища применяются в подверженных избыточному давлению вертикальных и горизонтальных сварных аппаратах малого диаметра, на которые отсутствуют стандартизированные эллиптические днища. Такие днища должны быть отбортованными и укреплены ребрами.

Действующие стандарты предусматривают неразъемные соединения днищ с корпусами в наиболее распространенных вертикальных цилиндрических реакторах с перемешивающими устройствами. Крышки аппаратов могут иметь как разъемное (отъемные крышки), так и неразъемное соединение с корпусом (сваркой, пайкой). В случае разъемного соединения используются стандартные фланцевые соединения с различными типами уплотнительных поверхностей.

Рубашки

Для поддержания оптимального температурного режима в реакторах использует различные теплообменные устройства, обеспечивающие нагрев или охлаждение реакционной массы. По конструктивному оформлению их можно разделить на встроенные и выносные.

Встроенные в аппарат устройства в свою очередь подразделяют на наружные и внутренние. К наружным относятся рубашки и приваренные (припаянные) снаружи к стенке реактора змеевики. К внутренним относится погруженный внутрь аппарата теплообменник, как правило, змеевик.

С точки зрения удобства контроля состояния реактора и теплообменного устройства, а также простоты конструкции и обеспечения более мягкого и равномерного нагрева реакционной массы, для уменьшения расхода энергии на перемешивание следует отдать предпочтение наружным теплообменным устройствам.

По конструкции рубашки бывают съемными и несъемными. Несъемные рубашки применяются в сварной и паяной аппаратуре (привариваются или припаяваются к корпусу аппарата). Съемные – в сварной, литой и кованой аппаратуре, присоединяются к корпусу аппарата с помощью фланцев.

На рисунке 6.3., 6.4 показаны варианты сопряжения несъемных U – образной и цилиндрической рубашек с корпусом реактора.

В случае, когда давление в рубашке настолько велико, что либо устойчивость сосуда, либо несущая способность рубашки недостаточны, применяют для несъемных рубашек сопряжения корпуса сосуда с рубашками отбортовкой (рис. 6.5.) или анкерными трубами (рис. 6.6).

На рис. 6.7. показан вариант крепления съемной рубашки к корпусу реактора.

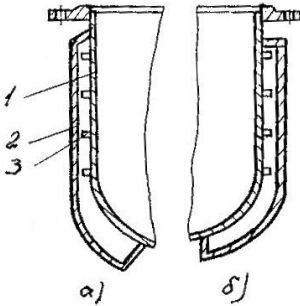


Рис. 6.3. Варианты сопряжения сосудов с U-образной рубашкой:
а – коническое; б – кольцевое

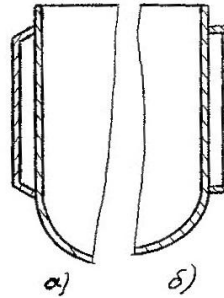


Рис. 6.4. Варианты сопряжения сосуда с цилиндрической рубашкой:
а – коническое; б – кольцевое

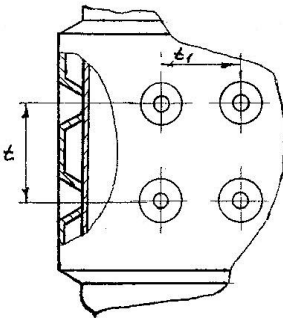


Рис. 6.5. Сопряжение рубашки с корпусом отбортовкой

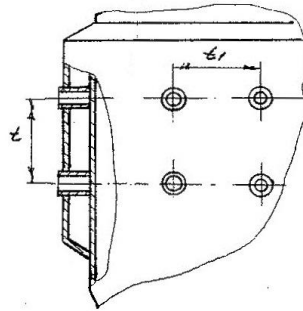


Рис. 6.6. Сопряжение рубашки с корпусом анкерными трубами

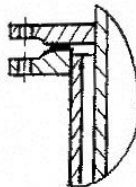


Рис. 6.7. Вариант крепления съемной рубашки к корпусу реактора

Самыми простыми и дешевыми являются гладкие рубашки, показанные на рис. 4.3.; 4.4. Они эффективны, когда скорость движения теплоносителя мало влияет на теплопередачу, например, при обогреве паром.

Если движение теплоносителя превышает 0,7 МПа или необходимы высокие скорости движения теплоносителей, применяют приваренные снаружи к стенке реактора змеевики, выполненные из целой трубы (рис. 6.8, а), полутрубы (рис. 6.8, б) или профильного проката (рис. 6.8, в).

К недостаткам приваренных змеевиков следует отнести большую длину сварных швов, повышенное гидравлическое сопротивление.

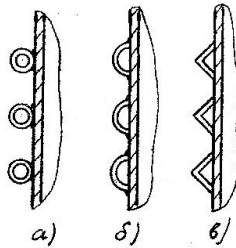


Рис. 6.8. Теплообменное устройство в виде наружного змеевика

Если поверхность наружных теплообменных устройств недостаточна и не обеспечивает требуемой поверхности теплообмена, в реактор дополнительно устанавливают внутренние теплообменные устройства в виде змеевиков различных типов (рис. 6.9). Внутренние теплообменные устройства имеют большую поверхность теплообмена, теплоноситель может циркулировать по ним при большом давлении. Однако, они усложняют конструкцию реактора, затрудняют очистку реактора от осадков, усложняют монтаж, значительно повышают расход энергии на перемешивание.

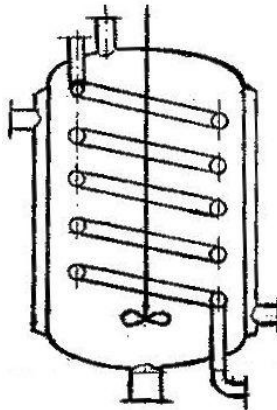


Рис. 6.9. Внутреннее теплообменное устройство

Вместо внутренних теплообменных устройств у реакторов большого объема иногда применяют выносные теплообменники (рис. 6.10.). Недостаток этого исполнения заключается в установке насоса.

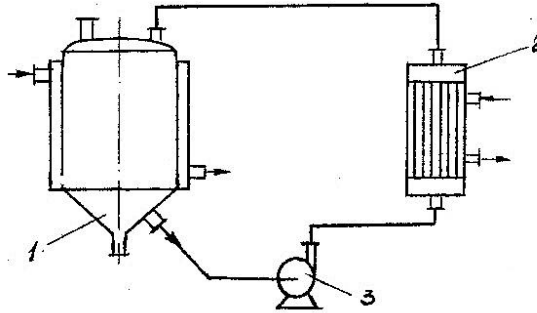


Рис. 6.10. Реактор с выносным теплообменником:
1 – реактор; 2 – выносной теплообменник; 3 – насос.

Перемешивающие устройства.

Для обеспечения требуемых гидродинамического и теплового режимов в реакторах с целью интенсификации химико-технологических процессов и улучшения качества обрабатываемых продуктов используют различные по способу действия перемешивающие устройства.

Перемешивание в реакторах можно осуществлять использованием мешалок различных конструкций, пневматических и вибрационных устройств.

В вертикальных жидкостных реакторах рекомендуется использовать мешалки, типы и размеры которых предусматриваются ГОСТ 20680 и представлены в таблице 6.1.

Лопастные мешалки применяются для перемешивания взаимно-растворимых жидкостей, взвешивания твердых и волокнистых частиц жидкости, взмучивания легких осадков, медленного растворения кристаллических и волокнистых веществ:

$$\omega = 1,5 \div 5 \text{ м/с при } \mu = 0,5 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

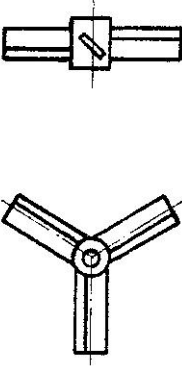
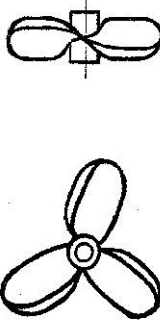
$$\omega = 1,5 \div 3,2 \text{ м/с при } \mu = 0,5 \div 3 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

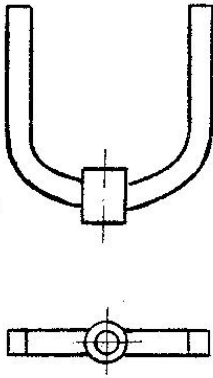
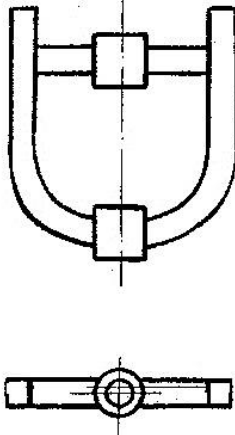
Винтовые (пропеллерная, трехлопастная) мешалки применяются для взвешивания твердых (с массовым содержанием до 50%) и волокнистых частиц; взмучивания шламов; эмульгирования жидкостей; интенсификации теплообмена:

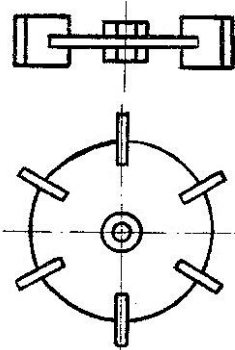
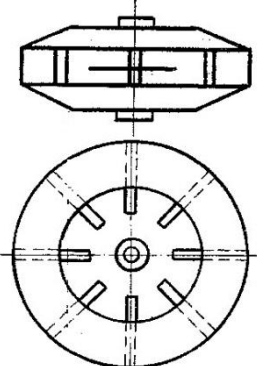
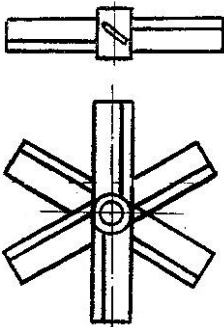
$$\omega = 3,8 \div 16 \text{ м/с при } \mu = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

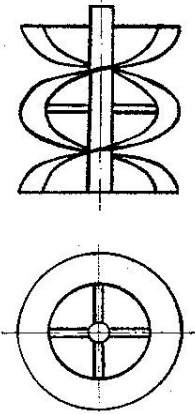
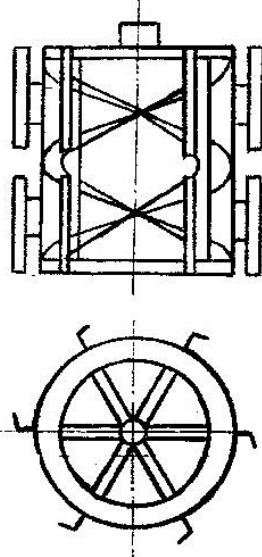
$$\omega = 3,8 \div 10 \text{ м/с при } \mu = 0,1 \div 4 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

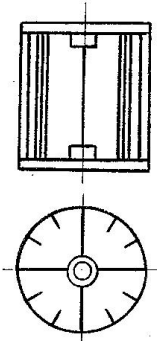
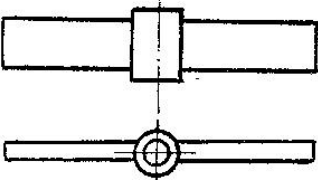
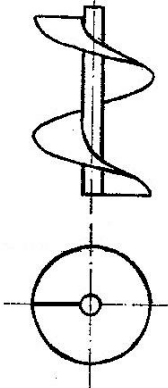
Таблица 6.1. Типы мешалок

Тип мешалок	Эскиз	Диаметр d_m , мм	Отноше- ние D/d , м
Трехлопастная (с углом наклона лопасти 30°)		80, 100, 125, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 2000, 2240, 2500	От 2,0 до 6,0
Винтовая			

Тип мешалок	Эскиз	Диаметр d_m , мм	Отношение D/d , м
Якорная		200, 220, 250, 280, 300, 320, 360, 400, 450, 500, 530, 560, 600, 630, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750	От 1,05 до 1,3
Рамная		200, 220, 250, 280, 300, 320, 360, 400, 450, 500, 530, 560, 600, 630, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750	От 1,05 до 1,3

Тип мешалок	Эскиз	Диаметр d_m , мм	Отноше- ние D/d , м
Турбинная открытая		80, 100, 125, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500	От 2,0 до 6,0
Турбинная закрытая			
Шестилопастная (с углом наклона лопасти 45°)			

Тип мешалок	Эскиз	Диаметр d_m , мм	Отношение D/d , м
Ленточная		200, 300, 360, 450, 560, 630, 750, 850, 950, 1120, 1320, 1500, 1700, 1900, 2120, 2240, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750	От 1,05 до 1,3
Ленточная со скребками		560, 630, 750, 850, 950, 1120, 1320, 1500, 1700, 1900, 2120, 2240, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350	От 1,04 до 1,1

Тип мешалок	Эскиз	Диаметр d_m , мм	Отношение D/d , м
Клетевая		80, 100, 125, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500	От 2,0 до 6,0
Лопастная		80, 100, 125, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550	От 1,4 до 4,0
Шнековая		80, 100, 125, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800	От 1,8 до 5,0

Турбинные мешалки применяются для взвешивания и растворения твердых кристаллических частиц (с массовым содержанием до 60% твердой фазы – мешалки закрытого типа; до 80% – мешалки открытого типа) и волокнистых частиц (с массовым содержанием до 5%) эмульгирования жидкостей с большой разностью плотностью; диспергирования газов в жидкостях; перемешивания ньютоновских жидкостей:

$$\omega = 2,5 \div 10 \text{ м/с при } \mu = 10 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\omega = 2,5 \div 7 \text{ м/с при } \mu = 10 \div 40 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Якорные и рамные мешалки используются для перемешивания вязких и тяжелых жидкостей, интенсификация теплообмена в жидкостях, предотвращения выпадения осадка на стенках и днище, для суспензирования в вязких средах:

$$\omega = 0,5 \div 4 \text{ м/с при } \mu = 10 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

Ленточные мешалки применяют для перемешивания очень вязких и пастообразных (неньютоновских) жидкостей. Эти мешалки, особенно при наличии скребков, хорошо очищают стенки аппарата от налипающей реакционной массы.

Пневматическое перемешивание путем барбатиrowания заключается в том, что посредством расположенных у днища трубок с отверстиями (барбатеоров) через массу обрабатываемой жидкости, пропускают какой-то газ, воздух или пар. Это технически очень простой способ перемешивания. Его следует применять, когда допустимо медленное и грубое перемешивание.

Однако, применение пневматического перемешивания сопряжено с относительно большим расходом энергии, а также возможностью окисления и испарения продуктов.

Валы перемешивающих устройств должны быть рассчитаны на виброустойчивость. Мешалки, работающие при частоте вращения более 80 мин^{-1} , должны быть отбалансированы. Рабочая частота вращения не должна превышать допустимых значений, определенных из расчета вала на виброустойчивость. В случае, если по технологическим причинам это требование не может быть выполнено и частота вращения вала должна превышать расчетную, в аппарате устанавливается либо промежуточная подшипниковая опора, либо концевой подшипник в нижней части мешалки (подпятник). Несоблюдение перечисленных условий вызовет вибрацию всего аппарата, шум и выход из строя уплотнения вала, расположенного в крышке реактора.

Элементы мешалок изготавливаются из тех же материалов, что и корпуса реакторов, могут защищаться от коррозионного и эрозийного разрушения различными покрытиями.

Уплотнения валов мешалок.

Для исключения утечки в окружающую среду перерабатываемых в реакторе веществ, а также для исключения подсоса воздуха в крышке реактора устанавливается устройство для уплотнения вала мешалки. Это один из самых

ответственных узлов аппарата, как правило, его надежность определяет надежность всего реактора.

Допускается применение жидкостных, манжетных, сальниковых и торцовых уплотнений.

Наиболее простым из перечисленных выше способов герметизации вращающихся валов является применение жидкостных уплотнений.

В жидкостных уплотнениях вращающихся валов две среды, находящиеся под разными давлениями, разделяются заполняющей зазор герметизирующей жидкостью, которая является уплотняющим элементом. Для выполнения своих функций герметизирующая жидкость должна иметь внутренние силы, противодействующие внешним силам давления. К таким силам относятся: сила тяжести, сила поверхностного натяжения, сила вязкости, силы электростатического и магнитных полей, центробежная сила.

Наиболее простым жидкостным уплотнением является гидравлический затвор (замок) столбом жидкости (рис. 6.12), в котором перепад давлений в реакторе и внешней среде уравнивается силой тяжести столба жидкости. Такое уплотнение может применяться только для вертикальных валов. Оно состоит из неподвижной части 1, закрепленной в крышке реактора и вращающейся втулки 2, закрепленной на валу мешалки. Чаша до определенного уровня заполняется запорной жидкостью 3, в которую опущены края вращающейся втулки. Запорной средой может служить любая жидкость, но чаще всего применяется вода, масла, ртуть или их смеси.

Жидкостное уплотнение вертикального вращающегося вала полностью предотвращает утечку вредной среды, не имеет трущихся деталей, дешево, характеризуется низким расходом энергии.

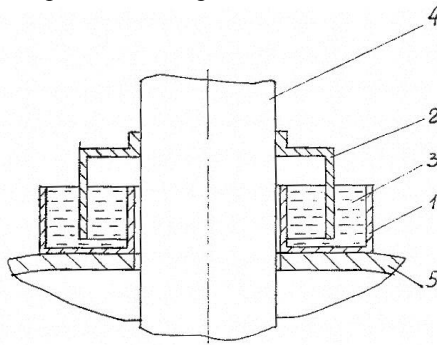


Рис. 6.12. Жидкостное уплотнение:

1 — чаша; 2 — втулка; 3 — запорная жидкость;
4 — вал мешалки; 5 — крышка реактора.

Однако, этот вид уплотнений применяется лишь при незначительных разностях давления (около 100 мм вод. ст.), умеренных температурах и небольших частотах вращения вала.

Простым по конструкции является также манжетное уплотнение (рис. 6.13.). Основным элементом его является одна или несколько манжет 1, изготовленных из резины или других эластичных материалов. Радиальное прижатие манжеты к валу создается браслетной пружиной 2. Контакт уплотнительной манжеты с поверхностью вала происходит по небольшой постоянной поверхности, вследствие чего на этой поверхности могут возникать высокие температуры, вероятность возникновения которых тем выше, чем хуже смазка места контакта, чем выше частота, температура и давление в реакторе. Все это препятствует широкому применению в реакторах манжетных уплотнений.

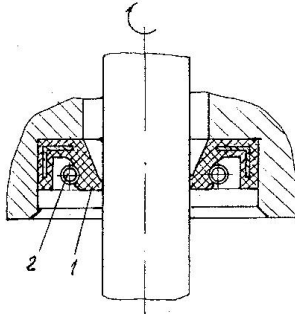


Рис. 6.13. Манжетное уплотнение:

1 – манжета; 2 – браслетная пружина.

Сальниковые уплотнения являются самыми распространенными для уплотнения вращающихся вертикальных и горизонтальных валов. Такое уплотнение располагается в крышке реактора и состоит из корпуса 1, камера которого заполняется 4-7 кольцами мягкой сальниковой набивки 2. Поджатие набивки к вращающемуся валу 3 мешалки, как правило, защищаемому от ускоренного износа защитной втулкой 4, осуществляется нажимной втулкой 5 (рис. 6.14).

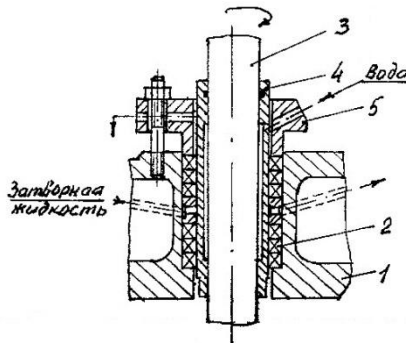


Рис. 6.14. Сальниковое уплотнение:

1 – корпус; 2 – сальниковая набивка; 3 – вал;
4 – защитная втулка; 5 – нажимная втулка.

Сальниковые уплотнения отличаются простотой конструкции, легкостью замены уплотнительной набивки, простотой и доступностью обслуживания во время работы.

Недостатком сальниковых уплотнений является требование эксплуатации его в режиме жидкостного трения для предотвращения перегрева и усиленного износа набивки и поверхности вала. Режим жидкостного трения в этих уплотнениях достигается либо за счет постоянной небольшой утечки уплотняемой жидкости (от одной капли в секунду и более), либо подводом охлаждающей и затворной жидкостей.

Торцовые уплотнения являются наиболее совершенными, по сравнению с уплотнениями других типов. Они обеспечивают высокую герметичность при работе на высоко агрессивных и абразивных средах при окружных скоростях до 100 м/с и давлениях среды до 40 МПа. Температурный диапазон применения этих уплотнений в зависимости от используемых конструкционных материалов и сред лежит в диапазоне от -200° до 600°C .

Принцип работы торцового уплотнения основан на постоянном прилегании друг к другу втулок (колец) пары трения с минимальным зазором, определяющим величину утечки уплотняемой среды.

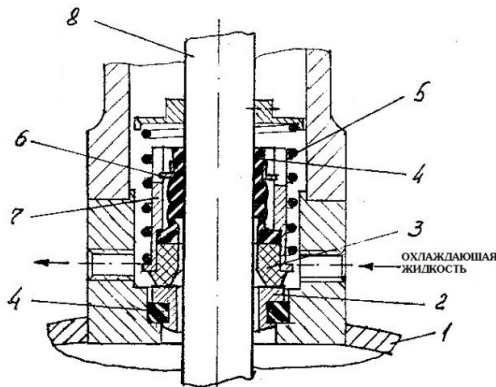


Рис. 6.15. Торцовое уплотнение:

1 – крышка реактора; 2 – неподвижная втулка; 3 – аксиальноподвижная вращающаяся втулка; 4 – эластичные уплотнительные элементы; 5 – спиральная пружина; 6 – приводной штифт; 7 – приводной стакан; 8 – вал.

Типовое торцовое уплотнение состоит из следующих элементов (рис. 6.15). В крышке 1 реактора устанавливается неподвижная втулка 2, которая герметизируется эластичным упругим элементом 4. К торцовой части втулки 2 с помощью пружины 5 своей торцовой поверхностью поджимается подвижная втулка 3, закрепленная на вращающемся валу 8 мешалки. В результате этого аксиального перемещения втулки 3 компенсируется износ торцовых поверх-

ностей втулок и обеспечивается необходимое усилие поджатия для герметизации стыка. Одна или две пары неподвижных 2 и подвижных 3 втулок являются основными элементами торцовых уплотнений. Герметичность закрепления подвижной втулки на валу достигается применением другого эластичного элемента 4, а вращательное движение ей передается от вала через приводной стакан 7 и штифт 6.

В зависимости от количества пар втулок торцовые уплотнения делятся на одинарные и двойные. Одинарные уплотнения по сравнению с двойными более просты по конструкции, менее долговечны и не требуют специальных систем для подачи смазывающей и охлаждающей жидкостей. Двойные торцовые уплотнения практически исключают утечку уплотняемой среды в атмосферу и более надежны, так как в камеру уплотнения подается чистая жидкость под давлением, превышающим давление уплотняемой среды и фактически пары трения герметизируют эту жидкость.

Надежность и долговечность работы торцовых уплотнений при правильной сборке и эксплуатации определяется подбором конструкционных материалов для изготовления подвижной и неподвижной втулок.

Основы технологии ремонта реакторов с рубашками и перемешивающими устройствами.

Отказы реакторов в процессе эксплуатации могут происходить в результате износа, коррозионного разрушения и загрязнения рабочих поверхностей деталей и узлов.

Износ и коррозионные повреждения выражаются в изменении размеров деталей (например, уменьшении толщины стенки, диаметра вала, увеличении диаметра штуцеров) на достаточно обширных или небольших отдельных участках, что приводит к появлению раковин, свищей, трещин, выпучин и вмятин в корпусе аппарата, повреждению сальниковых или торцовых уплотнений, заклиниванию вала, разрушению лопастей мешалки, подшипниковых опор, разрушению защитных покрытий.

Загрязнения представляют собой отложения на стенках реактора, мешалки, меевиков, рубашки солей и смол, накипи и ила, что ведет к увеличению гидравлического и термического сопротивлений и, как следствие, увеличению расхода энергии на перемешивание и нагрев.

В химической промышленности действует система технического обслуживания и ремонта оборудования (ТО и Р), в основу которой положено сочетание технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов.

Система ТО и Р призвана обеспечить:

- поддержание оборудования в работоспособном состоянии и предотвращении внезапного выхода его из строя;
- правильную организацию технического обслуживания и ремонта оборудования;

- увеличения коэффициента технического использования оборудования за счет повышения качества технического обслуживания и ремонта, и уменьшения простоя в ремонте;
- возможность выполнения ремонтных работ по графику, согласованному с планом производства;
- своевременную подготовку необходимых запасных частей и материалов.

Техническое обслуживание – это комплекс работ, необходимых для поддержания работоспособности оборудования между ремонтами.

Предусматривается ежесменное техническое и периодическое техническое обслуживание (ТО).

Ежесменное техническое обслуживание является основными профилактическим мероприятием, призванным обеспечить надежную работу оборудования между ремонтами.

В ежесменное техническое обслуживание входят следующие основные работы: обтирка, чистка, регулярный наружный осмотр, смазка, подтяжка сальников, наблюдение за состоянием подшипников, масляных и охлаждающих систем, крепежных деталей, соединений и их подтяжка, проверка исправности заземления, устранение мелких дефектов, выявление общего состояния тепловой изоляции и противокоррозионной защиты, проверка состояния ограждающих устройств с целью обеспечения безопасных условий труда.

Ежесменное техническое обслуживание проводится, как правило, без остановки технологического процесса.

Периодическое техническое обслуживание выполняется через определенную установленную наработку или через установленные интервалы времени и сопровождается остановкой оборудования. Планирование периодического ТО осуществляется при помощи годового графика.

Основным назначением периодического ТО является устранение дефектов, которые не могут быть обнаружены или устранены в период работы оборудования. Главным методом ТО является осмотр, время которого, определяется техническое состояние наиболее ответственных узлов и деталей оборудования, а также уточняется объем предстоящего ремонта.

В соответствии с особенностями повреждений и износа составных частей оборудования, а также трудоемкости ремонтных работ, предусматривается проведение следующих видов ремонта: текущего (ТР), капитального (КР).

Текущий ремонт – это ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности оборудования и состоящий в замене или восстановлении его отдельных: узлов и деталей.

Как правило, при текущем ремонте реакторов выполняются такие работы: проверка и замена изношенных деталей подшипников вала, узлов крепления деталей мешалки, муфты, торцовых уплотнений, прокладок, набивка сальника, осмотр редуктора, сварных швов и защитного покрытия корпуса, смазка подшипников и замена масла в редукторе.

Капитальный ремонт – это ремонт, выполняемый для восстановления исправности или полного, или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

В объем капитального ремонта реакторов входят следующие основные работы: все работы текущего ремонта, замена; при необходимости валов пере-мешивающего устройства или восстановление их шеек, защитных втулок, втулки подпятника, подшипников редуктора, шестерни планетарного редуктора, венцов и червяков червячного редуктора, ремонт и замена деталей уплотняющих устройств. Определение толщины стенок корпуса реактора, ремонт корпуса, замена змеевиков. Гидроиспытание змеевиков, корпуса, рубашки.

Подготовка к ремонту включает выполнение следующих мероприятий:

а) снижается рабочее давление до атмосферного и аппарат освобождается от продукта;

б) запирается вся трубопроводная арматура и ставятся заглушки на всех подводящих и отводящих трубопроводах. Электродвигатели отключаются от электросети;

в) проводится продувка рабочей полости аппарата азотом или водяным паром с последующей промывкой водой или продувкой воздухом;

г) выполняются анализы на наличие ядовитых горючих веществ;

д) составляется план ремонтных работ и получается разрешение на огневые работы, если они необходимы в процесс рексита;

е) составляется акт сдачи аппарата в ремонт.

Ремонт аппарата выполняется в следующей последовательности:

а) производится разборка аппарата со снятием крышек, люков, демонтажа обвязки и арматуры. Для этого на фланце крышки и корпуса аппарата, прокладке делаются метки, затем снимаются болты. Крышка с помощью грузоподъемного механизма поднимается и устанавливается на козлы так, чтобы мешалка оказалась в подвешенном состоянии;

б) разбираются привод, муфта, уплотнение, мешалка;

в) очищаются от отложений внутренняя полость аппарата, детали мешалки, змеевик, рубашка;

г) осматривается корпус аппарата, выявляются дефекты, составляется дефектная ведомость и эскизы выбракованных деталей;

д) производится ремонт деталей антикоррозионных покрытий, изготовление прокладок;

е) производится сборка узлов с заменой отдельных деталей, набивок, прокладок, их регулировка;

ж) осуществляется сборка аппарата;

з) производится гидравлическое испытание.

Для снятия отложений используются следующие методы: химические, механические, с применением ультразвуковых колебаний.

Химическая очистка по сравнению с другими, менее трудоемка и может производиться без разборки узлов и вскрытия полостей. Для очистки от органических отложений используют углеводородные растворители, горячие водные растворы синтетических моющих средств с увеличенными дозами поверхностно-активных веществ (ПАВ), например, олеиновой кислоты. Для очистки поверхностей от солей жесткости применяют 5 – 15% растворы соляной кислоты с ингибиторами (уротропином), предохраняющими металлические детали от разрушения.

При механической очистке используют ручные или приводные инструменты, гидropневматические, гидромеханические и пескоструйные установки.

Выпучины и вмятины на корпусе аппарата выпрямляются ударами кувалды по медной прокладке. При невозможности выпрямления дефектов их либо вырезают и затем стыковым швом сваривают заплатки, либо на них ставят накладки.

Свищи и трещины устраняются путем заварки или постановкой заплат.

При помощи цветной дефектоскопии определяется протяженность трещин в корпусе аппарата. Концы трещин засверливаются сверлом диаметром 3–4 мм. Несквозные трещины глубиной не более 0,4 толщины стенки разделяются под заварку односторонней вырубкой на максимальную глубину трещины со снятием кромки под углом 50–60°. Сквозные и глубокие трещины разделяют на всю глубину вырубкой зубилом или газорезкой и завариваются. При появлении гнездообразных трещин поврежденные места вырезаются и закрываются заплатами, которые свариваются заподлицо с основным металлом, площадь заплаты не должна превышать 1/3 площади листа обечайки.

Особую сложность представляет ремонт повреждения эмалевого покрытия аппарата.

Эмалевые покрытия реакторов в зависимости от свойств среды изготавливают кислотостойкими и кислотощелочестойкими. Кислотостойкие стеклоэмалевые покрытия могут применяться для всех кислых сред, кроме плавиковой кислоты высоких концентраций (более 70%) фосфорной кислоты и щелочных сред. Кислотощелочестойкие стеклоэмалевые покрытия рекомендуются для нейтральных, переменных и щелочных сред.

При больших размерах повреждений эмалевого покрытия частичный ремонт малоэффективен, и аппарат следует эмалировать повторно на специализированном предприятии. Ремонт эмалевого покрытия проводится при небольших повреждениях площадью до 10 см². При ремонте на дно аппарата укладывают листовую резину для предохранения покрытия днища от возможного падения используемых при ремонте предметов.

При работе аппаратов с эмалевыми покрытиями вследствие износа поверхностного слоя покрытия могут вскрыться поры, находившиеся внутри эмали. Вследствие механического воздействия, резкого перепада температур

или превышении рабочих параметров могут возникнуть сколы (отслаивания) эмали. В зависимости от природы дефекта и дальнейших условий эксплуатации аппарата определяет способ ремонта эмалевого покрытия.

Мелкие сколы и пузыри устраняют установкой золотых или танталовых пломб; значительные сколы эмали ремонтируют органическими или неорганическими замазками.

Ремонт мелких пор с максимальным размером до 3 мм в эмалевых покрытиях, работающих в средах с температурой, не превышающей 100-110°C, к которым химически стойким является золото, выполняют установкой пломб из золота. Для пломб применяют золото марки (пробы) 999,9 в губчатом состоянии. Подлежащий ремонту дефект засверливается до полного его удаления. Цилиндрическая поверхность, примыкающая к дну отверстия, разделяется фрезой на больший диаметр, в результате чего образуется анкер для пломбы. Подготовленное отверстие очищают от стружки, промывают спиртом, после чего зачеканивают золотом (рис. 6.16.).

Установленная пломба проверяется на герметичность с помощью вакуумприсоса, заполненного соляной кислотой.

Поры диаметром 3-12 мм ремонтируют установкой танталовой пломбы (рис. 6.17). Чистый тантал устойчив ко многим химическим веществам (кроме 40%ной плавиковой кислоты, концентрированной азотной кислоты, горячих растворов щелочей).

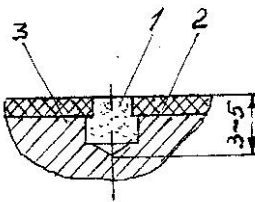


Рис. 6.15. Установка золотой пломбы: 1 – пломба; 2 – слой эмали; 3 – стенка аппарата

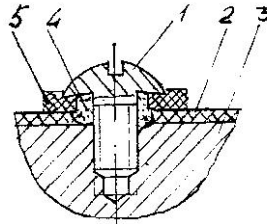


Рис. 6.16. Установка танталовой пломбы: 1 – пломба; 2 – слой эмали; 3 – стенка аппарата; 4 – замазка; 5 – шайба фторопластовая.

Танталовая пломба представляет собой винт из тантала, вворачиваемый в металл корпуса. Под головку винта устанавливают шайбу из фторопласта. В месте дефекта, подлежащего ремонту, вышлифовывают эмаль на диаметре на 2-4 мм большем диаметра отверстия под винт. Затем сверлится отверстие и нарезается резьба. Отверстие очищается от стружки и промывается спиртом. Винт и шайбу перед установкой покрывают кислотоупорной замазкой на основе эпоксидной смолы.

Покрывают кислотоупорной замазкой на основе эпоксидной смолы.

Сколы эмалевых покрытий больших размеров ремонтируют с применением кислотоупорных органических замазок, испытанных на устойчивость к рабочей среде (обычно при $t_{\text{раб}} \leq 80^\circ\text{C}$). Место дефекта тщательно зачищают абразивным инструментом. Особое внимание при этом обращают на обеспечение плавного перехода от неповрежденной эмали к металлу, подготовленная поверхность должна быть шероховатой. Перед нанесением замазки зачищенную поверхность обезжиривают.

В аппаратах с мешалками наибольшему износу подвергаются детали перемешивающего устройства. Метод ремонта деталей определяется степенью их износа. При незначительном износе (небольшие риски, незначительная овальность) вал исправляется шлифовкой, при значительном износе вал протачивается и шлифуется под ремонтный размер или наращивается слой металла (наплавкой, напылением, гальваническим покрытием и т.д.) и при последующей обработке восстанавливается номинальный диаметр вала. Возможна также напрессовка втулки. Валы аппаратов с мешалками имеют два наиболее подверженных износу места: участок соприкосновения с манжетой или сальниковой набивкой и зона контакта с концевым подшипником /подпятником/. При ремонте наиболее целесообразна установка в этих местах легкосменяемых втулок из износостойкого металла.

При сборке аппаратов с мешалками после ремонта болтовые соединения мешалок должны иметь контргайки» шплинты или предохранительные гайки.

Зал мешалки должен быть установлен в корпусе реактора соосно камере уплотнения. Соосности добиваются измерением зазоров между поверхностью вала и поверхностью камеры уплотнения в четырех диаметрально противоположных точках. Затем по валу мешалки центруется вал редуктора, а по нему – вал двигателя. Центровка ведется по полумуфтам.

Набивку сальника набирают отдельными кольцами с зазором в стыке равным 3-5 мм. Стыки последующих колец смещают на 120° друг от друга.

При сборке аппаратов с эмалевыми и другими покрытиями во избежание деформации фланцев и повреждения покрытий затяжка болтов осуществляется равномерно по всему периметру.

Наименее надежным узлом реакторов с мешалками является узел уплотнения. Поэтому при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте узлу уплотнения должно уделяться особое внимание. Основным направлением повышения надежности реакторов является модернизация уплотнения с целью повышения его безотказности, долговечности и ремонтпригодности. Манжетные и сальниковые уплотнения этим требованиям в полной мере не удовлетворяют. Поэтому в промышленности все большее распространение получают торцевые уплотнения. Поскольку по сравнению с другими видами уплотнений торцевые отличаются более высокой сложностью, их монтаж, обслуживание и ремонт являются также более сложными.

При изготовлении новых реакторов торцевые уплотнения поступают с завода-изготовителя в собранном виде. Разборка нового или отремонтирован-

ного уплотнения перед установкой в гнезде крышки не допускается. При установке уплотнения на аппарат должна контролироваться центровка уплотнения. Неточность осевой установки уплотнения относительно оси отверстия в крышке реактора не должна превышать 0,5 мм.

На работу любого уплотнения сильно влияют пуски и остановки мешалки. После длительной остановки рекомендуется повернуть вал мешалки несколько раз вручную и затем провести пуск аппарата при низком давлении среды в аппарате.

Необходимо помнить, что при пусках и остановках, а также при резком снижении давления в аппарате в торцовом уплотнении может появиться утечка через пары трения, которая при нормальной работе уплотнения быстро прекращается.

Ремонт манжетных уплотнений сводится к замене изношенных: манжет.

Ремонт сальниковых уплотнений заключается или в подбивке, т.е. закладке в уплотнительную камеру дополнительных новых колец набивки взамен изношенных, или в полной замене всей набивки - в зависимости от износа.

Ремонт торцовых уплотнений сводится в основном к замене колец или восстановлению исходной шероховатости их рабочих торцовых поверхностей. При изготовлении и ремонте торцовые поверхности пар трения притираются до чистоты поверхности $R_a = 0,05 - 0,16$ мкм.

Другим важным требованием является обеспечение плоскостности рабочих поверхностей в пределах 0,0003 - 0,0006 мм.

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкцию и принцип работы реактора, выполнить его эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип его работы.
3. Указать возможные неисправности при работе реактора.
4. Описать состав технического обслуживания реактора.
5. Составить вывод по работе.

Лабораторная работа №7

Измельчающие машины в химической промышленности

Цель работы: изучение конструкции и принципа работы измельчающих машин, применяемых в химической промышленности.

Введение

В зависимости от размера кусков исходного сырья и конечного продукта, измельчение условно делят на несколько классов:

<i>Класс измельчения</i>	<i>Размер кусков до измельчения, d_H, мм.</i>	<i>Размер кусков после измельчения, d_K, мм.</i>
<i>Дробление:</i>		
крупное	1000	250
среднее	250	20
мелкое	20	1-5
<i>Помол:</i>		
грубый	1-5	0,1-0,04
средний	0,1-0,04	0,015-0,005
тонкий	0,1-0,04	0,005-0,001
коллоидный	<0,1	<0,001

Отношение размеров кусков до измельчения и после измельчения называют степенью измельчения:

$$i = \frac{d_H}{d_K}$$

Размер «наибольших» кусков определяется отверстием сита, через которое проходит сыпучий материал.

Способы измельчения: твердый материал можно разрушить и измельчить до частиц желаемого размера раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, истиранием, ударом и различными комбинациями этих способов.

Типовые конструкции измельчающих машин

Щековые дробилки

К измельчителям, работающим на принципе раскалывания и разламывания относятся щековые, конусные и зубовалковые дробилки.

Рабочими элементами щековых дробилок являются две щеки: неподвижная и качающаяся. Щеки образуют камеру дробления. Материал поступает в камеру дробления сверху. При сближении щек куски материала разрушаются, а при расхождении измельченный материал высыпается через нижнюю щель камеры дробления.

На рис. 7.1 показана типовая конструкция дробилки для крупного дробления с простым движением подвижной щеки. Подвижная щека 3, ось 4 которой установлена в подшипниках скольжения, закрепленных на боковых стен-

ках станины 1, получает качательные движения через распорные плиты 10 и 11 от шатуна 6, подвешенного на эксцентричной части вала 5, приводимого во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Рабочие поверхности щек футеруют сменными дробящими плитами 12 и 13, изготавливаемыми из износостойкой стали. Боковые стенки камеры дробления также облицованы сменными плитами 2. Рабочую поверхность дробящей плиты, как правило, изготавливают рифленой и реже (для первичного дробления) гладкой. От продольного профиля плит зависят условия захвата кусков и гранулометрический состав материала.

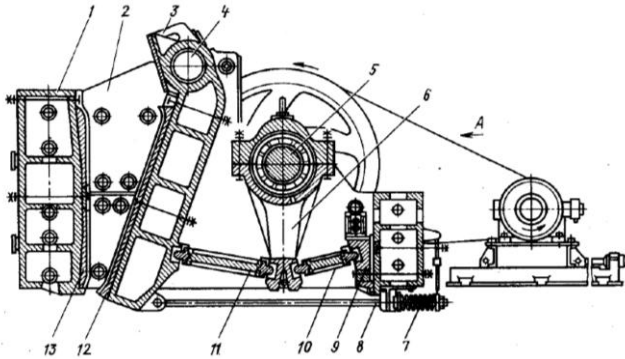


Рис. 7.1. Щековая дробилка

Циклический характер работы щековых дробилок (максимальное нагружение при сближении щек и холостой ход при их расхождении) создает неравномерную нагрузку на двигатель. Для выравнивания нагрузки на приводном валу устанавливают маховик и шкив-маховик. Маховики «аккумулируют» энергию при холостом ходе и отдают ее при ходе сжатия.

В процессе эксплуатации возникает необходимость регулировать ширину выходной щели камеры дробления. В крупных дробилках для этого устанавливают разные по толщине прокладки между упором 9 и задней стенкой станины. Гарантированное замыкание звеньев механизма привода подвижной щеки осуществляется пружиной 7 и тягой 8.

В конструкции современных дробилок предусматривается установка самовосстанавливающихся после срабатывания устройств, предохраняющих элементы машины от поломок при попадании в них «недробимых» предметов. На практике применяют следующие варианты предохранительных устройств: подпружиненный рычаг, шарнирно соединенный с подвижной щекой; пружина в сочетании с распорной плитой; пружина в сочетании с рычагом и распорной плитой и т.д..

Степень измельчения для щековых дробилок:

$$i = 3-5$$

Ширина пасти дробилки А:

$$A = (1,15 - 1,2)d_n$$

Эксплуатация щековых дробилок.

Перед пуском дробилки производят тщательный осмотр и проверку отсутствия руды или инструментов в рабочем пространстве дробилки, проверку крепления коренных и шатунных подшипников, крепления дробящих плит на щеках, состояние крепежных болтов и гаек, регулировочных клиньев, шпонок, маховиков и фрикционных муфт.

Проверяется наличие и качество масла в подшипниках и системе циркуляционной смазки, наличие консистентной смазки.

Проверяется затяжка фундаментных болтов, натяжение пружины оттяжной штанги и натяжение приводных ремней. Дробилка может быть пущена в работу только при исправных ограждениях.

Щекую дробилку пускают только вхолостую, предварительно подав звуковой и световой сигналы. При появлении после пуска ненормального стука, дробилку необходимо остановить, выяснить причину стука, устранить неисправности и снова пустить.

После пуска дробилка должна работать вхолостую в течение нескольких минут, а затем через 2-3 минуты после установления нормальной скорости вращения ее равномерно загружают рудой через питатель.

Останавливать щековую дробилку отключением приводного двигателя следует только после полной ее разгрузки от материала.

При эксплуатации щековых дробилок с течением времени происходит увеличение разгрузочной щели. Это обуславливается износом футеровок, а также распорных плит и их вкладышей. Поэтому необходимо периодически замерять величину щели и производить регулировку.

Во время работы дробилки наблюдают за температурой подшипников и общим состоянием всех узлов. Температура подшипников не должна превышать 65-70°C.

Основные неисправности щековых дробилок.

Характер неисправности:

1. Прекратилось дробление, материал выпадает недробленным.
2. Резкий треск, подвижная щека перестала качаться.
3. Резкий треск, слышны металлические удары.
4. Заметно биение маховика. Вал замедляет вращение.
5. Уменьшилось число оборотов эксцентрикового вала.
6. Температура масла на сливе с подшипников превышает 60°C.

Возможная причина:

1. Поломка распорной плиты: неравномерный износ вкладышей.
2. Разрушена распорная плита.
3. Поломка дробящей плиты.
4. Ослаблена и сорвана шпонка у шкива маховика.
5. Ослабла ременная передача.
6. Чрезмерно затянуты крышки подшипников. Подается недостаточное количество смазки.

Быстроизнашиваемые детали щековых дробилок.

- Футеровочные плиты и пружины 4-6 месяцев
- Распорные плиты, вкладыши и гнезда для распорных плит, вкладыши подшипников коленчатого вала и оси подвижной щеки, вкладыши или заливки головки шатуна 10-12 месяцев

Дробилки ударного действия.

В измельчителях ударного действия измельчение материала осуществляется под действием ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникать при взаимном столкновении частиц измельчаемого материала, столкновении частиц материала с неподвижной поверхностью, столкновении материала и движущихся рабочих органов машин.

К дробилкам ударного действия относятся роторные и молотковые дробилки, а также пальцевые измельчители.

В дробилках ударного действия кусок подвергается воздействию рабочего органа только с одной стороны. Возникающая при этом сила уравнивается силой инерции куска, которая должна быть достаточной для создания разрушающих напряжений. Дробление материала происходит под воздействием механического удара. При этом кинетическая энергия движущихся тел частично или полностью переходит в деформации разрушения.

Данные дробилки применяют для измельчения малоабразивных материалов средней прочности и мягких (известняков, мела, гипса, калийных руд и др.). Они позволяют получить высокую степень измельчения $i = 15 \dots 20$, в отдельных случаях до $i = 50$, что позволяет уменьшить число стадий дробления. Дробилки отличаются простотой конструкции и эксплуатации, избирательностью дробления и малой металлоемкостью.

По конструкции рабочих органов различают роторные с жестко закрепленными билами (рис. 7.2, а, в, з), молотковые с шарнирно подвешенными молотками (рис. 7.2, б), дробилки ударного действия и пальцевые измельчители. По числу роторов различают однороторные (рис. 7.2, а) и двухроторные (рис. 7.2, в, з) дробилки. Двухроторные дробилки одноступенчатого дробления (рис. 7.2, в) имеют высокую производительность. Исходный материал поступает равномерно на оба ротора, которые работают самостоятельно в одном корпусе. В двухроторных дробилках двухступенчатого дробления (рис. 7.2, з) материал в зоне действия первого ротора подвергается предварительному дроблению, а затем в зоне действия второго ротора – повторному дроблению.

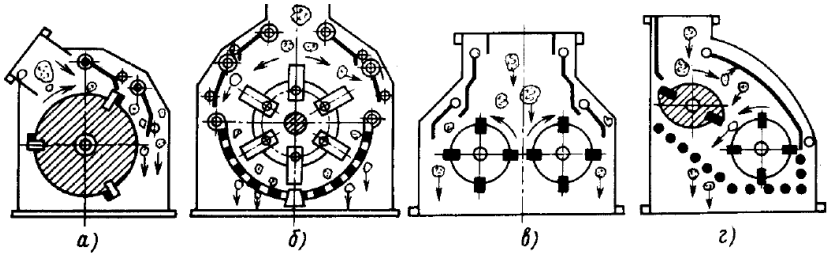


Рис. 7.2. Принципиальные схемы ударных дробилок

Роторные дробилки могут применяться для дробления крупных кусков, так как имеют массивный ротор и обладают большим запасом энергии рабочих органов.

В молотковых дробилках (рис. 7.2, б) процесс дробления определяет лишь кинетическая энергия самого молотка. В пальцевых измельчителях рабочим органом являются два диска с установленными по их периферии пальцами. Различают пальцевые измельчители с одним вращающимся диском (дисмембраторы) и с двумя вращающимися навстречу друг другу дисками (дезинтеграторы). Типоразмеры роторных и молотковых дробилок определяются диаметром и длиной ротора, а пальцевых измельчителей – наружным диаметром диска.

По технологическому назначению роторные дробилки делят на дробилки крупного (ДРК), среднего (ДРС) и мелкого дробления (ДРМ). Принципиальные конструктивные схемы роторных дробилок, во многом, одинаковы и отличаются числом отражательных плит и соотношениями размеров ротора. Камера дробления у дробилок ДРК образуется ротором и двумя отражательными плитами, у дробилок ДРС и ДРМ – ротором и тремя плитами. Конструкция роторной дробилки для крупного дробления показана на рис. 7.3.

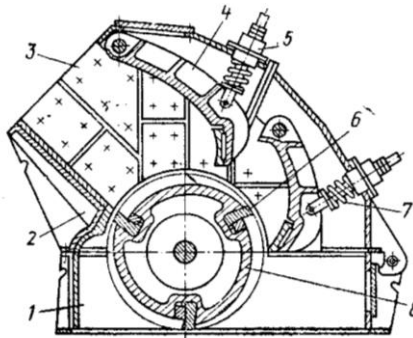


Рис. 7.3. Роторная дробилка

Корпус дробилки – сварной, разъемный, состоит из основания 1 и верхней части 2. Верхняя часть корпуса изнутри футерована броневыми плитами 3. Вал ротора 8 установлен на роликовых подшипниках, расположенных в кор-

пусах основания 1. Корпус ротора – стальной, литой, в пазах клиньями закреплены била 6 из износостойкой стали или отбеленного чугуна.

Внутри верхней части корпуса шарнирно закреплены несколько отражательных плит 4. Пространство между ротором, отражательной плитой и боковыми футеровочными плитами образует камеру дробления. Для регулирования степени измельчения расстояние между нижними кромками отражательных плит и билами изменяется при помощи подпружиненных тяг 5. Они являются также механизмами предохранения машины от поломок при попадании в нее недробимых предметов. Верхняя часть корпуса имеет разъемные переднюю и заднюю части. Последняя при помощи встроенного домкрата может откидываться на шарнире, что облегчает доступ к рабочим органам для их осмотра и ремонта. Приемное отверстие дробилок снабжают цепной завесой, исключающей выбрасывание кусков измельчаемого материала под воздействием бил.

Конструкция молотковой дробилки показана на рис. 7.4.

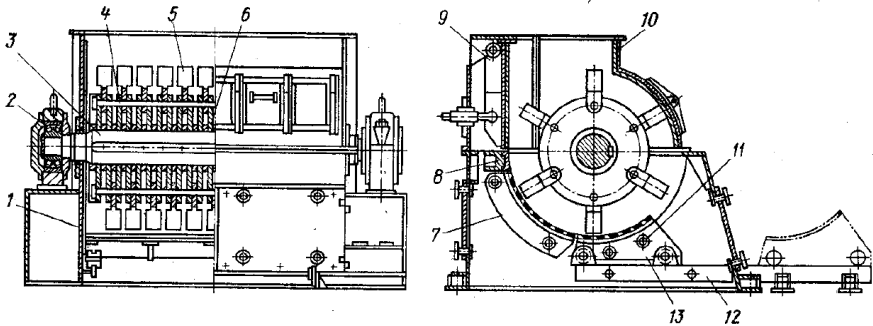


Рис. 7.4. Молотковая дробилка

Корпус дробилки состоит из основания 1 и крышки 10. В сварном корпусе вращается вал ротора 3, установленный на роликовых подшипниках 2, вынесенных за пределы корпуса. Корпус изнутри футерован сменными броневыми плитами; в левой части крышки установлена отбойная плита 9. На валу ротора размещены диски 6 с дистанционными кольцами между ними. Через диски проходят оси 4 с шарнирно подвешенными молотками 5. Число рядов молотков и их общее количество определяется назначением дробилки и ее размерами. На крупных дробилках устанавливают до 100 молотков массой 4...70 кг (в зависимости от типоразмера дробилки). Для регулирования размера частиц продукта в крупных дробилках используется отбойный брус 8, перемещаемый в направляющих и фиксируемый в требуемом положении винтами. В нижней части камеры дробления установлены две колосниковые решетки: поворотная 7, шарнирно подвешенная на оси и выкатная. Рама 13 выкатной решетки установлена на катках, опорами для которых служат рельсы 12. Зазор между выкатной решеткой и молотками регулируют вращением эксцентриков 11. Била и молотки, работающие в тяжелых условиях в абразивной среде, из-

готовляют из стали 110Г13Л или из обычной углеродистой стали с наплавкой на рабочие поверхности износостойких сплавов.

Эксплуатация молотковых дробилок

Перед пуском дробилки необходимо проверить крепление шкивов, полумуфт, подшипников, молотков, осей молотков, дисков, ротора и других соединений, а также наличие масла в подшипниках; отсутствие заклинивания ротора при повороте его вручную. Осмотру подлежат также крепления броневых плит.

После проверки состояния дробилки включается электродвигатель дробилки на холостом ходу. При появлении после пуска ненормального стука следует остановить электродвигатель для выяснения причин ненормальной работы.

Загружать материал, подлежащий дроблению, в дробилку можно только после того, как ротор достигнет рабочих оборотов.

Во время работы молотковой дробилки нельзя регулировать зазор между ротором и колосниковой решеткой, а также открывать дробилку.

Перед остановкой дробилки следует прекратить загрузку. До остановки дробилки следует прослушать ее работу на холостом ходу.

Во время работы температура нагрева подшипников не должна превышать 60-70°C.

Основные неисправности в работе молотковых дробилок.

Характер неисправности:

1. Повышенная вибрация в момент пуска.
2. Стук в дробилке.
3. Нагрелись подшипники (рука не терпит 2-3 с.).
4. Увеличилась крупность дробленого продукта.

Возможная причина неисправности:

1. Ротор плохо отбалансирован.
2. Ослабло крепление футеровочных плит. Поломка молотка, оси молотка и т.д.
3. Недостаток масла, загрязненность масла, повреждение подшипника.
4. Большой износ молотков. поломка колосников решетки. Решетка забита, и материал выбрасывается за решеткой.

Быстроизнашиваемые детали молотковых дробилок.

- Молотки, колосниковая решетка, броневые плиты 5-12 месяцев.
- Диски роторов 3-4 года.

Вибрационные мельницы.

Помол материалов может быть интенсифицирован за счет более высокой частоты воздействия рабочих органов машин на измельчаемый материал.

Такие режимы измельчения реализуются в вибрационных и струйных мельницах.

В вибрационных мельницах за счет высокочастотного воздействия удара и истирания на измельчаемый материал можно получать продукт с размерами частиц $1 \dots 5$ мкм. В качестве мелющих тел используют шары, которые изготавливают из стали, твердых сплавов или фарфора.

Различают вибрационные измельчители периодического и непрерывного действия. В зависимости от способа возбуждения вибрации их делят на машины гириционного и инерционного типов. Вибрационный измельчитель гириционного типа (рис. 7.5, а) состоит из электродвигателя 1, соединенного через муфту 2 с коленчатым валом 3, на котором эксцентрично на подшипниках закреплен корпус 4 измельчителя. Корпус установлен на пружинах 7 и заполнен шарами 5; коэффициент заполнения $\phi = 0,8 \dots 0,9$. При вращении вала с частотой $1500 \dots 3000$ об/мин корпус совершает гириционное движение. От корпуса колебания передаются шарам, которые начинают с соударениями медленно циркулировать в сторону, противоположную вращению вала.

При колебаниях шаров происходят их отрывы то корпуса. Для уравнивания центробежных сил корпуса служат противовесы 6. Наиболее широко распространены вибрационные измельчители инерционного типа (рис. 7.5, б). В них для создания вибраций используется вибровозбудитель, представляющий собой вал с дебалансной массой 8. В измельчителях инерционного типа частота вращения вала и характер движения шаров обеспечиваются такими же, как и в измельчителях гириционного типа.

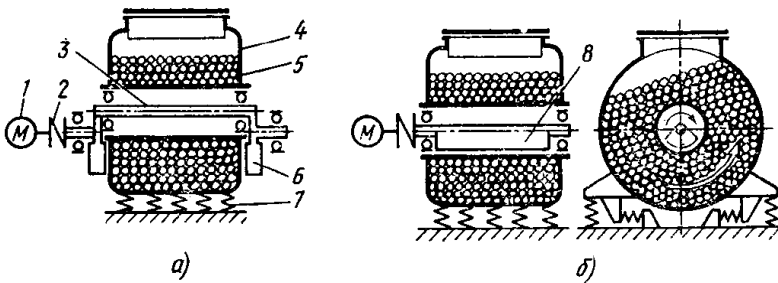


Рис. 7.5. Схемы вибрационных измельчителей

Вибрационная инерционная мельница (рис. 7.6) состоит из корпуса 1, в котором в подшипниках 3 установлен дебалансный вал 2, приводимый во вращение двигателем 4. Корпус мельницы опирается на пружины 5.

В процессе работы корпус мельницы, мелющие тела и измельчаемый материал вибрируют с высокой частотой колебаний ($1500 \dots 3000$ мин⁻¹). Вследствие этого мелющие тела (шары, стержни) интенсивно воздействуют на материал и измельчают его. При измельчении материала в этих мельницах выделяется большое количество тепла, что может вызвать нагрев корпуса до 300°C .

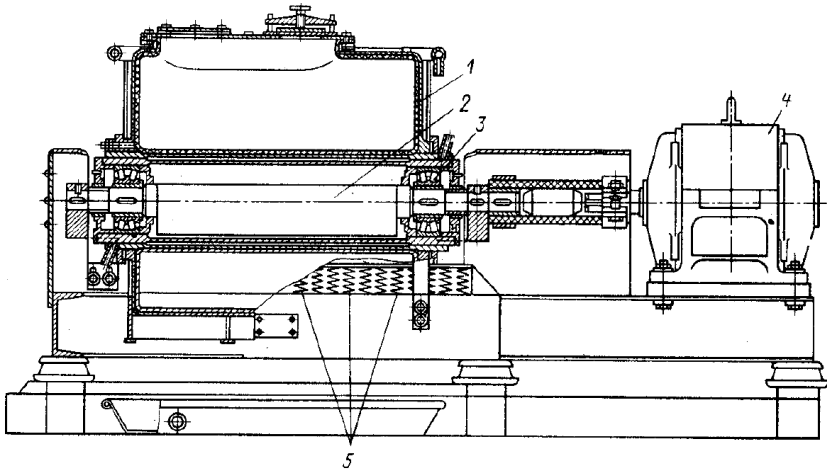


Рис. 7.6. Вибрационная инерционная мельница

Для снижения температуры нагрева корпус мельниц изготавливается с рубашкой для охлаждения водой. Вибрационные мельницы сухого помола, как правило, работают в замкнутом цикле с воздушным сепаратором.

Струйные мельницы

Струйные измельчители применяются для измельчения материалов средней прочности с получением частиц до $2 \dots 5$ мкм. Принцип действия струйных измельчителей основан на использовании энергии сжатого газа или пара. Энергоноситель при расширении в соплах приобретает большую скорость, достигающую иногда нескольких сотен метров в секунду. Частицы материала измельчаются вследствие соударения между собой при пересечении потоков струй, а также ударов и истирания о стенки камеры.

Одним из достоинств струйных мельниц является возможность практически полного исключения загрязнения измельчаемого материала продуктами износа. В зависимости от вида энергоносителя различают воздушно-, газо-, и пароструйные мельницы, в которых энергоносителем является сжатый воздух, инертный газ и перегретый пар, соответственно.

По конструкции помольной камеры различают мельницы с противоточной камерой (применяются для тонкого измельчения материалов), с плоской и трубчатой камерой (для сверхтонкого (коллоидного) измельчения).

Мельница с противоточной камерой (рис. 7.7, а) состоит из помольной камеры 1, футерованной износостойким материалом. В камере с противоположных сторон установлены разгонные трубки 2 с размещенными в них соплами 3 для подачи энергоносителя. В разгонные трубки по рукавам 4 подается измельчаемый материал. Поток газа или пара материал направляется в камеру 1, в которой происходит измельчение за счет соударения частиц. Измель-

ченный материал через трубу 5 попадает в сепаратор 6, где происходит отделение крупной фракции. Последняя возвращается на повторное измельчение, а мелкая фракция через штуцер 7 выводится из измельчителя. Питатель 8 служит для подачи исходного материала.

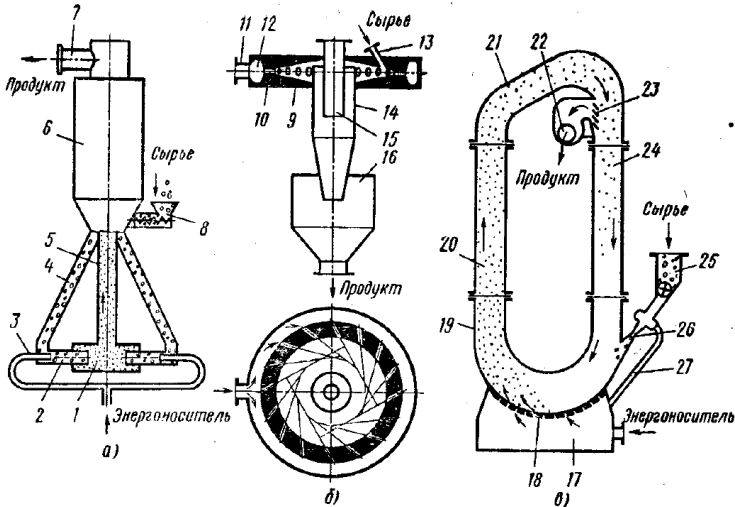


Рис. 7.7. Струйные мельницы

Измельчитель с плоской помольной камерой (рис. 7.7, б) состоит из камеры 9, коллектора 12 и циклона-сепаратора 14. Измельчаемый материал через штуцер 13 подается в камеру 9, в которую из кольцевого коллектора 12 через сопла 10 поступает сжатый газ или пар. При этом сопла располагаются так, чтобы струи пересекались внутри камеры. Вследствие этого частицы материала, увлекаемые струями газа, соударяются и разрушаются. При вращении пылегазовой смеси в камере более тяжелые частицы оттесняются к ее периферии, где вновь захватываются потоком энергоносителя, подаваемого через штуцер 11.

Поток газа с более мелкими частицами поступает в циклон-сепаратор 14, в котором большая часть твердой фазы отделяется от газа и попадает в сборник 16. Оработанный газ через трубу 15 направляется на окончательную очистку.

Струйная мельница с трубчатой камерой (рис. 7.7, в) состоит из двух труб 20 и 24, соединенных снизу подковообразной помольной камерой 19, а сверху – дугообразной сепарационной трубой 21. В помольную камеру снизу через два ряда сопел 18, расположенных наклонно одно к другому, из коллектора 17 подводится энергоноситель. Измельчаемый материал из воронки 25 вводится в рабочую зону эжектором 26, воздух к которому подводится через трубку 27. Частицы материала, увлекаемые пересекающимися струями энергоносителя, измельчаются в результате взаимных соударений, а также ударов

о стенки и истирания. Энергоносителем частицы перемещаются вверх по трубе 20. В сепараторе за счет поворота пылегазового потока более крупные частицы отходят к периферии и с нисходящим потоком по трубе 24 возвращаются на повторное измельчение. Очищенный газ с мелкими частицами проходит через жалюзийную решетку 23 и через патрубок 22 направляется на дальнейшую очистку в фильтры. При этом из отходящего потока с помощью жалюзийной решетки удаляются более крупные частицы.

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкцию и принцип работы измельчающей машины, выполнить ее эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип ее работы.
3. Указать возможные неисправности при работе измельчающей машины.
4. Описать состав технического обслуживания измельчающей машины.
5. Составить вывод по работе.

Лабораторная работа №8

Эксплуатация плунжерной дозирующей насосной установки

Цель работы: изучение конструкции и принципа работы плунжерной дозирующей насосной установки.

Введение

Дозирующие агрегаты относятся к классу объемных плунжерных насосов.

Дозирующие и синхронизирующие электронасосные агрегаты применяются в химической и нефтехимической промышленности для дозирования органических и неорганических растворов, суспензий и кислот, включая воспламеняющиеся, взрывоопасные, агрессивные, токсичные и радиоактивные.

В дозирующей установке можно выделить собственно агрегат и трубопроводную систему.

Дозирующий агрегат включает:

- шесть гидроблоков плунжерного типа;
- стойка приводная;
- цепной вариатор;
- электродвигатель.

Кроме этого имеются три системы смазки механизмов движения:

- циркуляционная смазка;
- индивидуальная для смазки механизмов изменения хода плунжеров;
- смазка механизмов вариатора окунанием и разбрызгиванием.

Подача (производительность) одного плунжерного насоса определяется зависимостью:

$$Q = \eta \frac{FSn}{60}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где η – коэффициент подачи (0,9); F – площадь плунжера, м^2 ; S – ход плунжера, м ; n – число двойных ходов, об/мин .

Из зависимости следует, что подача может регулироваться изменением числа оборотов приводного вала и изменением длины хода плунжера. Первый вариант реализуется с помощью вариатора числа оборотов от электродвигателя, а второй – с помощью механизмов изменения длины хода плунжера каждого гидроблока.

Принципиальная схема установки с плунжерными дозирующими насосами представлена на рис. 8.1.

На рисунке 8.2. представлен гидроблок плунжерного насоса.

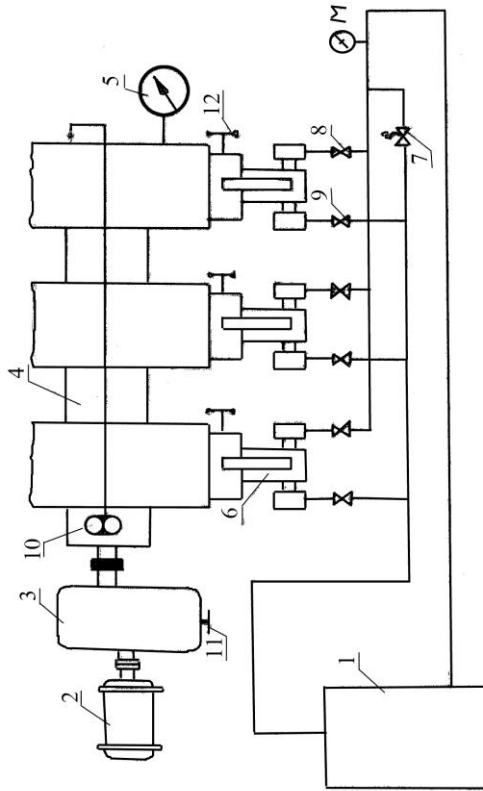


Рис. 8.1. Принципиальная схема установки с плунжерными дозирующими насосами
 1 - емкость; 2 - электродвигатель; 3 - цепной азатор; 4 - механическая стойка передачи вращения;
 5 - тахометр; 6 - гидроцилиндры; 7 - вентиль нагнетания; 8 - вентиль линии всасывания; 9 - перепускной
 клапан; 10 - шестеренчатый насос; 11 - ручка управления вариатором; 12 - ручка управления длиной хода
 плунжера; М - манометр.

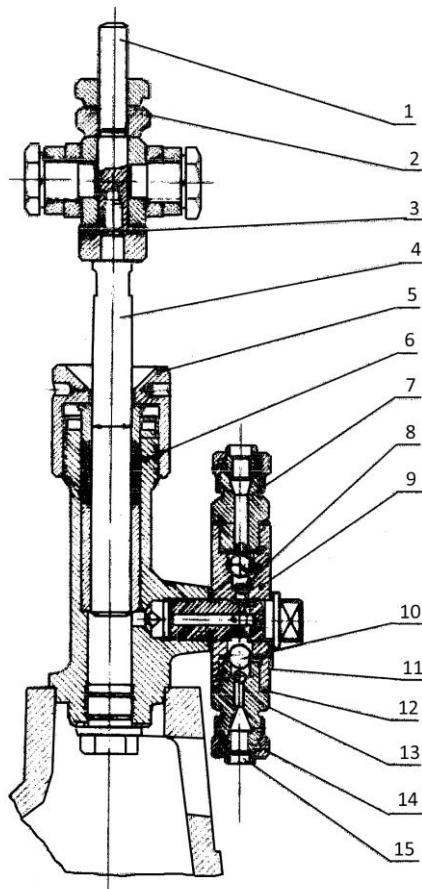


Рис. 8.2. Гидроблок плунжерного насоса

1 - шток; 2 - гайка штока; 3 - гайка плунжера; 4 - плунжер; 5 - гайка сальника; 6 - гидроцилиндр; 7 - ниппель нагнетательного клапана; 8 - запорный шарик; 9 - корпус нагнетательного клапана; 10 - запорный шарик; 11, 12 - уплотнения; 13 - корпус всасывающего клапана; 14 - гайка; 15 - ниппель.

Для обеспечения надежной эксплуатации плунжерных насосов должна быть подготовлена следующая информация:

- параметры работы насоса и параметры работы отдельных узлов;
- возможные неисправности при работе насоса, при работе системы смазки;

- правила подготовки насоса к пуску;
- правила пуска насоса в работу;
- правила остановки насоса;
- возможные аварийные ситуации в системах насоса и правила действия по их устранению;

- правила безопасной работы.

Обслуживающий персонал (машинист, оператор) должен быть знаком с:

- конструктивной схемой насоса и назначением его узлов;
- трубопроводной обвязкой агрегата и назначением агрегата в технологической схеме объекта.

На рис. 8.3. представлена схема привода насоса с изменяемой длиной хода плунжера с эксцентриковым механизмом.

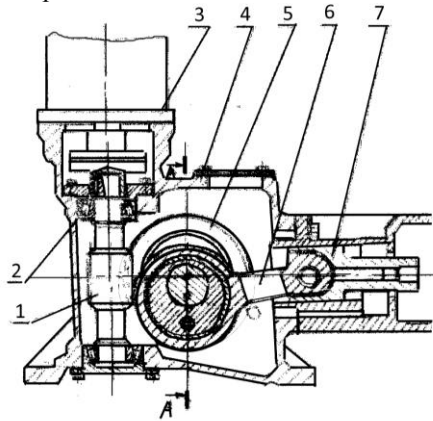


Рис. 8.3. Привод насоса с изменяемой длиной хода плунжера с эксцентриковым механизмом

- 1 - червяк; 2 - подшипник роликовый; 3 - упругая муфта;
4 - корпус; 5 - червячное колесо; 6 - шатун;
7 - ползун.

Червячное колесо жестко соединено с эксцентриковым валом, на шейке которого надет эксцентрик.

Шатун, надетый на эксцентрик, служит для преобразования вращательного движения вала в возвратно-поступательное движение ползуна, с которым соединен плунжер гидроцилиндра. Вращая эксцентрик относительно шейки вала, можно менять суммарный эксцентриситет, а, следовательно, и длину хода плунжера насоса от максимума до нуля.

На рис. 8.4. представлена схема привода насоса с изменяемой длиной хода плунжера с рычажным механизмом.

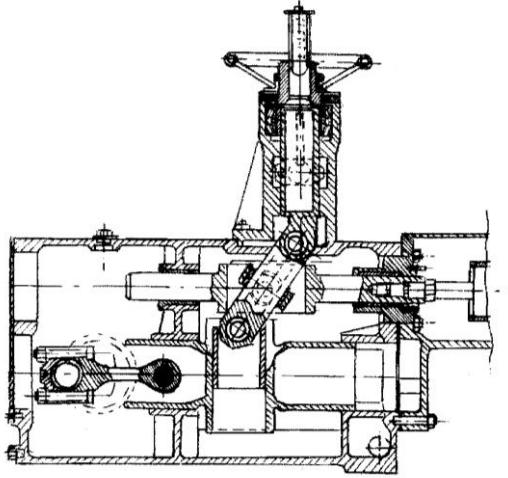


Рис. 8.4. Привод насоса с изменяемой длиной хода плунжера с рычажным механизмом

Привод насоса работает следующим образом.

Закрепленные на шейках коленчатого вала шатуны приводят в качательное движение серьги. Через общий палец качательное движение серег передается большой головке тяги. При этом малая головка тяги совершает возвратно-поступательное движение.

Эксплуатация дозирующих установок

- Дозировочные насосы и электронасосные агрегаты с максимальной подачей одного цилиндра 0,04 ... 2500 л/ч, давлением до 40 МПа предназначены для объемного напорного дозирования нейтральных и агрессивных жидкостей, эмульсий и суспензий кинематической вязкостью $(0,0035 \dots 8) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре от -15 до $+200^\circ\text{C}$, концентрацией твердой неабразивной фазы до 10% (масс.).

- Регулирующий механизм имеет нониусную микрометрическую шкалу для установки длины хода плунжера гидроцилиндра. Конструкция регулирующего механизма обеспечивает линейную зависимость между перемещением регулирующего органа и изменением длины хода плунжера.

- Перед эксплуатацией насоса необходимо проверить направление вращения приводного двигателя при разъединенной муфте. Направление вращения насоса показано стрелкой, нанесенной на его корпус. Обычно направление вращения правое (если смотреть со стороны привода).

- Плунжерные насосы перед первым пуском должны быть освобождены от воздуха и заполнены жидкостью. Работа всухую приводит к интенсивному износу сальников.

- Объемные насосы нельзя пускать при закрытой задвижке на напорном трубопроводе, так как недопустимое увеличение давления может вызвать повреждение.

- В период работы особенно важен постоянный контроль за качеством и количеством масла. Необходимо еженедельно проверять уровень масла в картере и подшипниках.

- Нормальная температура эксплуатации подшипников 45 ... 60°C, максимально допустимая 80°C. Если она достигнута или превышена, насос необходимо выключить. Температуру подшипников следует контролировать постоянно.

- Для проверки надежной работы сальникового уплотнения достаточно внешнего осмотра.

- При остановке объемного насоса задвижки на всасывающем и напорном трубопроводе оставляют открытыми.

- Первую смену масла и чистку масляных полостей в подшипниках с жидкой смазкой проводят после 200 ч эксплуатации, следующую смену масла – после 1500 ... 2000 ч, но не реже одного раза в год. При контроле качества масла через лабораторию допускают большую продолжительность работы.

- Подшипники с консистентной смазкой следует равномерно заполнять смазкой и через 1000 ... 2000 ч эксплуатации обновлять ее.

- Сальниковую набивку заменяют через 2000 ч эксплуатации.

Техническое обслуживание плунжерных насосов включает в себя: осмотр и ремонт клапанов, проточка или притирка седел. Проверка состояния крейцкопфных направляющих, муфт и резьбовых соединений. Проверка стопорных устройств узла крепления плунжера, пальца крейцкопфа, шатунных болтов. Очистка трубок масляной системы, промывка фильтров маслосистемы.

В таблице 8.1. приведены возможные неисправности плунжерных насосов.

Таблица 8.1. Возможные неисправности плунжерных насосов

Неисправности	Причины	Способы устранения
Снижение подачи	Зависание клапана	Разобрать и отрегулировать вентиль
	Попадание в клапан твердых частиц	Проверить уплотняющие поверхности, при необходимости притереть или заменить
	Клапан закрывается не полностью	Проверить пружину клапана или заменить
	Гильза цилиндра и поршневые кольца изношены или имеют риски	Прошлифовать или расточить, при возможности заменить гильзу и кольцо
Неустойчивая работа насоса	Мал подпор на входе	Обеспечить допустимый подпор
	Высота всасывания больше допустимой	Установить начальный уровень в приемном резервуаре, проверить всасывающий трубопровод и приемный клапан, при необходимости очистить их
	Парообразование в насосе	Увеличить подпор или уменьшить высоту всасывания
	Просачивание воздуха в насос через всасывающую линию	Уплотнить всасывающую линию, проконтролировать сальник
Слишком большое повышение давления	Не полностью открыт запирающий орган на напорном трубопроводе	Полностью открыть заслонку или вентиль
	Напорный трубопровод засорен или чрезвычайно удлиннен	Проконтролировать и обеспечить начальное состояние трубопровода

Продолжение таблицы 8.1.

Неисправности	Причины	Способы устранения
Чрезмерно шумная работа клапана	Недостаточное крепление	Проверить крепление клапана; при необходимости заменить уплотнительное кольцо
	Сломана пружина клапана	Заменить пружину
Стук в подшипнике крейцкопфа	Слишком велик зазор	Заменить подшипник крейцкопфа; при изготовлении из двух частей отрегулировать зазор
Чрезмерный нагрев подшипника	Некачественное масло	Сменить масло
	Недостаточное давление масла	Отрегулировать давление масла маслоснасосом
Падение давление масла	Велики зазоры в подшипнике	Отрегулировать подшипник удалением прокладки
Насос не всасывает жидкость	Неплотности во всасывающем трубопроводе	Проверить соединительные стыки всасывающего трубопровода
	Высота всасывания больше допустимой	Восстановить уровень в приемном резервуаре, проверить всасывающий трубопровод и приемный клапан, при необходимости очистить
	Насос не заполнен	Заполнить насос заново

Содержание протокола лабораторной работы

1. В соответствии с заданием изучить конструкцию и принцип работы дозирующей установки, выполнить ее эскиз, составить спецификацию основных элементов.
2. Кратко описать принцип ее работы.
3. Указать возможные неисправности при работе дозирующей установки.
4. Описать состав технического обслуживания дозирующей установки.
5. Составить вывод по работе.

Библиографический список

1. Машины и аппараты химических производств / под ред. А.С. Тимонина. Калуга: Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2008. 872 с.
2. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Альфа-М, 2006. 608 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 784 с.
4. Машины и аппараты химических производств / под ред. И.И. Чернобыльского. М.: Машиностроение, 1975. 456 с.
5. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. М.: Высшая школа 1970. 350 с.
6. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. М.: Машиностроение, 1985. 408 с.
7. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки. М.: Альфа-М, 2008. 720 с.
8. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М.: Машиностроение, 1976. 376 с.
9. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. 752 с.
10. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: примеры и задачи / М.Ф. Михалёв, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко и др. 2-е изд. М.: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. 312 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Новомосковский институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»

Кафедра «Оборудование химических производств»

Лабораторная работа по дисциплине
«Машины и аппараты химических производств»
тема работы:

«_____»

Студент

Шифр

Группа

Преподаватель

Учебное издание

**Машины и аппараты химических производств
Лабораторный практикум**

Составители:
Клочков Валерий Иванович,
Каменский Михаил Николаевич,
Сафонов Борис Петрович.

Редактор Туманова Е.М.
Подписано в печать _____ г. Формат 60×84¹/₁₆
Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.
Тираж 50 экз. Заказ № _____

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»
Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.
Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9
Адрес института: 301650, Тульская обл., Новомосковск, ул. Дружбы, 8