



ОБОРУДОВАНИЕ И СКЛАДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие для профессиональных
центров

Йыхви, 2012

KEEMIATÖÖSTUSE SEADMED JA LAOMAJANDUS

Käesolev õppematerjal on valminud „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007-2013” ja sellest tuleneva rakenduskava „Inimressursi arendamine” alusel prioriteetse suuna „Elukestev õpe” meetme „Kutseõppe sisuline kaasajastamine ning kvaliteedi kindlustamine” programmi Kutsehariduse sisuline arendamine 2008-2013” raames.

Õppematerjali autorid: **Larisa Grigorieva, Sergey Chekryzhov, Irina Leppik, Galina Trofimova**

Retsensent Nina Oshchepkova

Õppematerjali lihtlitsents kuulub SA INNOVE'le aastani 2018 (kaasa arvatud).

ISBN 978-9949-513-10-9 (pdf)

Selle õppematerjali koostamist toetas Euroopa Liit

Предисловие

Настоящее учебное пособие создано в рамках программы «Содержательное развитие профессионального образования 2008–2013», поддерживаемой Европейским Социальным Фондом (ЕСФ).

Пособие предназначено в первую очередь для учащихся профессиональных образовательных центров и студентов колледжей, обучающихся по программам, связанным с химией, химической технологией и химической техникой. Пособие может быть интересно и другим учебным заведениям, инженерам, техникам и всем, интересующимся актуальными проблемами химической промышленности.

Модуль «Оборудование и складское хозяйство химических производств» включен в государственную программу «Химия и технология процессов» в 2008 году и в настоящее время входит в учебный план специальности «Оператор химических процессов», где могут обучаться выпускники гимназий, имеющие среднее образование.

Основная задача модуля - изучение конструкционных материалов, основных видов оборудования и организации складского хозяйства на химических производствах.

Составители учебного пособия:

- Лариса Григорьева - доцент Вирумааского Колледжа Таллиннского Технического Университета
- Сергей Чекрыжов - лектор Вирумааского Колледжа Таллиннского Технического Университета
- Ирина Леппик – преподаватель Ида-Вирумааского Центра Профессионального образования
- Галина Трофимова - преподаватель Ида-Вирумааского Центра Профессионального образования.

Содержание

Предисловие	1
Содержание	2
1 РАЗДЕЛ. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	8
1.1 Строение, свойства металлов и сплавов	8
1.1.1 Общие сведения о материалах в химическом машиностроении	8
1.1.2 Строение металлов	9
1.1.3 Основные сведения о сплавах.....	11
1.1.4 Свойства металлов и сплавов	12
1.1.5 Контрольные вопросы по теме «Строение и свойства металлов и сплавов»	20
1.2 Железоуглеродистые сплавы.....	21
1.2.1 Общие сведения о железе и его сплавах	21
1.2.2 Чугуны.....	21
1.2.3 Углеродистые стали	25
1.2.4 Легированные стали	26
1.2.5 Легирующие элементы и их влияние на свойства стали	27
1.2.6 Маркировка легированных сталей.....	28
1.2.7 Основы термической и химико-термической обработки сталей	29
1.2.8 Контрольные вопросы по теме «Железоуглеродистые стали»	32
1.3 Цветные металлы и сплавы	33
1.3.1 Алюминий и алюминиевые сплавы	33
1.3.2 Деформируемые алюминиевые сплавы	34
1.3.3 Медь и медные сплавы	36
1.3.4 Титан, тантал, никель, свинец и их сплавы	38
1.3.5 Контрольные вопросы по теме «Цветные металлы и сплавы».....	40
1.4 Коррозия металлов и сплавов.....	41
1.4.1 Разновидности коррозии	41
1.4.2 Методы защиты от коррозии.....	43

1.4.3	Контрольные вопросы по теме «Коррозия металлов и сплавов»	47
1.5	Неметаллические материалы	47
1.5.1	Композиционные материалы	47
1.5.2	Контрольные вопросы по теме «Неметаллические материалы»	63
2	РАЗДЕЛ. ХИМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ	
	ПРЕДПРИЯТИЙ	64
2.1	Основные узлы и детали химического оборудования	64
2.1.1	Обечайки (оболочки) аппаратов	64
2.1.2	Днища	65
2.1.3	Фланцы	66
2.1.4	Штуцеры, люки, опоры.....	70
2.1.5	Контрольные вопросы по теме «Основные узлы и детали оборудования»	73
2.2	Трубопроводы.....	74
2.2.1	Устройство трубопроводов	75
2.2.2	Материалы для трубопроводов	75
2.2.3	Фасонные части трубопроводов	76
2.2.4	Соединения трубопроводов.....	77
2.2.5	Арматура трубопроводов	78
2.2.6	Линейное расширение труб и компенсация расширений	88
2.2.7	Маркировка трубопроводов	90
2.2.8	Контрольные вопросы по теме «Трубопроводы»	90
2.3	Насосы и компрессоры	91
2.3.1	Классификация и параметры работы насосов	91
2.3.2	Центробежные насосы	93
2.3.3	Поршневые насосы.....	99
2.3.4	Плунжерные насосы	102
2.3.5	Винтовые насосы	103
2.3.6	Шестеренные насосы	104

2.3.7	Осевые (пропеллерные) насосы.....	105
2.3.8	Вихревые насосы.....	105
2.3.9	Струйные насосы.....	106
2.3.10	Роторные пластинчатые насосы.....	106
2.3.11	Классификация компрессорных машин.....	107
2.3.12	Поршневые компрессоры.....	108
2.3.13	Центробежные компрессоры.....	110
2.3.14	Турбогазодувки, турбокомпрессоры.....	110
2.3.15	Осевые компрессоры и вентиляторы.....	111
2.3.16	Контрольные вопросы по теме «Насосы и компрессоры».....	112
2.4	Оборудование для транспортировки твердых материалов.....	113
2.4.1	Основные конструкции питателей твердых материалов.....	113
2.4.2	Шнековые (винтовые) питатели.....	113
2.4.3	Питатели ленточные.....	115
2.4.4	Шлюзовые (секторные) питатели.....	116
2.4.5	Тарельчатые (дисковые) питатели.....	117
2.4.6	Плунжерный питатель.....	117
2.4.7	Цепные питатели.....	118
2.4.8	Вибрационные питатели.....	118
2.4.9	Дозаторы твердых сыпучих материалов.....	118
2.4.10	Транспорт твердых материалов.....	120
2.4.11	Виды конвейеров.....	124
2.4.12	Контрольные вопросы по теме «Оборудование для транспортировки твердых материалов».....	138
2.5	Мешалки.....	139
2.5.1	Лопастные мешалки.....	142
2.5.2	Якорные и рамные мешалки.....	143
2.5.3	Пропеллерные мешалки.....	144

2.5.4	Турбинные мешалки	145
2.5.5	Специальные мешалки.....	145
2.5.6	Контрольные вопросы по теме «Мешалки»	146
2.6	Тепловые процессы и аппараты	147
2.6.1	Способы передачи теплоты	147
2.6.2	Нагревающие агенты и способы нагрева.....	155
2.6.3	Охлаждающие агенты и способы охлаждения	162
2.6.4	Теплообменная аппаратура. Классификация и конструкции теплообменников.....	163
2.6.5	Поверхностные теплообменники	163
2.6.6	Смесительные теплообменники	171
2.6.7	Регенеративные теплообменники	172
2.6.8	Выпарные аппараты	174
2.6.9	Простое выпаривание. Однокорпусные выпарные установки.....	177
2.6.10	Многokратное выпаривание. Многokорпусные выпарные установки	178
2.6.11	Выпарные установки с тепловым насосом	181
2.6.12	Конструкции выпарных аппаратов	181
2.6.13	Контрольные вопросы по теме «Тепловые процессы и аппараты»	187
2.7	Сушилки	188
2.7.1	Конструкции сушилок.....	190
2.7.2	Конструкции конвективных сушилок.....	194
2.7.3	Контактные сушилки	198
2.7.4	Контрольные вопросы по теме «Сушилки».....	199
2.8	Химические реакторы	200
2.8.1	Классификация химических реакторов	201
2.8.2	Реакторы вытеснения.....	202
2.8.3	Реакторы смешения	203
2.8.4	Конструктивные особенности реакторов.....	205

2.8.5	Емкостные реакторы с мешалкой.....	206
2.8.6	Трубчатый реактор	209
2.8.7	Колонные реакторы	210
2.8.8	Реакторы теплообменного типа.....	214
2.8.9	Реакторы для контактно-каталитических процессов.....	217
2.8.10	Реакторы с неподвижным слоем катализатора	218
2.8.11	Реакторы с движущимся слоем катализатора	220
2.8.12	Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора	220
2.8.13	Защитные покрытия и тепловая изоляция реакторов	221
2.8.14	Контрольные вопросы по разделу «Химические реакторы»	224
2.9	Аппараты высокого давления.....	225
2.9.1	Автоклавы.....	225
2.9.2	Колонны высокого давления	227
2.9.3	Контрольные вопросы по теме «Аппараты высокого давления»	231
2.10	Аппараты колонного типа	232
2.10.1	Тарельчатые колонны	233
2.10.2	Классификация контактных устройств тарельчатых колонн	237
2.10.3	Насадочные колонны	243
2.10.4	Типы насадок	244
2.10.5	Контрольные вопросы по теме «Колонные аппараты»	247
2.11	Экстракторы.....	248
2.11.1	Общие сведения о процессе экстракции	248
2.11.2	Способы организации процесса экстракции.....	250
2.11.3	Экстракционные аппараты для систем жидкость-жидкость	252
2.11.4	Экстракторы для твердых тел	256
2.11.5	Контрольные вопросы по теме «Экстракторы»	259
2.12	Фильтры	260
2.12.1	Фильтры периодического действия.....	262

2.12.2	Фильтры непрерывного действия.....	264
2.12.3	Контрольные вопросы по теме «Фильтры»	267
2.13	Пылеочистители.....	268
2.13.1	Пылеулавливание	268
2.13.2	Механические сухие пылеуловители	272
2.13.3	Аппараты мокрой механической очистки.....	276
2.13.4	Электрофильтры	282
2.13.5	Контрольные вопросы по теме «Пылеочистители»	285
2.14	Дробилки и мельницы	286
2.14.1	Измельчение твердых материалов	286
2.14.2	Виды дробилок.....	289
2.14.3	Мельницы.....	293
2.14.4	Контрольные вопросы по теме «Дробилки и мельницы»	295
3	РАЗДЕЛ. ОСНОВЫ СКЛАДСКОГО ХОЗЯЙСТВА	296
3.1	Типы складов и организация складских работ	296
3.2	Оборудование складов	303
3.3	Хранение газов	308
3.4	Хранение жидкостей	312
3.5	Хранение твердых веществ.....	315
3.6	Требования к учету, упаковке и маркировке опасных химикатов	319
3.7	Требования к складированию горючих веществ и других опасных химикатов	323
3.8	Приемка и складирование сырья	327
3.9	Складирование, маркировка и отгрузка готовой продукции.....	328
3.10	Контрольные вопросы по разделу «Основы складского хозяйства»	332
	ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	333

1 РАЗДЕЛ. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Строение, свойства металлов и сплавов

1.1.1 Общие сведения о материалах в химическом машиностроении

Конструкционные материалы - материалы, из которых изготавливаются детали конструкций (в том числе химического оборудования), воспринимающих силовую нагрузку. Именно свойства материалов определяют возможности оборудования.

При выборе материала учитывают показатели: прочность, теплопроводность, стойкость к коррозии и т.д. Но главными параметрами конструкционных материалов являются механические свойства, что отличает конструкционные материалы от других технических материалов (смазочных, лакокрасочных, декоративных).

Материалы в развитии цивилизации всегда играли важную роль. Американский ученый А. Хиппель высказал мнение, что историю цивилизации можно описать как смену используемых человечеством материалов.

Целые эпохи истории цивилизации были названы по материалам, которые были в то время определяющими: каменный, медный, бронзовый, железный века.

Человечество долго использовало для своих нужд (орудия труда и охоты, утварь) ограниченный круг материалов: дерево; камень; волокна растительного и животного происхождения; обожжённую глину; стекло; бронзу; железо.

Промышленный переворот 18 века и дальнейшее развитие техники, особенно создание паровых машин и появление в конце 19 века двигателей внутреннего сгорания, усложнили требования к материалам их деталей, которые стали работать при сложных знакопеременных нагрузках, повышенных температурах. Основой конструкционных материалов стали металлические сплавы на основе железа и углерода.

В материаловедении часто металлами называют и металлические сплавы.

Совершенствование техники на каждом этапе развития предъявляло новые, непрерывно усложнявшиеся требования к конструкционным материалам. Например, химическому машиностроению нужны материалы с высокой и длительной стойкостью в агрессивных средах. Но вместе с тем, жёсткие требования предъявляются к коррозионной стойкости материалов для предупреждения негативного действия продуктов коррозии на качество продукции.

Химическое машиностроение использует многие виды конструкционных материалов, которые условно можно разделить на 4 группы:

- стали;
- чугуны;
- цветные металлы и сплавы;

- неметаллические материалы.

1.1.2 Строение металлов

Твердые тела делятся на **кристаллические и аморфные**. *Кристаллические* тела при нагреве остаются твердыми до температуры плавления, при которой они переходят в жидкое состояние. *Аморфные* тела при нагреве размягчаются в большом температурном интервале; сначала они становятся вязкими и только потом переходят в жидкое состояние.

Все металлы и их сплавы – тела кристаллические.

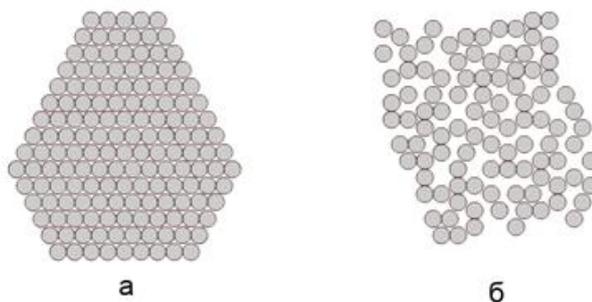


Рис.1.1.1. Различие структуры кристаллических (а) и аморфных тел(б).

Для описания кристаллической структуры металлов пользуются понятием кристаллической решетки. **Кристаллическая решетка** – это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл. Частицы вещества (ионы, атомы), из которых построен кристалл, расположены в определенном геометрическом порядке, который периодически повторяется в пространстве (Рис.1.1.2., а). В отличие от кристаллов в *аморфных телах* (стекло, пластмассы) атомы располагаются в пространстве *беспорядочно, хаотично* (Рис. 1.1.2., б).

Типы кристаллических решеток у различных металлов различны. Наиболее часто встречаются решетки:

- объемно-центрированная кубическая (ОЦК) – α -Fe, Cr, W (Рис. 1.1.2, а),
- гранецентрированная кубическая (ГЦК) – γ -Fe, Al, Cu (Рис. 1.1.2, б),
- гексагональная плотноупакованная (ГПУ) – Mg, Zn (Рис. 1.1.2, в).

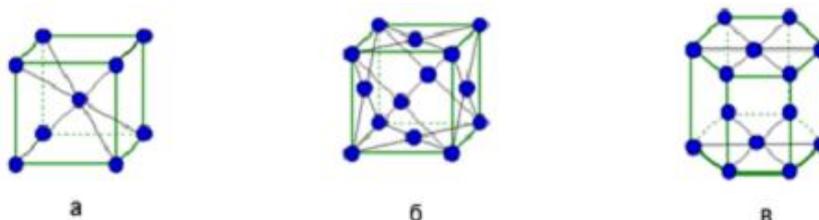


Рис.1.1.2. Типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная; б – граноцентрированная; в – гексагональная плотноупакованная.

В некоторых металлах (железо) кристаллическая решетка перестраивается в зависимости от температуры. До 911°C и в интервале $1392^{\circ}\text{C} \dots 1539^{\circ}\text{C}$ железо

имеет решетку ОЦК, в интервале 911°C...1392°C *железо* имеет решетку ГЦК. Способность менять тип решетки в зависимости от температуры называется **аллотропией** или **полиморфизмом**.

В кристаллах всегда имеются дефекты (несовершенства) строения, обусловленные нарушением правильного расположения атомов кристаллической решетки. Дефекты кристаллического строения подразделяют по геометрическим признакам на *точечные, линейные и поверхностные*.

Атомы совершают колебательные движения возле узлов решетки, а с повышением температуры амплитуда этих колебаний увеличивается.

Наиболее легко перемещаются атомы поверхностного слоя, выходя на поверхность. Место, где находится такой атом, называется *вакансией*.

К **точечным** дефектам относят также

- атом, *внедренный* в междоузлие кристаллической решетки (рис. 1.1.3., а),
- *замещенный* атом, когда место атома одного металла замещается в кристаллической решетке другим, чужеродным атомом (рис. 1.1.3, б).

Линейные дефекты - несовершенства кристаллической решетки, при которой сдвиг на одно межатомное расстояние одной части решетки относительно другой приводит к тому, что число рядов атомов в верхней части решетки на один больше, чем в нижней. Этот дефект называют *линейной дислокацией* (рис. 1.1.3, в).

Из-за дислокаций **реальная прочность железа** примерно в 70 раз ниже теоретической.

Поверхностные дефекты представляют собой границы раздела между отдельными кристаллами (рис. 1.1.3, г). На границе раздела атомы расположены менее правильно, чем в его объеме.

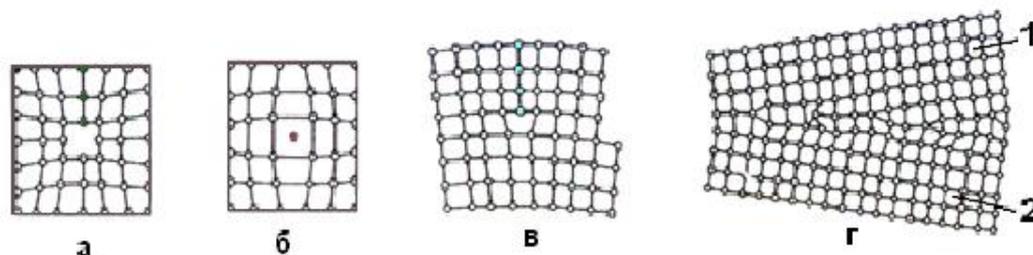


Рис.1.1.3. Дефекты в кристаллах: а – вакансия; б – внедренный атом; в – линейная дислокация; г – поверхностный дефект на границе 1 и 2 кристаллов

Кристаллизация – переход из жидкого состояния в твердое. Каждый чистый металл кристаллизуется при строго индивидуальной температуре.

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий:

- зарождение кристаллов;
- рост кристаллов из этих центров.

Сначала образовавшиеся кристаллы растут свободно и имеют правильную форму. Затем при соприкосновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается. Рост кристалла продолжается только в тех направлениях, где есть свободный доступ жидкого металла. В результате после затвердевания кристаллы получают неправильную форму и их называют кристаллитами или зернами.

Величина зерен зависит от

- числа центров кристаллизации (чем их больше, тем мельче зерно);
- скорости роста кристаллов (чем выше скорость охлаждения, тем мельче зерно).

Чтобы получить мелкое зерно, в расплавленный металл вводят специальные вещества: **модификаторы** (для стали это алюминий, титан, ванадий).

1.1.3 Основные сведения о сплавах

Чистые металлы характеризуются *низким пределом прочности*, поэтому в машиностроении применяют главным образом их сплавы. Например, мягкая медь с добавлением олова превращается в более твердую бронзу.

Металлическим сплавом называют сложное вещество, полученное сплавлением (или спеканием) нескольких металлов или металлов с неметаллами.

Компонентами называют вещества, образующие сплав. Чистый металл представляет собой однокомпонентную систему, сплав двух металлов – двухкомпонентную систему. Получение сплава не всегда возможно. Например, железо со свинцом не образуют сплава, так как в жидком виде они не дают раствора. Обязательное условие для образования сплава – получение однородного жидкого раствора соединившихся компонентов.

При затвердевании жидкого раствора в сплавах получают три типа соединений:

- жидкое состояние;
- твердый раствор;
- химическое соединение;
- механическая смесь.

Однородные жидкие растворы характерны почти для всех металлов, растворяющихся друг в друге в жидком состоянии в любых соотношениях (Рис. 1.1.4, а).

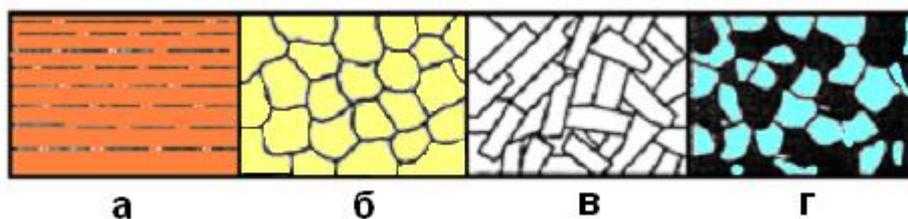


Рис.1.1.4. Компоненты в сплавах: а – жидкое состояние; б – твердый раствор; в – химическое соединение; г – механическая смесь

Твердые растворы образуются в результате перехода в твердое состояние однородных жидких растворов (Рис. 1.1.4, б). В твердом растворе одно из веществ, входящих в состав сплава, сохраняет кристаллическую решетку, а другое в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого вещества. Твердые растворы бывают двух типов: твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения.

В *твердых растворах замещения* часть атомов в кристаллической решетке одного из компонентов замещены атомами другого.

В *твердых растворах внедрения* атомы растворенного компонента внедряются в межатомное пространство кристаллической решетки другого компонента.

Химические соединения образуются при сплавлении различных металлов или металла с неметаллом (Рис. 1.1.4, в).

Химическое соединение – однородное кристаллическое тело, имеет кристаллическую решетку, которая *отлична* от решеток элементов, образующих это соединение.

Механическая смесь двух компонентов образуется тогда, когда при кристаллизации компоненты сплава не способны к взаимному растворению в твердом состоянии (Рис. 1.1.4, г).

1.1.4 Свойства металлов и сплавов

Чтобы судить о том, насколько различные металлы и сплавы пригодны для изготовления деталей оборудования, необходимо знать, какими **свойствами** металлы и сплавы обладают и отвечают ли эти свойства требованиям, предъявляемым к готовым изделиям. Качество металлических изделий во многом определяется физическими, химическими, механическими, а также технологическими и эксплуатационными свойствами материалов, из которых они изготовлены.

К **физическим свойствам** металлов относятся

- цвет;
- плотность;
- температура плавления;
- теплопроводность;

- тепловое расширение;
- теплоемкость;
- электропроводность;
- магнитные свойства и др.

Плотность (кг/м^3) металла или сплава характеризуется его массой, заключенной в единице объема.

Легкие металлы и сплавы имеют плотность около 4500 кг/м^3 и менее (алюминиевые, магниевые, титановые сплавы): алюминий – 2700 кг/м^3 , магний – 1700 кг/м^3 , титан – 4505 кг/м^3 .

Тяжелые металлы - железо (7800 кг/м^3), вольфрам (19300 кг/м^3), свинец (11400 кг/м^3).

Плавокостью называется способность металлов расплавляться, то есть при нагревании переходить в жидкое состояние.

Температурой плавления ($^{\circ}\text{C}$) называют температуру, при которой металл переходит из твердого состояния в жидкое.

По температуре плавления различают

- тугоплавкие металлы (вольфрам $\rightarrow 3416^{\circ}\text{C}$, тантал $\rightarrow 2950^{\circ}\text{C}$, титан $\rightarrow 1725^{\circ}\text{C}$);
- легкоплавкие металлы (олово $\rightarrow 232^{\circ}\text{C}$, свинец $\rightarrow 327^{\circ}\text{C}$, цинк $\rightarrow 419,5^{\circ}\text{C}$, алюминий $\rightarrow 660^{\circ}\text{C}$).

Температура плавления важна при выборе металлов для изготовления литых изделий, сварных и паяных соединений, термоэлектрических приборов.



Теплопроводность ($\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$) - это способность металлов передавать тепло от более нагретых к менее нагретым участкам тела (Рис. 1.1.5). Серебро, медь, алюминий обладают большой теплопроводностью. Железо имеет теплопроводность примерно в 3 раза меньше, чем алюминий и в 4 раз меньше, чем медь.

Рис. 1.1.5. Теплопроводность металлов.



Тепловым расширением (К^{-1}) называют способность металлов увеличиваться в размерах при нагревании и уменьшаться при охлаждении. На рис. 1.1.6 показано тепловое расширение одинаковых труб из различных материалов длиной 50 м при нагреве на 50 градусов.

Рис.1.1.6. Тепловое расширение материалов.

Теплоемкостью (Дж/К) называют способность металла при нагревании поглощать определенное количество тепла. **Удельной теплоемкостью** называется количество теплоты, которое необходимо для нагревания единичного количества вещества. Количество вещества может быть измерено в килограммах, кубических метрах и молях. В зависимости от того, к какой количественной единице относится теплоемкость, различают массовую, объемную и мольную теплоемкости.

Например, удельная теплоемкость воды равняется 4,2 кДж/(кг·К). Это значит, что для того, чтобы нагреть один килограмм воды на один градус, необходимо передать этому килограмму воды 4,2 кДж энергии.

У подавляющего большинства материалов удельная теплоемкость порядка 1 кДж/(кг·К): таблица 1.1.1. Теплоемкость зависит от температуры. Вблизи нуля Кельвина она мала, в рабочем диапазоне температур - слабо меняется с ростом температуры.

Таблица 1.1.1. Теплопроводность и удельная теплоемкость различных материалов

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)
Медь	382—390	0,385
Алюминий	202—236	0,930
Железо	92	0,444
Сталь	47	0,47
Стекло	1	0,67—0,84
Кирпич строительный	0,2—0,7	0,84—1
Воздух (сухой неподвижный)	0,024—0,031	1,005

Химические свойства характеризуют способность металлов и сплавов сопротивляться окислению или вступать в соединение с различными веществами: кислородом воздуха, растворами кислот, щелочей и др. Чем легче металл вступает в соединение с другими элементами, тем быстрее он разрушается.



Химическое разрушение металлов под действием на их поверхность внешней агрессивной среды называют **коррозией** (рис. 1.1.7).

Рис. 1.1.7. Коррозионное разрушение трубы.

Когда на металлический образец действует сила или система сил, он реагирует на это, изменяя свою форму (деформируется). Способность металла сопротивляться воздействию внешних сил характеризуется механическими свойствами. Поэтому

при выборе материала для изготовления деталей машин учитывают его **механические свойства**:

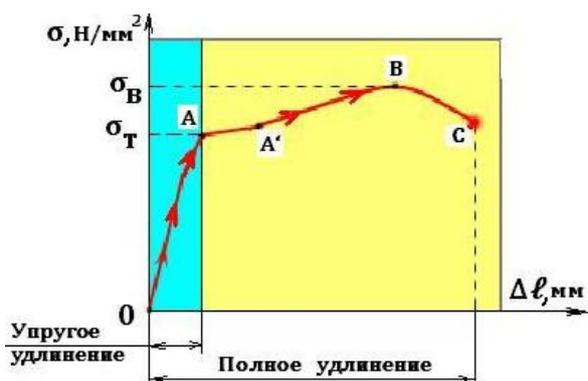
- прочность;
- упругость;
- пластичность;
- ударную вязкость;
- твердость и др.

Эти свойства определяют по результатам механических испытаний, при которых металлы подвергают воздействию внешних сил (нагрузок).

Напряжение (механическое) – величина нагрузки, отнесенная к единице площади поперечного сечения испытуемого образца. Измеряется в Н/м² (Па).

Деформация – изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил.

Для определения прочности, упругости и пластичности металлы в виде образцов круглой или плоской формы испытывают на растяжение. Испытание проводят на разрывных машинах. В результате испытаний получают диаграмму растяжений



(Рис. 1.1.8). По оси абсцисс этой диаграммы откладывают значения деформации, а по оси ординат – нагрузки, приложенные к образцу (возникшие механические напряжения). На диаграмме голубая часть соответствует **упругим деформациям**, при которых после снятия нагрузки образец получает исходную форму и размеры. Желтая часть диаграммы – область **пластических деформаций**.

Рис.1.1.8. Диаграмма растяжения.

Прочность – способность материала сопротивляться разрушению под действием нагрузок, оценивается

- пределом прочности;
- пределом текучести.

Предел прочности σ_B – это напряжение в МПа, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца (на Рис. 1.1.8. точка В):

$$\sigma_B \equiv \frac{P_{\max}}{F_0} \quad (1.1.1.)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка, Н; F_0 – начальная площадь поперечного сечения рабочей части образца, м².

Предел текучести σ_T – это наименьшее напряжение (в МПа), при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки (на Рис. 1.1.8. точка А):

$$\sigma_T \equiv \frac{P_T}{F_0} \quad (1.1.2)$$

где P_T – нагрузка, при которой на диаграмме растяжения наблюдается площадка текучести (площадка А...А'), Н.

Упругость – способность материала восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия нагрузки.

Некоторые металлические конструкции намеренно проектируют так, чтобы они упруго деформировались. Так, от пружин обычно требуется довольно большая упругость. В других случаях упругую деформацию сводят к минимуму. Балки, детали механизмов и приборов делают по возможности более жесткими.

Пластичность – это способность материала принимать новую форму и размеры под действием внешних сил без разрушения. Пластичность можно оценить относительным удлинением.

Относительное удлинение (после разрыва) δ – это отношение приращения Δl расчетной длины образца после разрыва к его первоначальной длине l , выраженное в процентах (Рис. 1.1.9.):

$$\delta \equiv \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% \quad (1.1.3)$$



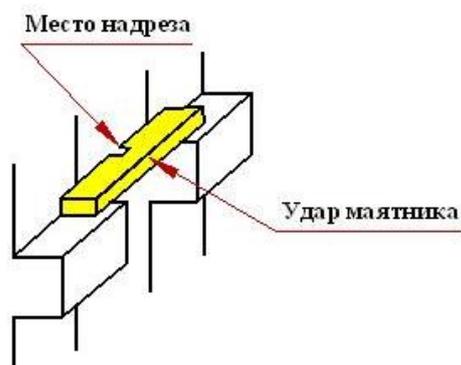
Рис.1.1.9 Образец до (а) и после (б) испытания

Относительное сужение (после разрыва) ψ – это отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва ΔF к начальной площади F поперечного сечения, выраженное в процентах:

$$\psi \equiv \frac{\Delta F}{F} \cdot 100\% \quad (1.1.4)$$

Наличие металлической связи придает металлу способность к пластической деформации и к самоупрочнению в результате пластической деформации. Поэтому если внутри материала есть дефект или имеются концентраторы напряжений, то в этих местах напряжения достигают большой величины и даже может возникнуть трещина. Но так как пластичность металла высока, то в таком месте, в том числе в устье трещины, металл пластически деформируется, упрочняется, и процесс разрушения приостанавливается.

У неметаллов этого не наблюдается – когда напряжения превзойдут некоторую величину, произойдет разрушение.



Ударная вязкость – это способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам (ударам). Определяется как отношение затраченной на излом образца работы W (в МДж) к площади его поперечного сечения F (в m^2) в месте надреза (рис. 1.1.10):

$$KC \equiv \frac{W}{F}, \text{ МДж/м}^2 \quad (1.1.5)$$

Рис.1.1.10. Испытание на ударную вязкость

Твердостью называют способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. На рис. 1.1.11. показано оборудование, предназначенное для разрыхления материалов. Винты-шнеки должны обладать высокой твердостью.

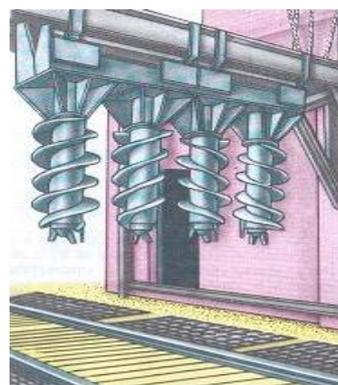


Рис.1.1.11.Оборудование для разрыхления материалов

Способ Бринелля (Рис. 1.1.12, а) основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливают под постоянной нагрузкой стальной закаленный шарик диаметром D . Диаметр шарика и величину нагрузки P устанавливают в зависимости от твердости и толщины испытываемого металла. Груз опускается и вдавливает шарик в испытываемый образец. На поверхности металла образуется отпечаток - лунка диаметром d . Чем больше отпечаток, тем металл мягче. Пример обозначения твердости по Бринеллю: HB 300.

Способом Бринелля не рекомендуется измерять твердость материалов с $HB > 450$, например, закаленной стали, так как при измерении шарик деформируется и показания искажаются.

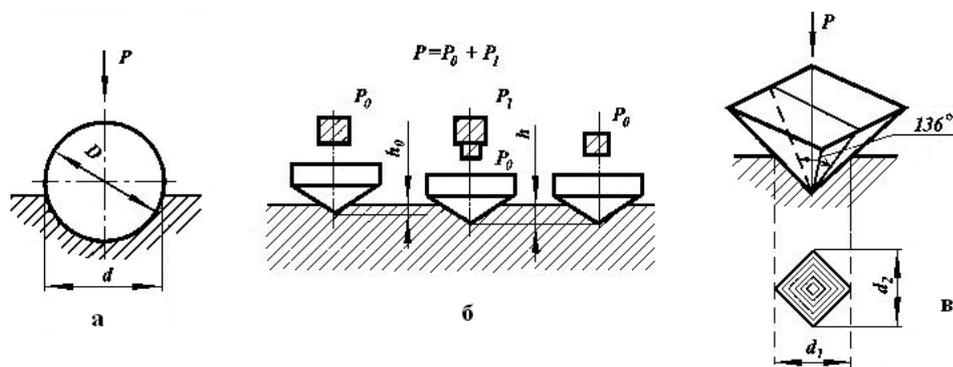


Рис.1.1.12 Схемы определения твердости: а - по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу.

Для испытания твердых материалов применяют **способ Роквелла** (Рис. 1.1.12, б). В образец вдавливают алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм. Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах. Значение твердости определяют по глубине отпечатка h и отсчитывают по циферблату индикатора, установленному на приборе. При испытании металлов с высокой твердостью применяют алмазный конус и общую нагрузку $P=P_0+P_1=1500$ Н. Твердость отсчитывают по шкале «С» и обозначают HRC. Если при испытании берется стальной шарик и общая нагрузка 1000 Н, то твердость отсчитывается по шкале «В» и обозначается HRB. При испытании очень твердых или тонких изделий используют алмазный конус и общую нагрузку 600 Н. Твердость отсчитывается по шкале «А» и обозначается HRA.

Пример обозначения твердости по Роквеллу HRC 50: твердость 50 по шкале «С».

При определении твердости **способом Виккерса** (Рис. 1.1.12, в) в качестве вдавливаемого в материал наконечника используют четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136° . Пример обозначения твердости по Виккерсу: HV 500.

Технологические свойства характеризуют способность металлов подвергаться обработке в холодном и горячем состоянии.

К основным технологическим свойствам относятся:

- обрабатываемость резанием;
- свариваемость;
- ковкость;
- литейные свойства и др.

Обрабатываемость резанием – одно из важнейших технологических свойств, потому что подавляющее большинство заготовок, а также деталей сварных узлов и конструкций подвергается механической обработке (точению, сверлению, фрезерованию, шлифованию). Одни металлы обрабатываются хорошо до получения чистой и гладкой поверхности, другие, имеющие высокую твердость, плохо.

Заготовками для многих деталей являются прутки (продукция прокатного производства). Кроме того, заготовки получают путем отливки,ковки, штамповки. В процессе обработки резанием с заготовки снимается часть металла, переходящая при этом в стружку; эта часть называется припуском.

Снятие стружки с заготовки осуществляется различными режущими инструментами. Закрепление режущих инструментов и обрабатываемых деталей, а также их движение и относительное перемещение производятся рабочими органами металлорежущих станков.

Свариваемость – способность металлов образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного металла. Ее определяют пробой сваренного образца на изгиб или растяжение.

Сварку используют при строительстве резервуаров для хранения жидкостей и газов, трубопроводов, котлов, цистерн.

Ковкость – способность металла обрабатываться давлением в холодном или горячем состоянии без признаков разрушения.

Литейные свойства металлов характеризуют способность их образовывать отливки без трещин, раковин и других дефектов. Основными литейными свойствами являются

- жидкотекучесть;
- усадка;
- ликвация.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла хорошо заполнять полость литейной формы. Жидкотекучесть определяют по стандартной пробе в виде канала определенной длины и диаметра (рис. 1.1.13).

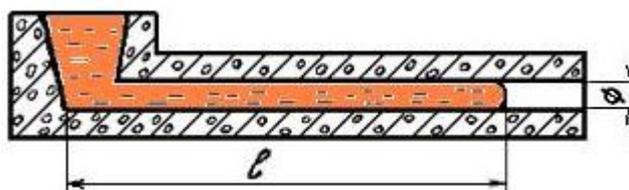


Рис.1.1.13. Определение жидкотекучести

Усадка при кристаллизации – это уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое. Усадка является причиной образования усадочных раковин и усадочной пористости в слитках и отливках.

Ликвация – неоднородность химического состава сплавов, возникающая при их кристаллизации.

Эксплуатационные свойства определяют в зависимости от условий работы оборудования специальными испытаниями. К эксплуатационным свойствам относятся износостойкость, хладостойкость, жаропрочность, жаростойкость, антифрикционность.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление износу, то есть постепенному изменению размеров и формы тела вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении.

Хладостойкость - способность материалов, элементов, конструкций и их соединений сопротивляться хрупким разрушениям при низких температурах окружающей среды.

Жаростойкость (окалиностойкость) — сопротивление металла окислению при высоких температурах.

Жаропрочность — способность конструкционных материалов **работать под напряжением** в условиях повышенных температур без заметной остаточной деформации и разрушения.

Антифрикционные свойства проявляют материалы, применяемые для деталей машин (подшипники, втулки), работающих при трении скольжения и обладающих в определённых условиях низким коэффициентом трения; отличаются низкой способностью к адгезии, хорошей прирабатываемостью, теплопроводностью и стабильностью свойств.

1.1.5 Контрольные вопросы по теме «Строение и свойства металлов и сплавов»

- Металлы – это тела кристаллические или аморфные?
- Что такое полиморфизм или аллотропия?
- Вакансии – это точечные или линейные дефекты?
- Что такое анизотропия кристалла?
- Аморфные тела изотропны или анизотропны?
- Что такое кристаллизация?
- От чего зависит величина зерен металлических сплавов?
- Какие показатели характеризуют прочность материала?
- Что такое твердость?
- Каким показателем можно оценить пластичность?
- Что такое прочность?
- Чем различаются показатели твердости HRA, HB, HV?
- Что такое пластичность?
- Перечислить технологические свойства материалов.
- Что такое ликвация?
- Перечислить эксплуатационные свойства материалов.

1.2 Железоуглеродистые сплавы

1.2.1 Общие сведения о железе и его сплавах

Железо – довольно твёрдый серебристо-белый металл. Плотность 7860 кг/м³. Существует в трёх аллотропных формах: α-железо; γ-железо; δ-железо (таблица 1.2.1).

Таблица 1.2.1. Характеристики модификаций железа

Форма	Название	Область устойчивости, °С	Кристаллическая решётка
α-железо	Феррит	<910	ОЦК
γ-железо	Аустенит	910...1401	ГЦК
δ-железо	Мартенсит	> 1401	ОЦК

Железо и его сплавы – самый важный класс конструкционных материалов.

Чистое железо как конструкционный материал используют в электротехнических изделиях и в соответствующих агрегатах химического оборудования.

В качестве конструкционных материалов для основных узлов (в том числе контактирующих со средой) применяются железо - углеродистые сплавы: **чугуны** и **углеродистые стали** (которые еще называют **черными** металлами), а также стали с добавками других металлов - **легированные стали**.

1.2.2 Чугуны

Чугуны - железоуглеродистые сплавы с массовой долей углерода примерно от 2 до 5,7 %. Получают в результате доменного процесса из железной руды.

Представляют собой многофазную систему, включающую твёрдый раствор β- и γ-карбидов железа (мартенсит и аустенит) в железе и свободный углерод. По плотности и теплоёмкости чугуны почти не отличаются от сталей. Как правило, чугуны имеют большую теплопроводность: (45...93) Вт/(м•К). Химическая стойкость чугунов в водных средах, особенно кислых, невысока. Достоинство



Рис. 1.2.1. Чугунная заглушка

чугунов как конструкционных материалов в том, что у них хорошие литейные свойства, а также они поддаются обработке резанием (рис. 1.2.1). На рисунке показана чугунная заглушка, предназначенная для закрывания концевых отверстий в оборудовании (трубопроводах). Благодаря хорошим технологическим свойствам на чугунном оборудовании формируют гладкие поверхности с хорошим сопряжением профилей. Такое качество позволяет наносить на чугунные аппараты разнообразные устойчивые защитные покрытия; в первую очередь, эмалевые.

Наличие значительного количества свободного углерода предопределяет основные недостатки чугунов – хрупкость и плохая свариваемость.

Графит по сравнению с металлической основой обладает низкими механическими свойствами, поэтому **графитовые включения можно считать за пустоты**, трещины. Чем больше объема занимают пустоты, тем ниже свойства чугуна. При одинаковом объеме пустот, то есть количестве графита, свойства чугуна будут зависеть от формы и расположения графитовых включений. Чугун с мелкими *шаровидными* включениями графита прочнее чугуна с пластинчатым графитом.

Из чугуна изготавливают корпуса трубопроводной арматуры, сосудов и реакторов-котлов, а также разнообразные детали и узлы механических агрегатов (стойки, станины, рамы, узлы редукторов и т.д).

Чугунные аппараты используют в качестве сульфураторов и котлов для щелочного плавления и осернения.

Широко применяются эмалированные чугунные аппараты и сосуды. Благодаря применению литейной технологии изготовления, эмалевые покрытия на чугуне держатся лучше, чем на стали.

Из-за хрупкости чугуна стенки сосудов приходится делать толстыми (не менее 18 мм). Поэтому чугунная аппаратура всегда значительно тяжелее стальной или титановой; при этом она характеризуется большой тепловой инерционностью и низкими коэффициентами теплопередачи.

Несвариваемость чугуна обуславливает то, что рубашки чугунных аппаратов съёмные, крепятся к дополнительному фланцу на корпусе; следовательно, поверхность теплообмена в чугунных аппаратах существенно меньше, чем в других аппаратах той же вместимости. Чугунные аппараты малопригодны для ведения высокоэнергетичных процессов.

Различают серый, высокопрочный и ковкий чугуны.

Серые чугуны - это литейные чугуны, дешевый конструкционный материал. У серых чугунов наблюдается в структуре пластинчатый графит (рис. 1.2.2, а).

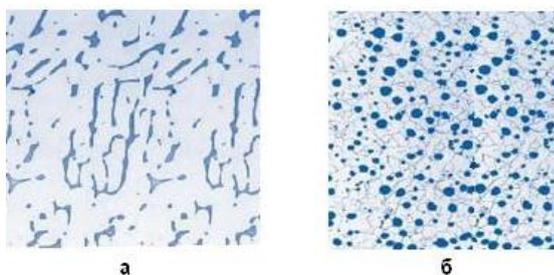


Рис.1.2.2. Форма графитовых включений в чугунах: а – в сером чугуне; б – в высокопрочном чугуне.

Примеры марок чугунов даны согласно EN - европейского стандарта и ГОСТа – российского стандарта (стандарта бывшего СССР), так как на чертежах оборудования, работающего 20 лет и дольше, ставилась маркировка ГОСТ.

Марки серых чугунов:

EN: GJL-100, GJL-150, GJL-200, GJL-250, GJL-300, GJL-350 (в марках цифра показывает предел прочности при растяжении, например: предел прочности при растяжении марки GJL-150 составляет 150 МПа).

ГОСТ: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45 (в марках цифра показывает предел прочности при растяжении, например: предел прочности при растяжении марки СЧ 10 составляет 100 МПа).

Высокопрочный чугун является разновидностью серого чугуна, модифицированного магнием. В результате получают мелкие включения графита шаровидной формы (**Рис. 1.2.2, б**), что дает большую прочность высокопрочному чугуну по сравнению с серым чугуном, у которого пластинчатые включения графита.

Марки высокопрочных чугунов:

EN: GJS-350-22, GJS-400-18, GJS-500-7, GJS-600-3, GJS-700-2 (в марках первая цифра показывает предел прочности при растяжении, вторая - относительное удлинение, например: предел прочности при растяжении марки GJS-400-18 составляет 400 МПа, а относительное удлинение 18%).

ГОСТ: ВЧ 38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 45-5, ВЧ 50-2, ВЧ 60-2, ВЧ 70-3, ВЧ 80-3, ВЧ 100-4, ВЧ 120-4 (в марках первая цифра показывает предел прочности при растяжении, вторая - относительное удлинение, например: предел прочности при растяжении марки ВЧ 42-12 составляет 420 МПа, а относительное удлинение 12%).

Ковкий чугун - условное название более пластичного чугуна по сравнению с серым. Ковкий чугун никогда не куют!

В зависимости от структуры металлической основы различают:

- **ковкий ферритный чугун** (называют черносердечным по виду излома, который из-за большого количества графитовых включений имеет темный матовый цвет);
- **ковкий перлитный чугун** (называют светлосердечным).

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Феррит имеет незначительную твердость (НВ 80-100), незначительную прочность ($\sigma_B=150$ МПа), но высокую пластичность ($\delta=50\%$; $\psi=80\%$).

Перлит – механическая смесь феррита и цементита (Fe_3C), содержащая 0,8% углерода. Перлит может быть пластинчатым и зернистым, что зависит от формы цементита (пластинки или зерна) и определяет механические свойства перлита.

При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности $\sigma_B=800$ МПа, относительное удлинение $\delta=15\%$, твердость НВ 160.

Перлитные ковкие чугуны имеют меньшее применение, чем ферритные.

Из ковкого чугуна изготавливают детали высокой прочности, способные воспринимать повторно-переменные и ударные нагрузки и работающие в условиях повышенного износа.

Ковкий чугун имеет высокие антикоррозионные свойства и хорошо работает в среде влажного воздуха, топочных газов и воды. В частности, из ковкого чугуна изготавливают фитинги для трубопроводов (Рис. 1.2.3).



Рис.1.2.3. Фитинги для трубопроводов из ковкого чугуна: а – муфта переходная; б – крест; в – угольник.

Марки ковких чугунов:

ЕН: GJMW-350-4, GJMW-400-5, GJMW-450-7, GJMW-550-4, GJSW-300-6 - ферритные черносердечные, GJMB-300-6, GJMB-350-10, GJMB-450-6, GJMB-500-5 - перлитные светлосердечные (в марках первая цифра показывает предел прочности при растяжении, вторая - относительное удлинение; например: предел прочности при растяжении марки GJMB-350-10 составляет 350 МПа, а относительное удлинение 10%).

ГОСТ: КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12 - ферритные черносердечные, КЧ 45-6, КЧ 50-4, КЧ 56-4, КЧ 60-3, КЧ 63-2 - перлитные светлосердечные (в марках первая цифра показывает предел прочности при растяжении, вторая - относительное удлинение; например: предел прочности при растяжении марки КЧ 45-6 составляет 450 МПа, а относительное удлинение 6%).

Широкое применение в химическом машиностроении имеют **легированные чугуны**, в состав которых входят легирующие элементы: никель, хром, молибден, ванадий, титан, бор и др.

Легирование позволяет существенно улучшить качество чугуна и придать ему особые свойства. Например, введение никеля, хрома, молибдена, кремния повышает химическую стойкость и жаропрочность чугуна; никелевые чугуны с добавкой меди (5-6 %) надежно работают со щелочами; высокохромистые (до 30 % Cr) устойчивы к действию азотной, фосфорной и уксусной кислот, а также

хлористых соединений; чугуны с добавкой молибдена до 4 % хорошо противостоят действию соляной кислоты.

1.2.3 Углеродистые стали

Сталь - сплав железа с углеродом (до 2 % С).

Особенности состава и физико-химической структуры определяют высокие пластические, прочностные и технологические характеристики сталей. К ним хорошо применимы все методы механической и термической обработки. Химическая стойкость углеродистых сталей в водных и водно-органических средах, особенно кислых, невысока. Органические кислоты, особенно муравьиная и уксусная, также корродируют углеродистые стали. Стали довольно устойчивы к щелочным и аммонийным средам; концентрированная серная кислота также пассивирует их. **Пассивация** металлов - переход поверхности металла в неактивное, пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоёв соединений, препятствующих коррозии. Углеродистые стали используют для изготовления различных видов и типов химического оборудования. Детали, предназначенные для контакта с агрессивными средами, подлежат антикоррозионной защите.

Содержание **кремния** в углеродистой стали до 0,4% и **марганца** 0,5...0,8%. Это **полезные** постоянные примеси в сталях.

Сера и фосфор – это **вредные** примеси в сталях. Сера из-за образующихся сульфидов снижает механические свойства, свариваемость и коррозионную стойкость (ее содержание не должно превышать 0,06%). Фосфор увеличивает склонность сплава к ликвации, уменьшает пластичность.

Газы (азот, водород, кислород) присутствуют в стали в виде хрупких неметаллических включений и снижают прочность.

Маркировка углеродистых сталей

Обозначение по EN:

При обозначении сталей согласно европейским нормам стали делятся на две группы:

- стали, обозначения которых определяются их назначением и механическими или физическими свойствами;
- стали, обозначения которых определяются их химическим составом.

Примеры:

S275JO: сталь конструкционная (буква S), минимальный предел текучести 275 Н/мм², работа разрушения при ударе 27 Дж при температуре 0°C (сочетание букв или буквы и цифры, в данном примере JO).

S235JR: сталь конструкционная (буква S), минимальный предел текучести 235 Н/мм², работа разрушения при ударе 27 Дж при температуре +20°C (сочетание букв или буквы и цифры, в данном примере JR).

E295: машиностроительная сталь (буква E) с минимальным пределом текучести 295 Н/мм².

C35E4: нелегированная сталь (буква C) со средним содержанием углерода 0,35%, с содержанием марганца менее 1% и максимальным содержанием серы 0,04%.

Обозначение по ГОСТу:

Стали углеродистые обыкновенного качества Ст0, Ст3, Ст4 (цифры в обозначении марок указывают на примерное содержание углерода в десятых долях процента).

Стали углеродистые качественные Сталь 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 (цифры показывают примерное содержание углерода в сотых долях процента).

Качество стали зависит от ограничения в сталях вредных примесей (серы, фосфора). Чем меньше вредных примесей, тем качественнее сталь.

Стали углеродистые специального назначения - это, например, стали для котлов; сосудов, работающих под давлением (котельная сталь). Обозначение по EN: P265S (S-для сосудов под давлением, минимальный предел текучести 265 Н/мм²). Обозначение по ГОСТу: 12К, 15К (К-котельная).

Углеродистая сталь обыкновенного качества используется для изготовления несущих элементов сварных и несварных конструкций, работающих при положительных температурах; несущие элементы сварных конструкций, работающих при переменных нагрузках в интервале температур от -30 до +425 °С, детали клепаных конструкций, трубные решетки, болты, гайки, стержни и детали, работающие при температурах от 0 до 425°С.

Углеродистая сталь качественная конструкционная применяется для изготовления патрубков, днищ, испарителей, конденсаторов, трубных решеток, корпусов, трубных пучков, змеевиков и других деталей, работающих под давлением при -40°С... +425°С.

В настоящее время использование углеродистых сталей в химическом машиностроении сокращается.

1.2.4 Легированные стали

Низкая коррозионная стойкость углеродистых сталей привела к необходимости создания материалов с улучшенными свойствами. Основной способ улучшения свойств – введение в состав сплава легирующих добавок - компонентов, обеспечивающих повышение качества сплава. Стали, содержащие такие добавки, называют **легированными**. Плотность и теплоёмкость легированных сталей выше, чем у чугунов и углеродистых сталей: (7900...7980) кг/м³; теплопроводность значительно ниже: (8...20) Вт/(м·К). Легированные стали

отличаются большей прочностью, твёрдостью и вязкостью, чем углеродистые. Поэтому они сложнее поддаются термической и механической обработке и хуже поддаются литью (за исключением некоторых марок). Сварка (легированные стали свариваются друг с другом, углеродистыми сталями, другими железосодержащими сплавами) требует специальных условий, иначе в сварных швах разрушается структура сплава и теряется коррозионная стойкость.

Для химического машиностроения наиболее важно улучшить **антикоррозионные свойства**. Соответственно, коррозионностойкие стали представляют **важнейший класс легированных сталей**. Наиболее сильным пассивирующим действием на стали обладают **хром, никель, титан, ниобий и марганец**. Пассивирующее действие добавок начинает слабо проявляться при их содержании выше 2%. При содержании хрома 10%...12 % происходит резкий скачок потенциала. Помимо пассивации железа, легирующие элементы связывают свободный углерод в карбиды (например Cr_7C_3).

1.2.5 Легирующие элементы и их влияние на свойства стали

Хром – повышает твердость и прочность, повышает термостойкость, увеличивает коррозионную стойкость; содержание 12% хрома и выше делает сталь нержавеющей.

Никель сообщает стали коррозионную стойкость, высокую прочность и пластичность, увеличивает прокаливаемость, оказывает влияние на изменение коэффициента теплового расширения. Ярко выраженный *минимум* коэффициента теплового расширения наблюдается в железоникелевых сплавах при концентрации никеля 36 %.

Вольфрам образует в стали очень твердые химические соединения – карбиды, резко увеличивающие твердость и красностойкость.

Ванадий повышает твердость и прочность, измельчает зерно. Является хорошим раскислителем. Увеличивает стойкость к водородной коррозии

Кобальт повышает жаропрочность, увеличивает сопротивление удару.

Молибден увеличивает красностойкость, упругость, предел прочности при растяжении, антикоррозионные свойства и сопротивление окислению при высоких температурах.

Титан повышает прочность и плотность стали, способствует измельчению зерна, является хорошим раскислителем, улучшает обрабатываемость и сопротивление коррозии при высоких ($>800^\circ\text{C}$) температурах.

Ниобий улучшает кислотостойкость и способствует уменьшению коррозии в сварных конструкциях.

Марганец повышает твердость, увеличивает коррозионную стойкость, понижает теплопроводность.

Кремний повышает твердость, прочность, пределы текучести и упругости, кислотостойкость.

1.2.6 Маркировка легированных сталей

ГОСТ: обозначения легированных конструкционных сталей состоят из цифр и букв. Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь (таблица 1.2.1.). Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа, при содержании легирующего элемента до 1,5% цифра за соответствующей буквой не указывается. Примеры:

Сталь 12ХН → состав: С – 0,12%, Cr - 1%, Ni - 1%.

Сталь 30Х3МФ → состав: С – 0,3%, Cr - 3%, Мо до 1%, V - до 1%.

EN: обозначения легированных конструкционных сталей состоят из цифр и букв. Вначале стоит буква «Х», что означает легированную сталь. Следующая за ней цифра - среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь. Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа. Пример: Х5CrNi18-10 - легированная сталь со средним содержанием: углерода 0,05%, хрома 18,0%, никеля 10,0%.

Таблица 1.2.1. Обозначение легирующих элементов в сталях и цветных сплавах

Элемент	EN	ГОСТ		Плотность, г/см ³
	Символ	Черные металлы	Цветные металлы	
Азот	N	А	-	1,25
Алюминий	Al	Ю	А	2,69808
Барий	Ba	-	Бр	3,61
Бериллий	Be	Л	-	1,86
Ванадий	V	Ф	Вам	6,12
Вольфрам	W	В	-	19,27
Германий	Ge	-	Г	19,3
Железо	Fe	-	Ж	7,87
Кобальт	Co	К	К	8,85
Кремний	Si	С	Кр	2,3263
Магний	Mg	Ш	Мг	1,741
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)	7,43
Медь	Cu	Д	М	8,96
Молибден	Mo	М	-	10,22
Никель	Ni	Н	Н	8,91
Олово	Sn	-	О	7,29
Свинец	Pb	-	С	11,337
Скандий	Sc	-	Скм	2,99
Титан	Ti	Т	ТПД	4,505
Углерод	C	У	-	2,2
Фосфор	P	П	Ф	1,83
Хром	Cr	Х	Х(Хр)	7,2
Цинк	Zn	-	Ц	7,13

Для химического машиностроения наиболее важны высоколегированные стали: хромоникельтитановые - типа X6CrNiTi18-10 (EN), хромоникельмолибденовые – типа X6CrNiMo17-12-2 (EN); хромоникельмарганцевые - типа X11CrNiMnN19-8-6 (EN). На них приходится порядка 70 % всего потребления коррозионностойких сталей. Стали этого класса отличаются высокой устойчивостью к различным твёрдым, жидким и газообразным неорганическим и органическим реагентам (в том числе к их комбинированному действию) при температурах от (-100...+500)^{°C}, в некоторых случаях – до +1200 ^{°C}. Наиболее опасны для нержавеющей сталей **молекулярные галогены** (F₂; Cl₂; Br₂; J₂ - особенно в присутствии воды); в органических средах опасен лишь фтор.

Из высоколегированных коррозионностойких сталей изготавливают все детали и узлы химического, нефтяного и пищевого оборудования, контактирующие со средой: разнообразные сосуды, корпуса, мешалки, теплообменные и статические внутренние устройства реакторов-котлов, колонные аппараты, теплообменники всех конструкций (рис. 1.2.4.), фильтры, корпуса и роторы центрифуг и жидкостных сепараторов; рабочие органы насосов, газодувок и компрессоров; трубы и трубные детали, рабочие части трубопроводной арматуры, защитные узлы для устройств контрольно-измерительных устройств и автоматики.



Рис.1.2.4. Теплообменник из нержавеющей стали.

Высокая прочность легированных сталей позволяет существенно уменьшать массу оборудования при равных технических характеристиках.

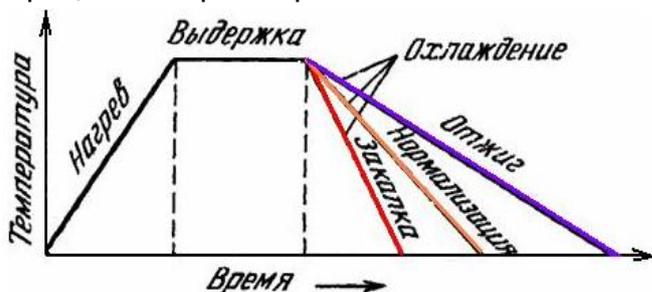
1.2.7 Основы термической и химико-термической обработки сталей

Термическая обработка стали – это совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твёрдых металлических сплавов с целью придания им определённых свойств за счёт изменения внутреннего строения и структуры. Цель термообработки – придание сплавам таких свойств, которые требуются в процессе эксплуатации изделий. Термообработке подвергают заготовки (кованные, штампованные), детали машин и различный инструмент.

Параметрами процесса термической обработки являются

- максимальная температура нагрева заготовки,
- время выдержки заготовки при температуре нагрева,
- скорость нагрева,
- скорость охлаждения.

Процесс термообработки может быть описан графиком в координатах температура-время (Рис. 1.2.5).



Виды процесса термообработки: отжиг, закалка, отпуск, а также химико-термическая обработка.

Рис.1.2.5. Графики термической обработки

После проката, литья,ковки происходит неравномерное охлаждение заготовок. В результате появляется неоднородность как структуры, так и свойств, а также появление *внутренних напряжений*. Отливки при затвердевании получаются неоднородными по химическому составу (наблюдается ликвация), а, значит, с разными свойствами в различных частях отливки. Для устранения таких дефектов применяют **отжиг**.

Отжиг – вид термической обработки, состоящий в нагреве, выдержке и охлаждении металла, имеющего неустойчивое состояние в результате предшествующей обработки, и приводящий металл в более устойчивое состояние.

Цели отжига – снятие внутренних напряжений, устранение структурной и химической неоднородности, снижение твердости и улучшение обрабатываемости. Заготовки из стали нагревают до определённой температуры, выдерживают и медленно охлаждают в печи.

Нормализация состоит из нагрева стали, её выдержке при определенной температуре и охлаждения на воздухе. Нормализация – это более дешёвая термическая операция, чем отжиг, так как печи используют только для нагрева и выдержки.

Суть **закалки** заключается в нагреве стали и быстром охлаждении. **Цель закалки** – это придание стали повышенной прочности, твердости, но при этом снижается вязкость и пластичность. С закалкой связаны понятия закаливаемость и прокаливаемость. **Закаливаемость** характеризуется определённой твёрдостью, которая сталь приобретает после закалки, она зависит от содержания углерода в данной стали. **Прокаливаемость** – это глубина проникновения закалённой зоны (области). Прокаливаемость зависит от химического состава стали. С повышением содержания углерода прокаливаемость увеличивается. На прокаливаемость влияет также скорость охлаждения. Чем выше скорость охлаждения, тем больше прокаливаемость. Поэтому при закалке в воде прокаливаемость более высокая, чем при закалке в масле. Вода и масло - наиболее часто применяемые *закалочные среды*. Большие размеры закаливаемой детали также приводят к значительному уменьшению прокаливаемости.

Отпуск стали – это вид термической обработки, следующий *за закалкой* и заключающийся в нагреве стали до определённой температуры, выдержки и охлаждении. **Цель отпуски** стали - снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности закаленной стали.

Химико-термическая обработка – это процесс химического и термического воздействия на поверхностный слой стали с целью изменения состава, структуры и свойств.

Химико-термическая обработка состоит из трех процессов:

- **диссоциации** – получения насыщающего элемента в активном атомарном состоянии: $2\text{NH}_3 \leftrightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$ (получение азота); $\text{CH}_4 \leftrightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$ (получение углерода) и т.д.;
- **адсорбции** – поглощения активных атомов насыщающего элемента поверхностью металла;
- **диффузии** – перемещение атомов насыщающего элемента с поверхности вглубь металла.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки является цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом), цианирование (углеродом и азотом), борирование (бором), алитирование (алюминием) и др.

Цементация – процесс химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя углеродом при нагреве в соответствующей среде. Цементация придает поверхностному слою высокую твердость и износостойкость, повышает предел выносливости при изгибе и кручении. Цементируют детали, работающие в условиях трения, при больших давлениях и циклических нагрузках. Для цементации используют низкоуглеродистые стали (0,1-0,2% С). При цементации содержание углерода в поверхностном слое доводят до 1%. Толщина (глубина) слоя составляет 0,5-2,5 мм.

Азотирование – процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя азотом для придания этому слою высокой твердости, износостойкости или устойчивости против коррозии. Твердость азотированного слоя выше, чем цементованного, и сохраняется до высоких температур 400°C-600°C, тогда как твердость цементованного слоя сохраняется лишь до 200°C-250°C. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие алюминий, хром, титан.

Цианирование – процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя одновременно азотом и углеродом в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий NaCN. Низкотемпературное цианирование применяют для упрочнения мелких деталей. Цианированный слой по сравнению с цементованным имеет более высокую износостойкость.

Борирование – процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя бором при нагревании в боросодержащей среде (бура, треххлористый бор и др.). Борированный слой толщиной (0,1-0,2) мм имеет высокую твердость, износостойкость (особенно в абразивной среде), коррозионную стойкость. Борирование повышает стойкость деталей в 2-10 раз. Борированные слои обладают высокой хрупкостью.

Диффузионная металлизация – процесс химико-термической обработки, при котором происходит насыщение поверхностного слоя стали различными **металлами** (алюминием, хромом, цинком и др.) и их комплексами. При насыщении поверхности стали другими металлами образуются твердые растворы замещения, поэтому диффузия их осуществляется труднее, чем диффузия углерода или азота.

Алитирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали, содержащей (0,1-0,2)%С, алюминием. Алитирование применяют для повышения жаростойкости углеродистых сталей. Алитируют чехлы термопар, клапаны и другие детали, работающие при высокой температуре.

Хромирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя хромом. Хромирование повышает окалиностойкость и износостойкость деталей в агрессивных средах.

1.2.8 Контрольные вопросы по теме «Железоуглеродистые стали»

- Чистые металлы характеризуются низким или высоким пределом прочности?
- Что такое чугун?
- Что такое сталь?
- Охарактеризовать серый чугун как конструкционный материал.
- Почему чугун назвали высокопрочным?
- Куют ли ковкий чугун?
- Расшифровать марку чугуна GJS-400-18.
- Какие графитовые включения снижают прочность чугуна больше: шаровидные или пластинчатые?
- Какие постоянные примеси в сталях вредные?
- Как изменяются свойства стали с повышением содержания углерода?
- Какие стали называют легированными?
- Как влияет хром на свойства стали?
- Как влияет никель на свойства стали?
- Как влияет алюминий на свойства стали?
- Как обозначают легированные стали по EN?
- Каковы параметры термообработки?
- В чем особенность отжига?
- Что происходит со сталью в результате нормализации?
- Какова цель закалки?
- Перечислить виды химико-термической обработки деталей.
- Что такое цементация?

1.3 Цветные металлы и сплавы

1.3.1 Алюминий и алюминиевые сплавы

К цветным металлам и сплавам относятся практически все металлы и сплавы на их основе, за исключением железа и его сплавов, образующих группу чёрных металлов. Цветные металлы встречаются реже, чем железо, и их добыча стоит значительно дороже, чем добыча железа. Но цветные металлы часто обладают такими свойствами, какие у железа не обнаруживаются, и это оправдывает их применение. Термин «цветные металлы» в русском языке соответствует термину «нежелезные металлы» в европейских языках.

Цветные металлы и их сплавы применяют для изготовления машин и аппаратов, работающих со средами средней и повышенной агрессивности и при низких температурах. В химической промышленности в качестве конструкционных материалов используются алюминий, медь, никель, свинец, титан, тантал и их сплавы.

Алюминий – легкий металл серебристо-белого цвета (рис. 1.3.1.). Свойства алюминия:

- высокие электро- и теплопроводности;
- плотность 2700 кг/м^3 (легкий);
- температура плавления зависит от чистоты: 660°C - 667°C (легкоплавкий);
- в отожженном состоянии имеет малую прочность ($\sigma_B = 80 \text{ МПа}$ - 100 МПа),
- низкую твердость (НВ 20-40), но высокую пластичность ($\delta=35\%$ - 40%).



По распространенности в земной коре алюминий занимает **первое место среди металлов** и третье место среди всех элементов (после кислорода и кремния), на его долю приходится около 8,8% массы земной коры. Алюминий входит в огромное число минералов, главным образом алюмосиликатов, и горных пород.

Рис.1.3.1. Алюминий

Алюминий хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо поддается резанию. Алюминий обладает высокой стойкостью к действию органических кислот, концентрированной азотной кислоты, разбавленной серной кислоты, сравнительно устойчив к действию сухого хлора и соляной кислоты. Высокая коррозионная стойкость металла обусловлена образованием на его поверхности **защитной оксидной пленки**, предохраняющей его от дальнейшего окисления. Алюминий не стоек к действию щелочей.

Механические свойства алюминия в значительной степени зависят от температуры. Например, при увеличении температуры от 30°C до 200°C значения допускаемого напряжения на растяжение снижаются в 3-3,5 раза, а на сжатие - в 5 раз. Верхняя предельная температура применения алюминия 200°C .

В качестве конструкционных материалов алюминий широко применяется в виде **сплавов с другими металлами и неметаллами** (медь, марганец, магний, кремний, железо, никель, титан, бериллий и др.). Алюминиевые сплавы сочетают в себе лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные характеристики легирующих добавок.

Так, железо, никель, титан повышают жаропрочность алюминиевых сплавов. Медь, марганец, магний обеспечивают упрочняющую термообработку алюминиевых сплавов. В результате легирования и термической обработки удается в несколько раз повысить прочность (σ_B с 100 до 500 МПа) и твердость (НВ с 20 до 150) алюминия.

Все сплавы алюминия подразделяют на деформируемые и литейные.

1.3.2 Деформируемые алюминиевые сплавы

Деформируемые алюминиевые сплавы (рис. 1.3.2.) применяют для получения листов, лент, фасонных профилей, проволоки и различных деталей прокаткой, штамповкой, прессованием, ковкой. В зависимости от химического состава деформируемые алюминиевые сплавы делят на группы; содержат 2-3 и более легирующих компонента в количестве 0,2-4% каждого.



Рис.1.3.2. Алюминиевый деформируемый сплав.

Например, сплавы алюминия с магнием и марганцем; алюминия с медью, магнием, марганцем.

Деформируемые сплавы разделяют на сплавы не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Термически не упрочняемые сплавы – это сплавы алюминия с марганцем и алюминия с магнием и марганцем. Они обладают умеренной прочностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и пластичностью (применяют для мало- и средненагруженных деталей, сварных конструкций). Примеры марок:

EN: AlMn1; AlMn0,6 → ГОСТ: АМц

EN: AlMg5 → ГОСТ: АМг5

EN: AlMg2 → ГОСТ: АМг2.

Термически упрочняемые сплавы приобретают высокие механические свойства и хорошую сопротивляемость коррозии только в результате термической обработки. Наиболее распространены сплавы:

- алюминия с медью, магнием, марганцем (дюралюмины),

- алюминия с медью, магнием, марганцем и цинком (сплавы высокой прочности).

Примеры марок:

EN: AlMn1Mg1 → ГОСТ: Д12 (буква Д - дюралюмин, после которой стоит цифра, обозначающая условный номер сплава).

EN: AlZn5,5MgCu → ГОСТ: В96.

Термическая обработка дюралюминов состоит в закалке, естественном старении, искусственном старении. Для закалки сплавы нагревают до 500 °С и охлаждают в воде. Естественное старение производят при комнатной температуре в течение 5-7 суток. Искусственное старение приводят при 150°С-180 °С в течение 2-4 часов. При одинаковой прочности дюралюмины, подвергнутые естественному старению, более пластичны и коррозионностойки, чем подвергнутые искусственному старению. Термически упрочняемые алюминиевые сплавы используют для деталей и конструкций повышенной прочности, работающих при переменных нагрузках.

Литейные алюминиевые сплавы содержат почти те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9% -13% по отдельным компонентам). Литейные сплавы предназначены для изготовления фасонных отливок (рис. 1.3.3.).



Выпускают различные марки литейных алюминиевых сплавов, которые по химическому составу можно разделить на группы. Например: •алюминий с кремнием (**силумин**); •алюминий с магнием

Рис.1.3.3. Алюминиевый литейный сплав

Примеры марок:

EN: AlSi10Mg → ГОСТ: АЛ2 (маркируют буквами АЛ и цифрой, указывающей условный номер сплава)

EN: AlMg9 → ГОСТ: АМг10.

Силумины обладают высокими механическими и литейными свойствами:

- высокой жидкотекучестью,
- небольшой усадкой,
- достаточно высокой прочностью,
- удовлетворительной пластичностью.

Сплавы на основе **алюминия и магния** имеют высокую удельную прочность, хорошо обрабатываются резанием, имеют высокую коррозионную стойкость.

Высокая коррозионная стойкость алюминиевых сплавов делает их в ряде случаев незаменимым материалом в химическом машиностроении, например, для изготовления аппаратуры, применяющейся при производстве, хранении и перевозке азотной кислоты и ее производных.

1.3.3 Медь и медные сплавы

Медь – мягкий металл. Плотность 8910 кг/м^3 . Механические свойства чистой отожженной меди: $\sigma_B=(220-240) \text{ МПа}$, $НВ 40-50$, $\delta=(45-50)\%$. Отличается высокой тепло- и электропроводностью. Хорошо поддается термомеханической обработке, литью, пайке и сварке. Взаимодействие меди с кислородом начинается при комнатной температуре и резко возрастает при нагревании с образованием пленки оксида меди (коричнево-красного цвета).

Медь достаточно устойчива к действию воды и разбавленных водных растворов кислот, щелочей и солей. Неустойчива в растворах аммиака и аминов (особенно алифатических). Также неустойчива к окислителям (азотной кислоте, концентрированной серной кислоте, растворам бихроматов).

Медь как чистый металл в химическом машиностроении применяется для изготовления **токоведущих деталей** (провода, шины, электроды электрохимических реакторов); деталей и узлов **пар скольжения** и **деталей уплотнений** (вкладышей, гильз, колец, шайб) в аппаратуре высоких давлений и глубокого вакуума.

Медь сохраняет прочность и ударную вязкость при низких температурах и поэтому нашла широкое применение в **технике глубокого холода**.

Широкое распространение получили **сплавы меди** с другими компонентами: оловом, цинком, свинцом, никелем, алюминием, марганцем, золотом и др. Наиболее распространенными являются сплавы меди с цинком (латуни), с оловом (бронзы), с никелем, с железом и марганцем.

Латунями называют двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является **цинк** (до 40-45%).

Маркировка латуней

По EN сплав обозначают по аналогии с легированными сталями.

Пример: CuZn25Al5Mn4Fe3 : сплав меди с цинком (25%), алюминием (5%), марганцем (4%), железом (3%).

Сплав обозначают по ГОСТу начальной буквой Л – латунь. Затем следуют первые буквы основных элементов, образующих сплав: Ц - цинк, О - олово, Мц - марганец, Ж – железо, Ф – фосфор, Б – бериллий и т.д. Цифры, следующие за буквами, указывают на количество легирующего элемента в процентах.

Пример: ЛАЖМц66-6-3-2: алюминиевожелезомарганцовистая латунь, содержащая 66% меди, 6% алюминия, 3% железа, и 2% марганца, остальное – цинк.

По технологическому признаку латуни, как и все сплавы цветных металлов, подразделяют на литейные и деформируемые. Литейные латуни предназначены для изготовления фасонных отливок.

Деформируемые латуни выпускают в виде простых латуней, например, EN: CuZn10(томпак), EN: CuZn20 (полутомпак), и сложных латуней, например, EN: CuZn39Pb2. Латуни поставляют в виде полуфабрикатов – проволоки, прутков, лент, полос, листов, труб и других видов прокатных и прессовых изделий. Латуни широко применяются в общем и химическом машиностроении (рис. 1.3.4.).



Рис.1.3.4. Автоматический воздухоотводчик. Корпус и съемная крышка – латунь.

Сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом, бериллием называют **бронзами**. В зависимости от введенного элемента бронзы называют оловянными, алюминиевыми и т.д.

Бронзы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошими литейными свойствами, высокими антифрикционными свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием. Введение марганца способствует повышению коррозионной стойкости, никеля – пластичности, железа – прочности, цинка – улучшению литейных свойств, свинца – улучшению обрабатываемости.

Маркировка бронз

EN: марка CuSn5Zn5Pb5 означает: бронза содержит олова, свинца и цинка по 5%, остальное – медь (85%).

Бронзы по ГОСТу маркируют буквами Бр, правее ставят элементы, входящие в бронзу: О – олово, Ц – цинк, С – свинец, А – алюминий, Ж – железо, Мц – марганец и др. Затем ставят цифры, обозначающие среднее содержание элементов в процентах (цифру, обозначающую содержание меди в бронзе, не ставят).

Пример: ГОСТ: марка БрОЦС5-5-5 означает, что бронза содержит олова, свинца и цинка по 5%, остальное – медь (85%).

Оловянные бронзы содержат в среднем (4-6)% олова, имеют высокие механические ($\sigma_B=(150M-350)MПа$; $\delta=(3-5)\%$; твердость НВ 60-90), антифрикционные и антикоррозионные свойства; хорошо отливаются и обрабатываются резанием.

Алюминиевые бронзы содержат (4-11)% алюминия. Алюминиевые бронзы имеют высокую коррозионную стойкость, хорошие механические и

технологические свойства. Эти бронзы хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, а при содержании алюминия до 8% - и в холодном состоянии.

Марганцовистые бронзы имеют сравнительно невысокие механические свойства, но обладают высокой пластичностью и хорошей сопротивляемостью коррозии, а также сохраняют механические свойства при повышенных температурах.

Свинцовистые бронзы отличаются высокими антикоррозионными свойствами и теплопроводностью (в четыре раза больше, чем у оловянных бронз); применяют для высоконагруженных подшипников с большими удельными давлениями.

Бериллиевые бронзы после термообработки имеют высокие механические свойства, например у CuBe2 (EN) → $\sigma_B=1250$ МПа, HB 350, высокий предел упругости, хорошая коррозионная стойкость, теплостойкость. Из бериллиевых бронз изготавливают детали особо ответственного назначения.

Кремнистые бронзы применяют как заменители дорогостоящих бериллиевых бронз.



Латуни и бронзы по коррозионной стойкости не уступают или превосходят медь (особенно по отношению к атмосферной коррозии). По механическим свойствам, как правило, превосходят медь. Наибольшей стойкостью отличаются алюминиево-бериллиевые бронзы. Применяются для изготовления труб, корпусов и внутренних деталей трубопроводной арматуры, уплотнительных деталей аппаратуры, теплообменных аппаратов, деталей контрольно-измерительных устройств и автоматики (рис.1.3.5.).

Рис.1.3.5. Угловой предохранительный клапан из бронзы. Внешние части корпуса никелированы.

1.3.4 Титан, тантал, никель, свинец и их сплавы

Титан химически стоек к действию кипящей азотной кислоты и царской водки всех концентраций, нитритов, нитратов, сульфидов, органических кислот, фосфорной и хромовой кислот. Но изделия из титана в 8-10 раз **дороже** изделий из хромоникелевых сталей.

Титановые сплавы обладают преимуществами: высоким соотношением прочности к весу в связи с низкой плотностью титана, что ведет к меньшему весу конструкции примерно в 1,7 раза, по сравнению со стальными изделиями, это также приводит к снижению нагрузок на подшипниковые узлы в подвижных механизмах и соответственно увеличивает срок службы оборудования. Повышенная теплопроводность на 12,5% выше, чем у нержавеющей стали, и на 95% выше, чем у сталей с 6% молибдена. Это обеспечивает **экономичность**

теплообменников, работающих в агрессивных условиях, способствуя более интенсивному теплообмену. У титановых сплавов низкий коэффициент линейного расширения.

Дополнительные возможности применения титана открываются в производстве такого оборудования, как баки, колонны (рис. 1.3.6.), фильтры и баллоны высокого давления. Применение трубопроводов из титана способно повысить коэффициент полезного действия нагревательных змеевиков в лабораторных автоклавах и теплообменниках.



Рис.1.3.6. Колонна из титана

Тантал химически стоек к действию кипящей соляной кислоты, царской водки, азотной, серной, фосфорной кислот. Однако не обладает стойкостью к действию щелочей. Танталовую аппаратуру применяют при производстве многих кислот (соляной, серной, азотной, фосфорной, уксусной), брома, хлора, перекиси водорода. На одном из предприятий, использующих газообразный хлористый водород, детали из нержавеющей стали выходили из строя уже через два месяца. Но, как только сталь была заменена танталом, срок службы даже самых тонких деталей (толщиной 0,3...0,5 мм) увеличился до 20 лет.

Титан и тантал по механическим свойствам не уступают высоколегированным сталям, а по химической стойкости намного превосходят их. Эти ценные металлы находят широкое применение в химическом машиностроении как в чистом виде, так и в виде сплавов. Из всех кислот лишь плавиковая способна растворять тантал (особенно при высокой температуре). Из него изготавливают змеевики, дистилляторы, клапаны, мешалки, аэраторы и многие другие детали химических аппаратов. Реже – аппараты целиком.

Многие конструкционные материалы довольно быстро теряют теплопроводность: на их поверхности образуется плохо проводящая тепло окисная или солевая пленка. Танталовая аппаратура свободна от этого недостатка, пленка окисла может на нем образоваться, но она тонка и хорошо проводит тепло. Высокая теплопроводность в сочетании с пластичностью сделали тантал прекрасным материалом для теплообменников.

Никель обладает высокой коррозионной стойкостью в воде, в растворах солей и щелочей при разных концентрациях и температурах. Он медленно растворяется в соляной и серной кислотах, не стоек к действию азотной кислоты. Никель широко применяется в различных отраслях техники, главным образом, для получения жаропрочных сплавов и сплавов с особыми физико-химическими свойствами. Из чистого никеля изготавливают различные аппараты, приборы, котлы и тигли с высокой коррозионной стойкостью и постоянством физических свойств. Особое значение имеют никелевые материалы в изготовлении резервуаров и цистерн для хранения в них пищевых продуктов, химических реагентов. Никелевые тигли

широко распространены в практике аналитической химии. Никелевые трубы различных размеров служат для изготовления конденсаторов, в производстве водорода, для перекачки различных химически активных веществ (щелочей) в химическом производстве.

Жаропрочные сплавы на никелевой основе. Большую группу сплавов на никелевой основе применяют для изготовления деталей, работающих при температурах (700-980)°С. Никелевые сплавы, легированные хромом и вольфрамом, являются стойкими в окислительных средах. Никелевые сплавы с добавкой меди, молибдена и железа стойкие в неокислительных средах. Никелевые сплавы с добавлением кремния стойкие в горячих растворах серной кислоты, а сплавы никеля с молибденом обладают повышенной стойкостью к действию соляной кислоты.

Жаростойкие сплавы на никелевой основе. Никель обладает более высокой жаростойкостью в окислительных средах, чем железо, так как его единственный оксид NiO менее дефектный, чем оксид FeO. Высокая жаростойкость сплавов никеля с хромом (нихромов) объясняется, прежде всего, образованием шпинели NiO-Cr₂O₃. Нихромы имеют высокое удельное электрическое сопротивление. Поэтому их используют как материал для нагревателей электропечей. Также их используют для изготовления камер сгорания, газопроводов и деталей газотурбинных установок. Сплав, содержащий никель и 20% Cr, - основа большинства жаростойких никелевых сплавов.

Свинец обладает сравнительно высокой кислотостойкостью, особенно, к серной кислоте, вследствие образования на его поверхности защитной пленки из сернистого свинца. Исключительно высокая мягкость, легкоплавкость и большой удельный вес резко ограничивают применение свинца в качестве конструкционного материала. Однако широкое применение в машиностроении нашли **сплавы** с использованием свинца в качестве легирующего компонента: свинцовая бронза, свинцовая латунь, свинцовый баббит (свинец, олово, медь, сурьма).

1.3.5 Контрольные вопросы по теме «Цветные металлы и сплавы»

- Как делят на группы алюминиевые сплавы?
- Какой сплав называют дюралюмином?
- Что такое силумин и что изготавливают из данного сплава?
- Что такое латунь и где она применяется?
- Какой сплав называют оловянной бронзой?
- Назвать сплав меди с никелем. Где он применяется?
- Расшифровать марку CuSn5Zn5Pb5.
- Применение титана в химическом машиностроении.

1.4 Коррозия металлов и сплавов

1.4.1 Разновидности коррозии

Коррозией называется процесс разрушения материалов в результате взаимодействия с агрессивной средой.

Конструкционные материалы для химического машиностроения должны обладать **высокой коррозионной стойкостью**, то есть способностью противостоять коррозионному воздействию среды.

Коррозионная стойкость зависит от многих факторов: вида агрессивной среды, конструкции химически активного компонента, скорости движения среды, температуры, давления и др. Например, углеродистая сталь вполне устойчива к действию концентрированной серной кислоты, но не стойка к действию разбавленной серной кислоты. Многие силикатные материалы устойчивы к действию серной кислоты любой концентрации, но не стойки к действию плавиковой кислоты.

Коррозионная стойкость металлов оценивается различными методами. Одним из наиболее распространенных является метод оценки по глубинному показателю коррозии (скорости коррозии). *Глубинный показатель коррозии* - это величина, характеризующая уменьшение толщины металла в течение года вследствие коррозии. Материалы для химического машиностроения должны иметь скорость коррозии не более 0,1 мм/год. Для конструкционных материалов менее ответственных деталей химического оборудования скорость коррозии допускается до 0,5 мм/год.

Коррозия металлов может протекать по **химическому** или **электрохимическому** механизму.

Электрохимическая коррозия возникает при действии на металл электролитов и влажных газов и характеризуется наличием двух параллельно идущих процессов: окислительного (растворение металла) и восстановительного (выделение металла из раствора). Этот вид коррозии сопровождается протеканием электрического тока в результате образования микрогальванических элементов. Возникновение коррозионных разрушений в металле связано с неоднородностью металла, присутствием примесей, нарушением структуры металла или защитного слоя, непостоянством состава раствора, неравномерностью деформаций различных участков, разностью температур и другими факторами.

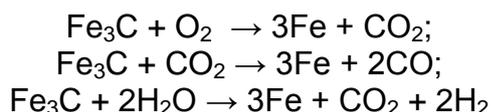
Скорость электрохимической коррозии зависит от концентрации и скорости движения раствора, состава и структуры металла, растворимости продуктов коррозии на анодных и катодных участках, температуры, давления и др.

Химическая коррозия возникает при действии сухих газов и жидких неэлектролитов на металлы, а также при действии электролитов на неметаллы. Механизм химической коррозии сводится к диффузии ионов металла сквозь постоянно утолщающуюся пленку продуктов коррозии и встречной диффузии атомов или ионов кислорода.

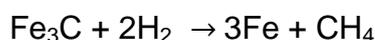
Примером химической коррозии является газовая коррозия - процесс взаимодействия металлов при высоких температурах и давлениях с кислородом или другими газами (H_2S , SO_2 , CO_2), водяным паром. В результате этого процесса на поверхности металлов образуется оксидная пленка, которая во многих случаях обладает защитными свойствами. Толщина такой пленки может меняться от 1-5 мм до десятых долей миллиметра. Хорошими защитными свойствами обладают оксидные пленки, у которых коэффициент линейного термического расширения близок к значению коэффициента линейного термического расширения металла.

Скорость химической коррозии значительно зависит от температуры и давления.

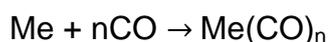
При повышенных температурах вследствие химической коррозии происходит процесс обезуглероживания у сталей:



При повышенных температурах и давлениях обезуглероживание может происходить за счет гидрирования (водородная коррозия):



При сравнительно низких температурах и высоких давлениях происходит разрушение металла (Me) в результате воздействия на него оксида углерода с образованием карбониллов (карбонильная коррозия):



Наличие механических воздействий в присутствии агрессивных сред приводит к возникновению коррозионной кавитации и коррозионной усталости металла, сопровождающихся серьезными коррозионными разрушениями.

Для примера рассмотрим некоторые особенности коррозии нержавеющей сталей и способы борьбы с ней. Высокая коррозионная стойкость нержавеющей сталей определяется их способностью легко пассивироваться (покрываться защитной пленкой) даже в обычных атмосферных условиях за счет кислорода воздуха.

Коррозионная стойкость нержавеющей сталей зависит от следующих факторов:

- Содержания **хрома**, основного легирующего компонента, с увеличением содержания которого резко возрастает коррозионная стойкость стали.

- Содержания **углерода**, с увеличением которого коррозионная стойкость стали значительно снижается.
- **Структурного состояния** сталей. Наибольшей коррозионной стойкостью обладают твердые растворы, легированные хромом и никелем. Нарушение однородности структуры вследствие образования карбидов или нитридов приводит к уменьшению содержания хрома в твердом растворе и снижению коррозионной стойкости.
- Природы **агрессивной среды** и устойчивости пассивной пленки. Нержавеющие стали устойчивы в растворах азотной кислоты, различных нейтральных и слабокислых растворах при доступе кислорода и неустойчивы в соляной, серной и плавиковой кислотах. Стали теряют свою устойчивость в сильно окислительных средах вследствие разрушения пассивных пленок, например, в высококонцентрированной азотной кислоте при высоких температурах.
- **Температуры**. С повышением температуры коррозионная стойкость нержавеющих сталей резко ухудшается как в окислительных, так и в неокислительных средах.

Коррозия в нержавеющих сталях может протекать как по электрохимическому, так и по химическому механизму. В виду сложного структурного состояния и большой разницы в электрохимических и коррозионных свойствах структурных составляющих, нержавеющие стали особенно склонны к проявлению локальных разрушений (межкристаллитная коррозия, точечная, язвенная). В сложных конструкциях, имеющих зазоры и щели, характерно проявление **щелевой** коррозии.

Межкристаллитная коррозия чаще проявляется в сварных соединениях и в случае неправильной термической обработки. При этом зерна находятся в пассивном состоянии, а границы зерен - в активном (вследствие образования карбида хрома). С повышением содержания в стали углерода чувствительность ее к межкристаллитной коррозии резко возрастает. Существенное влияние на чувствительность сталей к межкристаллитной коррозии оказывает размер зерен, причем, чем меньше размер зерна, тем меньше чувствительность стали к коррозии.

Точечная и **язвенная** коррозия нержавеющих сталей часто встречается при эксплуатации изделий в морской воде. Это связано с адсорбцией хлор-ионов на некоторых участках поверхности стали, вследствие чего происходит локализация коррозии. Легирование молибденом резко увеличивает сопротивляемость металла действию хлор-ионов.

1.4.2 Методы защиты от коррозии

Ежегодно около четверти всего произведенного в мире металла теряется в результате протекания коррозионных процессов. Затраты на ремонт и замену аппаратуры и коммуникаций химических производств во много раз превышают

стоимость материала, из которого они изготовлены. Способов защиты от коррозии так же много, как и видов коррозионного воздействия. Наиболее распространенными являются следующие методы защиты от коррозии.

Использование коррозионностойких материалов

В настоящее время химическую аппаратуру практически полностью изготавливают из коррозионностойких материалов. Несмотря на удорожание такого оборудования в среднем на (30...100)%, снижение потерь от коррозии позволяет существенно повысить надёжность техники и, следовательно, безопасность производства. При этом исключаются необходимость окраски и других подобных мер защиты; затраты на эксплуатацию снижаются в (2...5) раз. Практически исключается или радикально снижается количество выбросов продуктов коррозии в окружающую среду.

Методы флегматизации среды. Коррозия – очень сложный процесс, зависящий от многих факторов. В ряде случаев даже незначительные изменения состава среды – особенно концентраций электролитов и окислителей – существенно изменяют потенциал системы, вплоть до перехода в область пассивации. Так, например введение в среду незначительных количеств бихроматов или $KMnO_4$ резко (примерно в 5...200 раз) повышает стойкость титана к хлороводороду и соляной кислоте. Аналогично, добавки бихроматов (флегматизаторов) повышают стойкость ряда сталей к азотной кислоте.

Протекторная защита (рис. 1.4.1.) заключается в соединении металла защищаемой конструкции с металлом, который находится правее в ряду



напряжения. В образованной таким путем гальванической паре металл протектора служит анодом. Он и будет постепенно разрушаться, а основной металл останется целым. Данный способ применяют для защиты конструкций во влажных грунтах. Стальные конструкции трубопроводов снабжают протекторами в виде пластин из цинка, алюминивно-цинковых или магниевых сплавов.

Рис.1.4.1. Протекторная защита

Специфический метод применяют для защиты контактных пар от электрохимической коррозии. К элементам пары подключают источник напряжения, равного по значению и противоположного по знаку потенциалу пары, в итоге суммарная Э.Д.С. системы становится нулевой, что подавляет коррозию.

Изоляция поверхности металла от воздействия среды – способ защиты конструкций путем использования покрытий либо получения на поверхности металла защитной пленки. К методам изоляции поверхности металла от

воздействия среды относятся гуммирование, торкретирование, нанесение лакокрасочных и других покрытий.



Гуммирование - защитное покрытие на основе **резиновых смесей** с последующей их вулканизацией (рис.1.4.2.). Покрытия обладают эластичностью, вибростойкостью, химической стойкостью, водо- и газонепроницаемостью. Для защиты химического оборудования применяют составы на основе натурального каучука и синтетического натрий-бутадиенового каучука, мягких резин, полуэбонитов, эбонитов и других материалов.

Рис.1.4.2. Гуммированный корпус мешалки

Торкретирование - защитное покрытие на основе торкрет-растворов, представляющих собой смесь песка, кремнефторида натрия и жидкого стекла. Механизированное пневмонанесение торкрет-растворов на поверхность металла позволяет получить механически прочный защитный слой, обладающий высокой химической стойкостью ко многим агрессивным средам.

Лакокрасочные покрытия широко применяются для защиты металлов от коррозии, а неметаллических изделий - от гниения и увлажнения. Лакокрасочные составы представляют собой жидкие или пастообразные растворы смол (полимеров) в органических растворителях или растительные масла с добавленными к ним тонкодисперсных минеральных (или органических) пигментов, наполнителей и других специальных веществ. После нанесения на поверхность изделия лакокрасочные составы образуют тонкую (до 100...150 мкм) защитную пленку, обладающую ценными физико-химическими свойствами.

Лакокрасочные покрытия для металлов обычно состоят из **грунтовочного слоя**, обладающего антикоррозионными свойствами и внешнего слоя - **эмалевой краски**, препятствующей проникновению влаги и агрессивных ионов к поверхности металла. С целью обеспечения хорошего сцепления (**адгезии**) покрытия с поверхностью, поверхность тщательно обезжиривают и создают определенную шероховатость гидро-, дробе- или пескоструйной обработкой.

Лакокрасочные термостойкие покрытия – покрытия, способные выдерживать температуру более 100⁰С в течение определенного времени без заметного ухудшения физико-механических и антикоррозионных свойств. В зависимости от природы пленкообразующего компонента различают следующие виды термостойких лакокрасочных покрытий:

- этилцеллюлозные работают при 100⁰С;
- алкидные на высыхающих маслах работают при (120-150)⁰С;
- фенольно-масляные, полиакриловые, полистирольные работают при 200⁰С;
- эпоксидные работают при (230-250)⁰С;

- полисилоксановые в зависимости от типа смолы работают при (350-550)⁰С.

Латексные покрытия на основе водных коллоидных дисперсий каучукоподобных полимеров предназначены для создания бесшовного, непроницаемого подслоя под футеровку штучными кислотоупорными изделиями или другими футеровочными материалами. Латексные покрытия обладают хорошей адгезией со многими материалами, в том числе и с металлами. Они применяются в производствах фосфорной, плавиковой, кремнефтористоводородной кислот, растворов фторсодержащих солей при температуре не более 100⁰С

Футерование химического оборудования термопластами позволяет отказаться от применения дорогостоящих сплавов, а также от малотехнологичных футеровок из свинца и керамических плиток. Защитное действие полимерных покрытий и футеровок определяется их химической



стойкостью в конкретной агрессивной среде, степенью непроницаемости (барьерная защита), адгезионной прочностью соединения с подложкой, стойкостью к растрескиванию и отслоению, зависящей от механических свойств полимера и подложки, неравновесностью процессов формирования защитных слоев и соединений.

Рис. 1.4.3. Футерованные фторопластом трубы

Наибольшее распространение при футеровании химического оборудования получили *листы и пленки из полиэтилена, полипропилена, политетрафторэтилена (фторопласта)* (рис. 1.4.3.), *поливинилхлорида*. Для повышения физико-механических и защитных свойств, износостойкости листовые футеровочные материалы наполняют минеральными наполнителями (сажа, графит, сернокислотная обработка и др.).

Металлические покрытия получают нанесением на поверхность изделия тонкой пленки из другого металла (металлизация и горячие покрытия). Различают покрытия анодные и катодные. Анодные покрытия выполняют из металла, стоящего в ряду напряжения правее защищаемого металла. Для стальных изделий анодной защитой служит пленка из цинка, алюминия. Если покрытие окажется нарушенным, то разрушается покрывающий, а не основной металл.

Катодные покрытия предохраняют металл от прямого контакта с коррозионной средой. Катодную защиту выполняют из олова, свинца, никеля. Такая защита работоспособна до тех пор, пока не нарушена целостность покрытия. При местном нарушении защитной пленки начинается коррозия стали.

Специфический вариант способа: изготовление **биметаллов**. Биметаллы – двухслойные листовые материалы, получаемые методом горячей прокатки (рис.

1.4.4.). Несущий толстый слой (подложка) из малостойкого материала; верхний – защитный, так называемый, плакирующий - из высокостойкого материала.



Основная масса биметаллов представляет собой сталь: подложка – из конструкционной углеродистой стали; плакировка – из нержавеющей хромоникелевой стали. Правильно выбранный способ антикоррозионной защиты позволяет обеспечить максимальную долговечность химического оборудования в конкретных условиях его эксплуатации.

Рис.1.4.4. Структура биметалла

1.4.3 Контрольные вопросы по теме «Коррозия металлов и сплавов»

- Дать определение коррозии.
- Какие виды коррозии существуют?
- Какой вид коррозии наиболее распространен?
- Перечислить основные методы защиты от коррозии.
- Каковы основные способы поверхностной обработки сплава для защиты от коррозии?
- В чем заключается протекторная защита металла от коррозии?
- Что такое футерование и какие материалы для этого процесса используются?
- Какие материалы применяют для гуммирования химической аппаратуры?

1.5 Неметаллические материалы

1.5.1 Композиционные материалы

Одной из основных задач современной науки является разработка принципов получения новых материалов с комплексом уникальных свойств. Композиционные материалы независимо от их происхождения являются результатом сочетания разнородных компонентов, один из которых пластичен (связующее, матрица), а другой обладает высокой прочностью и жесткостью (наполнитель, арматура). В качестве компонентов могут быть металлы, керамика, стекло, углерод, пластики и другие материалы.

Определение композиционных материалов предполагает следующее:

- композиция должна представлять сочетание хотя бы двух разнородных материалов с четкой границей раздела между фазами;
- компоненты композиции образуют ее своим объемным сочетанием;
- композиция должна обладать свойствами, которых нет ни у одного из ее компонентов в отдельности.

По структуре композиты делятся на несколько основных классов:

- волокнистые,
- слоистые,
- дисперсноупрочненные,

- упрочненные частицами,
- нанокомпозиты.

Волокнистые композиты армированы волокнами или нитевидными кристаллами. Уже небольшое содержание наполнителя в композитах такого типа приводит к появлению качественно новых механических свойств материала.

В **слоистых композиционных материалах** матрица и наполнитель расположены слоями, как, например, в особо прочном стекле, армированном несколькими слоями полимерных пленок.

Микроструктура остальных классов композиционных материалов характеризуется тем, что матрицу наполняют частицами армирующего вещества, а различаются они размерами частиц. В композитах, **упрочненных частицами**, их размер больше 1 мкм, а содержание составляет 20–25% (по объему), тогда как **дисперсноупрочненные композиты** включают в себя от 1 до 15% (по объему) частиц размером от 0,01 до 0,1 мкм. Размеры частиц, входящих в состав **нанокомпозитов** (нового класса композиционных материалов) еще меньше и составляют 10–100 нм.

Рассмотрим композиционные материалы, применяемые в качестве материалов для химического производства.

Полимерные композиционные материалы

На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композиционные материалы (**углепластики**), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000°С. Из углеуглепластиков делают электротермическое оборудование.

Стеклопластики – полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами, которые формируют из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как термореактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.) (см. раздел 1.5.2). Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами. Объем волокон во многих стеклопластиках достигает 80% по массе. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется **стеклотекстолитом**.

Органопластики – композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д. В термореактивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Материал содержит 40–70% наполнителя.

Органоволокниты применяют для изготовления труб, емкостей.

Текстолит - слоистый пластик, армированный тканями из различных волокон. Отличается высокой стойкостью к агрессивным средам, в том числе к кислотам - серной (концентрацией до 30%), соляной, (до 20%), фосфорной (до 25%), уксусной (всех концентраций). Верхний температурный предел применения текстолита 80 °С.

Пропитанный графит - графит, полученный после прокалки каменноугольной смолы и пропитанный связующими смолами (фенолформальдегидными, кремнеорганическими, эпоксидными и др).

Вследствие хорошей теплопроводности пропитанного графита его широко применяют для изготовления теплообменников и трубопроводной арматуры. Пропитанный графит стоек во многих химически активных средах, в том числе в кислотах: азотной (низкой концентрации), плавиковой (концентрацией до 40%), серной (до 50%), соляной, уксусной, муравьиной, фосфорной. Некоторые сорта пропитанного графита стойки к действию щелочей. Среди многочисленных полимерных материалов, применяемых в противокоррозионной технике, все большее место занимают конструкции, состоящие из внутреннего химостойкого слоя (термопласта) и внешнего упрочняющего слоя (стеклопластика).

Композиционные материалы с металлической матрицей

При создании композитов на основе металлов в качестве матрицы применяют алюминий, магний, никель, медь и т.д. Наполнителем служат или высокопрочные волокна, или тугоплавкие, не растворяющиеся в основном металле частицы различной дисперсности. Введение в жаропрочный хромоникелевый сплав тонкодисперсных порошков оксида тория или оксида циркония позволяет увеличить температуру, при которой изделия из этого сплава способны к длительной работе, с 1000° С до 1200° С.

Армирование металлов волокнами, нитевидными кристаллами, проволокой значительно повышает как прочность, так и жаростойкость металла. Например, сплавы алюминия, армированные волокнами бора, можно эксплуатировать при температурах до (450–500)° С вместо (250–300)°С. Применяют оксидные, боридные, карбидные, нитридные металлические наполнители, углеродные волокна.

Композиционные материалы на основе керамики

Армирование керамики дисперсными металлическими частицами приводит к новым материалам (**керметам**) с повышенной стойкостью, устойчивостью относительно тепловых ударов, с повышенной теплопроводностью. Из высокотемпературных керметов делают детали для газовых турбин, арматуру электропечей.

Пластические массы

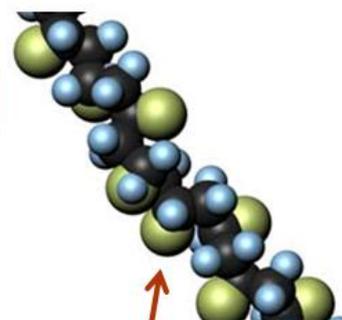
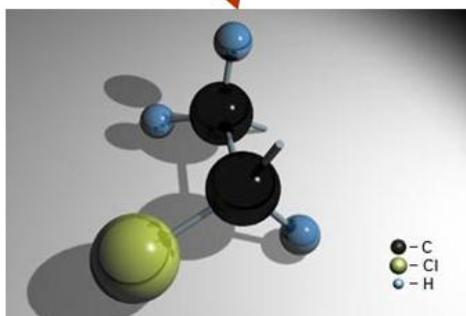
Пластическими массами или просто **пластмассами** называют материалы, основой которых являются синтетические или природные высокомолекулярные соединения (полимеры). Наиболее характерные **особенности** пластмасс:

- малый вес,
- хорошая химическая стойкость,
- высокие диэлектрические свойства,
- низкая теплопроводность,
- сравнительно большое термическое расширение.

Несмотря на такие недостатки пластмасс, как умеренная прочность, невысокая теплостойкость, изменчивость свойств при изменении температурных и других условий, малая жесткость, они нашли широкое применение в химической промышленности. Пластмассы разнообразны по назначению. В машино- и приборостроении их используют как конструкционные материалы, в других целях – для производства клеев, лаков и красок, в качестве материалов для технологической оснастки.

Химическая формула поливинилхлорида (ПВХ):
 $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$, где n — степень полимеризации.

Исходный мономер поливинилхлорида



Фрагмент молекулы
поливинилхлорида

Рис.1.5.1. Повторяющиеся группировки пластмассы (ПВХ)

Пластмассы представляют собой смеси полимеров с другими веществами. **Полимеры** - это высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа одинаковых группировок (повторяющихся звеньев), соединенных химическими связями. Повторяющиеся звенья низкомолекулярного соединения образованы из **мономера** (рис. 1.5.1.). Высокомолекулярные вещества получают из низкомолекулярных с помощью реакции **полимеризации** или **поликонденсации**.

Полимеризация – процесс соединения большого числа молекул низкомолекулярных веществ в одну молекулу, при этом не происходит выделения какого-либо низкомолекулярного соединения.

Поликонденсация – процесс образования высокомолекулярного вещества в результате соединения большого числа молекул низкомолекулярного вещества, происходящий с одновременным выделением воды, спирта, аммиака и других низкомолекулярных продуктов.

Классификация пластмасс. Пластмассы могут состоять из одного вещества (полимера) или нескольких веществ (полимер и добавки) и в зависимости от этого делятся на простые и сложные.

Простые пластмассы – это чистые полимеры без добавок. Они прозрачны, удобны для переработки в изделия (рис. 1.5.2., а).

Сложные пластмассы – это полимеры с различными добавками. Они прочнее, дешевле и разнообразнее по свойствам, чем простые пластмассы. В состав сложных пластмасс входят, кроме самих полимеров, наполнители, пластификаторы, смазывающие вещества, стабилизаторы, красители и специальные вещества (рис. 1.5.2., б).

Пластмассы без наполнителей называются ненаполненными, а с наполнителями – наполненными. По виду наполнителя пластмассы подразделяются на пресс-порошки, волокниты и слоистые пластики. В пресс-порошках используются порошковые наполнители, в волокнитах – волокна, в слоистых пластиках – листы наполнителя. Пористые пластмассы называются поропластами или пенопластами. Сложные пластмассы относят к композиционным материалам.

Пластификаторы придают пластмассе пластичность и гибкость и уменьшают ее хрупкость, повышают морозостойкость. Наиболее распространенными пластификаторами являются дибутилфталат, трикрезилфосфат.

Смазывающие вещества облегчают прессование пластиков и предотвращают прилипание пластмасс к горячим стенкам пресс-формы во время прессования. К ним относятся стеарин, олеиновая кислота.

Стабилизаторы – вещества, способствующие сохранению полимерных материалов во время их переработки и эксплуатации под воздействием атмосферных условий, повышенных температур и других факторов. Так, для стабилизации полиэтилена используют ароматические амины, фенолы, сернистые соединения, газовую сажу.

Красители добавляют для окрашивания пластических масс. Применяют как минеральные красители (охра, умбра, литопон, крон и т. д.), так и органические (нигрозин, родамин).

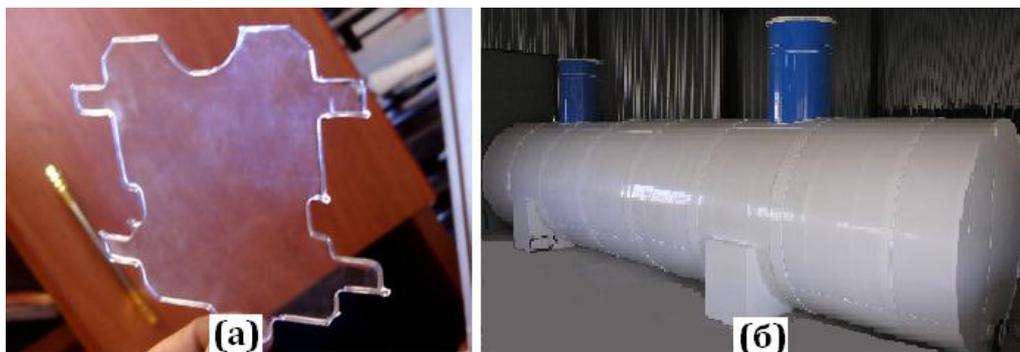


Рис.1.5.2. Простая пластмасса(а) и сложная пластмасса (б)

В зависимости от вида связей между молекулами полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные (таблица 1.5.1.).

Таблица 1.5.1. Полимеры

Термопласты	Промежуточные	Термореактивные
<ul style="list-style-type: none"> • Полиэтилен • Полиамиды • Полиэфиры • Целлюлозы • Поликарбонаты • Ацетаты • Акрилаты • Хлорсодержащие термопласты 	<p>Эластомеры (каучуки)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Эпоксидные смолы • Фенолсодержащие смолы • Полиэфирные смолы • Аминсодержащие смолы • Уретаны

Термопласты получают на основе полимеризационных смол. Они не переходят в неплавкое и нерастворимое состояние, поэтому их можно снова после нагрева использовать для прессования. Температура нагрева не должна быть слишком высокой во избежание разложения полимера.

У термореактивных полимеров при нагреве (а также по другим причинам) между линейными молекулами появляются химические связи, и полимер превращается в жесткое неплавящееся и нерастворимое вещество. Соединение линейных молекул химическим связями называется **отверждением**.

Хотя рассмотренная классификация используется широко, есть исключения. Например, полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы при нагреве не обладает вязкотекучестью, хотя термопластичность предполагает это. Многие полимеры текут (деформируются) без тепла, достаточно механического давления. Термореактивность означает отверждение при нагреве, но эпоксидные смолы могут отверждаться без тепла.

Термопластичные материалы

Термопласты получают на основе полимеризационных смол. Наиболее распространенными пластмассы на основе полимеризационных смол являются

полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиметилпентан, политетрафторэтилен.

Полиэтилен получают полимеризацией этилена. Свойства полиэтилена зависят от длины цепи (низкой плотности, высокой плотности, ультравысокой молекулярной массы). Известный упаковочный материал.

Полипропилен получают реакцией полимеризации пропилена. Полипропилен более жесткий, чем полиэтилен.

Полиэтилен и полипропилен - термопластичные материалы, стойкие к действию минеральных кислот и щелочей при условиях:

- полиэтилен - температура от -60 до +60 °С, давление до 1 МПа;
- полипропилен - температура от -10 до +100 °С давление до 0,07 МПа.

Поливинилхлорид получают полимеризацией винилхлорида. Жесткий и пластифицированный поливинилхлорид обладает химической стойкостью к щелочам, минеральным маслам, многим кислотам и растворителям. Обладает малой морозостойкостью (-15 °С), хорошими диэлектрическими свойствами. Нагревостойкость +65°С. Международное обозначение — PVC. На основе поливинилхлорида получают жесткие (**винипласт**) и мягкие (**пластикат**) пластмассы, пластизоли (**пасты**), поливинилхлоридное волокно. Пластикат применяется для изготовления пленок, шлангов.

Полистирол получают полимеризацией стирола. Полистирол обладает исключительно высокой водостойкостью. Некоторые изделия из полистирола показаны на рис. 1.5.3. В виде пенопласта используется как теплоизоляционный материал. Добавление к полистиролу акрилонитрила, бутадиена повышает его сопротивляемость ударам, действию кислот и щелочей.



Рис.1.5.3. Изделия из полистирола

Полиметилпентан почти оптически прозрачен, пропускная способность света составляет до 90%. Полиметилпентан сохраняет свойства до температуры 200°С. Его используют для изготовления лабораторного оборудования, уровнемеров для горячей жидкости.

Политетрафторэтилен имеет название «тефлон». Слово «тефлон» является зарегистрированной торговой маркой корпорации DuPont. Непатентованное

название вещества — «политетрафторэтилен» или «фторополимер». В СССР и России традиционное техническое название этого материала — фторопласт.

По своей **химической стойкости** тефлон **превышает все известные синтетические материалы и благородные металлы**. Не разрушается под влиянием щелочей, кислот и даже смеси азотной и соляной кислот. Разрушается расплавами щелочных металлов, фтором и трифторидом хлора.

Тефлон применяется при изготовлении промышленных фильтров общего назначения, элементов запорных и регулирующих клапанов, мешалок и насосов, оборудования для фильтрации и разделения, в качестве прокладочного и уплотнительного материала (рис. 1.5.4.).

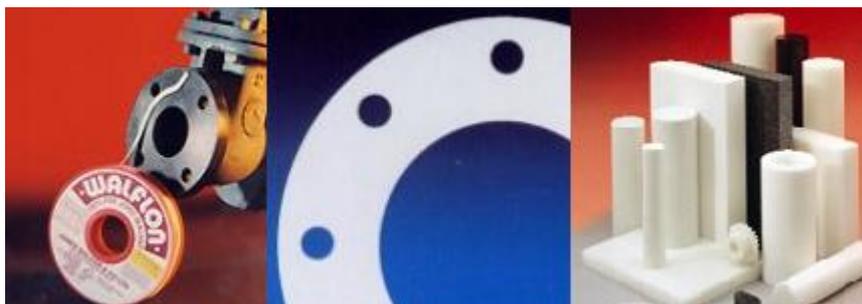


Рис.1.5.4. Изделия из тефлона

Термореактивные материалы

Термореактивные массы получают на основе поликонденсационных смол. Они отличаются тем, что в процессе прессования при действии повышенных температур (примерно 150°C-175°C) претерпевают ряд внутренних химических изменений и становятся необратимыми к прессованию.

Важнейшими поликонденсационными смолами в химическом машиностроении являются фенолформальдегидные смолы, эпоксидные смолы, полиэтилентерефталат.

Фенолформальдегидные смолы — термореактивные материалы, представляющие собой продукт поликонденсации фенолов с формальдегидом. В зависимости от условий поликонденсации образуются термореактивные или термопластичные смолы; в процессе переработки они отверждаются с образованием трехмерных структур (рис. 1.5.5.). Первое коммерческое название фенолформальдегидного материала — бакелит.

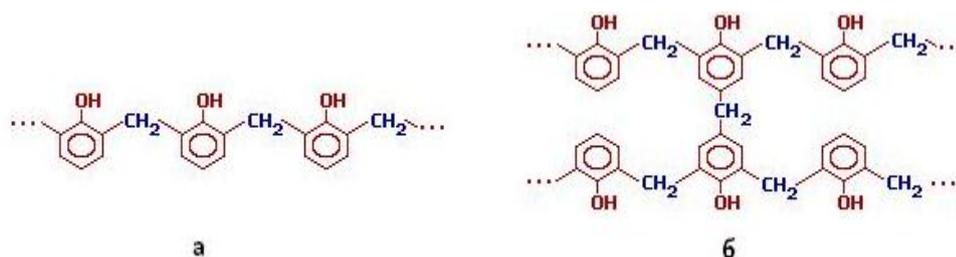


Рис.1.5.5. Поликонденсация фенолформальдегидной смолы: а – начальная стадия – линейная цепь резола; б – образование трехмерного полимера резита

Фенолформальдегидные смолы и композиционные наполненные материалы на их основе - наиболее многотоннажная по потреблению в химическом машиностроении пластмасса.

Основное их использование – производство композиционных пластиков: **пресс-порошковых**; **волоконитовых** (фаолит, стекловолконит); **слоистых** (текстолит, стеклотекстолит).

Материалы на основе фенолформальдегидных смол применяют для изготовления деталей технического назначения, работающих в условиях достаточно высоких температур и повышенной влажности, радиотехнической аппаратуры, кислотостойких изделий, химической аппаратуры, в машиностроении для изготовления колес, шестерен.

Но при использовании этих материалов учитывают набухание фенопластов в воде, чувствительность к длительным знакопеременным нагрузкам, выделение фенола и формальдегида при соприкосновении с горячей водой, слабая светостойкость. Окисляясь на воздухе, фенолы образуют окрашенные соединения. Вследствие этого естественный желтоватый или светло-коричневый цвета фенопластов переходят в пятнистый красно-коричневый. Поэтому изделия из фенопластов обычно окрашивают в коричневый и чёрный цвета (рис. 1.5.6.).



Рис.1.5.6. Изделия, полученные с использованием фенопласта

Эпоксидные смолы производят в жидком и твердом виде. Отвердитель, обычно содержащий аминогруппы добавляют к смоле для поперечной сшивки, чтобы образовать жесткую структуру. Количество отвердителя невелико. Материалы отличаются высокой прочностью, но, как правило, жёстки и хрупки. Эпоксидные смолы - превосходные клеи. Они стойки к большинству неорганических реагентов, в том числе, к окислителям. Также стойки к углеводородам, спиртам, карбоновым кислотам. Эпоксидные смолы широко применяют в качестве универсальных клеев и антикоррозионных покрытий, в качестве связующего при изготовлении ударопрочных слоистых пластиков.

Полиэтилентерефталат - продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой (или её диметилowym эфиром). В СССР полиэтилентерефталат и получаемое из него волокно называли лавсаном. Аналогичные волоконные материалы, изготавливаемые в других странах,

получили названия: терилен (Великобритания), дакрон (США), тергал (Франция), полиэстер (Германия) и т. д. Лавсан устойчив к действию неорганических реагентов в диапазоне $pH=(1...10)$, кроме окислителей. Также устойчив к органическим средам. Волокна из лавсана используют для изготовления фильтровальных полотен. Особо ценны лавсановые плёнки, применяемые в качестве ультрафильтровальных мембранных материалов.

Резины

Резина – важнейший конструкционный материал для производства технических изделий во многих отраслях промышленности, в том числе химической. Она является продуктом химического превращения (вулканизации) каучуков. Каучуки, взаимодействуя с определенными вулканизирующими веществами, претерпевают внутренние химические изменения, в результате чего образуется новый продукт – резина. Исходный материал для получения резины - резиновая смесь. Ее основу составляет каучук, содержание которого колеблется от 5 до 95%. Резина обладает рядом ценных свойств:

- высокая упругость и способность поглощать вибрации;
- хорошо сопротивляется истиранию и многократным растяжению и изгибу;
- газо- и водонепроницаема и стойка против воздействия большинства неорганических реагентов, спиртам, карбоновым кислотам.

Диапазон рабочих температур резины от -30°C до $(+100...+150)^{\circ}\text{C}$. Резины нестойки к углеводородам, алкил- и арилгалогенидам.

Свойства резины зависят, прежде всего, от свойств ее основы - каучука.

Каучуки делятся на **натуральные** и **синтетические**. Натуральный каучук получают из млечного сока (латекса) растений. Синтетический каучук по свойствам близок к натуральному каучуку. Синтетический каучук получают путем синтеза из органических веществ. Насчитывается несколько десятков синтетических каучуков, различающихся как по исходному сырью и способам производства, так по составу и физико-механическим свойствам. При изготовлении резины в ее состав помимо каучука и вулканизирующих веществ (сера) вводят:

- ускорители вулканизации;
- наполнители (мел, тальк, каолин, окись цинка, др.), которые улучшают механические свойства и удешевляют резину (наполнители дешевле каучуков в 20-75 раз);
- мягчители (стеарин, парафин) – для улучшения технологических свойств, антиокислители, красители.

В зависимости от количества серы, вводимой в каучук, различают резину мягкую, полужесткую и жесткую (твердую) (таблица 1.5.2.).

Таблица 1.5.2. Типы вулканизованных материалов

Класс продукта	Тип продукта	Массовая доля серы, %
Эластомеры	Мягкая резина	2...4
	Полужёсткая резина	12...20
Эбонит	Жёсткая резина	30...50

Особое место среди резин занимают силиконовые каучуки общей формулы $[O-SiR_2-O]_n$. Кремнийорганические полимеры отличаются не только высокой прочностью и упругостью, но и уникальной, сопоставимой с тефлоном химической стойкостью к действию почти всех агентов. Диапазон рабочих температур: от (-60°C) до (+200...+300)°C.

Каучуки и резины в основном применяют для изготовления уплотнительных деталей оборудования, шлангов, труб, а также в качестве клеев и герметиков. Резины используют в качестве защитных покрытий стальной аппаратуры: реакторов, сосудов, фильтров, центрифуг, труб. Гуммируемые детали обкладывают листами сырой резины и вулканизируют в среде острого пара или воздуха при температуре порядка +150°C. Гуммированное оборудование работоспособно при температурах до +100° C в неабразивных средах.

Прокладочные, уплотнительные, изоляционные материалы

Для придания плотности и герметичности соединения деталей машин (трубы, различные соединения) и устранения возможного просачивания жидкости и прорыва газов используют *прокладочные и уплотнительные материалы*.

Изоляционные материалы - это органические и неорганические вещества, обладающие огнестойкостью и малой тепло- и электропроводностью. Они применяются для изоляции находящихся под током деталей машин и электроприводов.

Наибольшее применение получили следующие прокладочные и изоляционные материалы:

Бумага – листовый материал, изготовленный из растительных волокон и целлюлозы. Целлюлоза – растительные волокна, очищенные от смол и других компонентов. Картон – специально обработанная толстая бумага толщиной 0,25 – 3 мм. В зависимости от способа обработки картон приобретает масло- и бензостойкость, электро- и термоизоляционность. Бумагу и картон применяют как прокладочный и изоляционный материал.

Фибра – разновидность бумажного материала, ее изготавливают из бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Отличается высокой прочностью и

хорошо поддается обработке. Фибра масло- и бензостойкая. Недостаток фибры – значительная гигроскопичность (влагопоглощаемость), поэтому при увлажнении она деформируется. Фибры применяются для изготовления шайб, прокладок, втулок.

Асбест – естественный волокнистый светло-серый минерал, состоящий из кремнезема и небольших количеств окиси железа и окиси кальция. Для него характерны высокая теплостойкость (выдерживает температуру до +500°C), а также малая тепло- и электропроводность. Из асбеста **делали** волокно. Нити, шнуры, ткани с примесью хлопка и чисто асбестовые ткани, листовые и прокладочные асбестовые материалы, асбестовую бумагу, картон. С **января 2005** в Европейском Союзе **запрещено** использование асбестосодержащих материалов в связи с их опасностью для здоровья человека. Такие материалы могут оказаться только в старом оборудовании.

Паронит – листовый материал из асбеста, каучука и наполнителей. **Применяли** для уплотнения водяных и паровых магистралей (при давлении до 5 МПа и при температуре до 450°C), а также для уплотнения трубопроводов и арматуры для нефтепродуктов: бензина, керосина, масла.

Многие страны мира и Европы не позволяют ввозить, эксплуатировать и производить у себя оборудование, на котором используются уплотнительные материалы и изделия, содержащие асбест (сальники арматуры и насосов, прокладки фланцевые, прокладки автомобильные и др.).

На замену паронитовым материалам, в которых присутствует асбест, был разработан альтернативный материал – **безасбестовый паронит**. Листы из безасбестового паронита - это композит из арамидных волокон, специальным образом подобранных неорганических волокон и наполнителей, а также соответствующих для предполагаемых условий работы вяжущих эластомеров.

Безасбестовые парониты обладают высокой стабильностью свойств и надежной уплотняющей способностью до температуры +450°C и до давления 13 МПа. Комбинируя состав и пропорции наполнителей и вяжущих эластомеров, можно подобрать безасбестовый паронит для герметизации агрессивных, щелочных и иных химических сред.

Войлок – листовый пористый материал, изготовленный из волокон шерсти. Воздушные поры в нем составляют не менее 75% объема. Он обладает высокими тепло- и звукоизолирующими, а также амортизирующими свойствами. Войлок используется для набивки сальниковых уплотнений и изготовления прокладок. Но это **устаревший материал**, имеющий много недостатков.

В настоящее время появилось много новых материалов для герметизации оборудования. Производят **безасбестовые набивки** из различных материалов: политетрафторэтиленовой, углеродной, полиакрилонитрильной, арамидной пряжи, из стекловолокна и керамического волокна, акрилового волокна и др. (рис. 1.5.7.). Например, политетрафторэтиленовая набивка подходит для всех химических

соединений (за исключением камер из щелочных металлов и газообразных соединений фтора) и работает при температурах от $-150...+260^{\circ}\text{C}$. Путем сложного, многоступенчатого процесса карбонизации из нефтяных битумов получают самые дорогие углеродные волокна. В дальнейшем их используют для производства высокотемпературных сальниковых набивок, работающих до $+1200^{\circ}\text{C}$.



Рис.1.5.7. Сальниковые набивки и уплотнения.

Недавно была разработана новая композиция гидрированного бутадиен-нитрильного каучука, армированного волокном, который может обеспечивать надежное функционирование производственных предприятий, на которых имеется не менее нескольких километров труб с фланцевыми соединениями.

Теплоизоляционные и огнеупорные материалы

Тепловая изоляция в современной промышленности играет важную роль. С ее помощью решают вопросы организации технологических процессов, экономии энергоресурсов. Теплоизоляционные конструкции являются важной частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, промышленных зданий. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений и оборудования. Тепловая изоляция выполняет следующие функции:

- снижает тепловые потери в окружающую среду от объектов (здания, сооружения, оборудование, трубопроводы и др.);
- обеспечивает нормальный технологический процесс в аппаратах;
- поддерживает заданные температуры компонентов в технологических процессах;
- создает нормальные температурные условия для обслуживающего персонала;
- уменьшает температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке;
- сохраняет заданные температуры в холодильниках и хладопроводящих системах;

- защищает от испарения сжиженные газы и легкие нефтепродукты при их хранении в изотермических резервуарах.

Если изоляцию выполняют для предотвращения тепловых потерь от изолируемой поверхности в окружающую среду, она называется **тепловой**. Изоляция, которую устанавливают для предотвращения движения теплоты из окружающей среды к более холодной изолируемой поверхности, называется **холодильной**.

В связи с широким развитием в промышленности технологических процессов, протекающих в условиях высоких температур и давлений, а также глубокого холода, роль и значение тепловой изоляции непрерывно возрастают.

Различают теплоизоляционные материалы **жёсткие** (плиты, блоки, кирпич, скорлупы, сегменты и др.), **гибкие** (маты, матрацы, жгуты, шнуры и др.), **сыпучие** (зернистые, порошкообразные) и **волокнистые**. По виду основного сырья теплоизоляционные материалы подразделяют на **органические, неорганические и смешанные**.

К органическим теплоизоляционным материалам относят, прежде всего, материалы, получаемые переработкой неделовой древесины и отходов деревообработки (древесноволокнистые плиты и древесностружечные плиты), сельскохозяйственных отходов (соломит, камышит), торфа (торфоплиты). Эти теплоизоляционные материалы, как правило, отличаются низкой водо- и биостойкостью. Указанных недостатков лишены так называемые газонаполненные пластмассы (пенопласты, поропласты, сотопласты и др.) — высокоэффективные органические теплоизоляционные материалы с объёмной массой от 10 до 100 кг/м³. Характерная особенность большинства органических теплоизоляционных материалов — низкая огнестойкость, поэтому их применяют обычно при температурах не выше +150 °С.

Более огнестойки теплоизоляционные материалы смешанного состава (фибrolит, арболит), получаемые из смеси минерального вяжущего вещества и органического наполнителя (древесные стружки, опилки).

Неорганические теплоизоляционные материалы — минеральная вата и изделия из неё (среди последних важны минераловатные плиты: твёрдые и повышенной жёсткости), лёгкие и ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон), пеностекло, стеклянное волокно, изделия из вспученного перлита (рис. 1.5.8.).

Изделия из минеральной ваты получают переработкой расплавов горных пород или металлургических (доменных) шлаков в стекловидное волокно. Объёмная масса изделий из минеральной ваты 75—350 кг/м³.

Неорганические теплоизоляционные материалы, используемые в качестве монтажных, изготавливают на основе вспученных горных пород (вермикулита, перлита).

Для изоляции промышленного оборудования и установок, работающих при температурах выше +1000°С (нагревательных печей, топок, котлов), применяют так называемые легковесные **огнеупоры**, изготавливаемые из огнеупорных глин или высокоогнеупорных окислов в виде **штучных изделий** (кирпичей, блоков различного профиля). Также используют волокнистые теплоизоляционные материалы из огнеупорных волокон и минеральных вяжущих веществ (коэффициент их теплопроводности при высоких температурах в 1,5—2 раза ниже, чем у имеющих ячеистое строение).



Рис.1.5.8. Теплоизоляция из каменной ваты.

Стекло, керамика, эмали

Стекло - общее название материалов, получаемых сплавлением двуокиси кремния с оксидами щелочных и щелочноземельных металлов (Al_2O_3 , B_2O_3), оксидами переходных металлов. Стёкла аморфны, являются твёрдыми растворами. Отличительная особенность стёкол – прозрачность и хрупкость. В химической технике широко применяются стёкла, отличающиеся минимальным линейным расширением, стойкостью и тугоплавкостью.

Алюмоборосиликатные стекла содержат (60...65) % SiO_2 ; (15...16) % Al_2O_3 ; (15...16) % B_2O_3 ; (1...2) % Na_2O ; (11...12) % CaO и (6...7) % MgO , а также до 15 % оксидов Mo, V, W и до 2% F. Это основной тип химически стойких стёкол, они выдерживают нагрев до (450...1000) $^{\circ}\text{C}$; стойки к любым реагентам, кроме HF (плавиковой кислоты), крепких щелочей и ортофосфорной кислоты (при $t > 150$ $^{\circ}\text{C}$); оптически изотропны и прозрачны в области $\lambda > 300$ нм; отличаются малым линейным расширением: $\alpha = (0,5...1,2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Кварцевое стекло содержит (98...99,5)% SiO_2 . Кварцевое стекло получают электротермическим плавлением наиболее чистого кварцевого песка при (1750...1800) $^{\circ}\text{C}$. Кварцевое стекло выдерживает длительный нагрев до (1100...1200) $^{\circ}\text{C}$; кратковременный - до (1300...1400) $^{\circ}\text{C}$. Изделия из кварцевого стекла стойки к любым реагентам, кроме плавиковой кислоты и ортофосфорной кислоты (при $t > 250$ $^{\circ}\text{C}$); газонепроницаемы при температурах до 1300 $^{\circ}\text{C}$; оптически прозрачны в области $\lambda > 180$ нм; отличаются наименьшим линейным расширением: $\alpha = (0,3...0,7) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Ситаллы - стеклокристаллические материалы, получаемые путём направленной кристаллизации стекольных расплавов. При использовании в качестве присадок минерализаторов получают **технические ситаллы**, при использовании металлургических шлаков – **шлакоситаллы**. Благодаря кристаллической структуре ситаллы превосходят обычные стёкла по прочности в среднем в 5 раз; термостойки при температурах до 1000^oC; стойки к любым реагентам, кроме плавиковой кислоты и ортофосфорной кислоты (при 250^oC).

Стёкло и ситаллы - исключительно ценные материалы для химической техники. Поддаются плавлению, литью, пайке, склеиванию. Из химически стойких стёкол и



Рис.1.5.9. Применение стекла: ректификационная колонна

ситаллов изготавливают сосуды и реакторы вместимостью до 160 л, кристаллизаторы, фильтры, дистилляционные и ректификационные установки (рис. 1.5.9.), трубы, арматуру, защитные гильзы для датчиков. Аппаратура выдерживает давление до 1 МПа и температуру до (300...1000)^oC. Стеклооборудование прекрасно подходит для получения высокочистых продуктов.

По мере роста прочности стекла оно станет еще больше вытеснять другие материалы из химического машиностроения. Стекло используется при изготовлении пробирок, колб, цилиндров и стеклянных приборов в химических лабораториях.

Эмали - стеклообразные вещества, получаемые спеканием кварцевого песка, глины, мела, буры, соды, поташа при температуре (1250...1300)^oC. Эмали содержат (55...65)% SiO₂; (15...35)% Al₂O₃; (5...6)% Fe₂O₃; (1...2)% Na₂O; (0,5...2,5)% CaO; (15...16)% B₂O₃; а также TiO₂, ZrO₂, SnO₂, Cr₂O₃. Эмали отличаются высокой химической стойкостью в кислых, щелочных и окислительных средах при температурах до (300...350)^oC в жидкостях и до (600...700)^oC в газах. Основное назначение эмалей – нанесение защитных покрытий на металлические поверхности. Покрытия стойки на чугунной аппаратуре при температурах от (-30) до 300^oC; на стальной - от (-70) до 350^oC.

Эмалевые материалы разделяют на **стеклокристаллические** и **стеклоэмалевые**. **Стеклокристаллические** имеют указанный выше состав и по структуре приближаются к ситаллам. Стеклоэмалевые получают спеканием стекла с металлическими порошками при температуре размягчения стекла (технология остекловывания). Стеклокристаллические эмали отличаются большей коррозионной стойкостью; стеклоэмалевые, в свою очередь, имеют лучшие термомеханические свойства: выдерживают нагрев до 650^oC и даже допускают производить сварку эмалированных деталей.

Керамика - материал, получаемый спеканием при температуре (1300...1450)^oC следующих составляющих: (50...70) % SiO₂; (15...35) % Al₂O₃; (15...16) % Fe₂O₃; (1...2) % Na₂O; (0,5...2,5)% CaO. Керамические материалы отличаются высокой

термостойкостью и твёрдостью, стойки к любым реагентам, кроме плавиковой кислоты, крепких щелочей и ортофосфорной кислоты. Недостаток – хрупкость и низкая термомеханическая прочность. Керамику используют для изготовления труб; арматуры; защитных гильз; фильтрующих элементов; облицовочных плиток и кирпичей; диафрагм для электролизёров. Выпускается кислотоупорный кирпич для футеровки химического оборудования, крупноблочная керамика для аппаратов башенного типа, например, в производстве серной кислоты. Трубопроводы из кислотостойкой керамики широко применяют для транспортировки серной и соляной кислот.

Каменные и силикатные материалы

Жаропрочный кислотостойкий бетон (искусственный каменный материал) применяется для бетонирования днищ башенного оборудования сернокислотного производства, для изготовления фундаментов под оборудование. Надежно работает в условиях (900-1200)°С. В последнее время находят применение полимербетоны на основе органических смол, которые обладают высокой стойкостью к действию концентрированных кислот, щелочей, бензола, толуола и фторсодержащих сред.

Природные **силикатные материалы**: диабаз, базальт, асбест, хризотил, андезит обладают высокой кислотостойкостью, исключение составляет хризотил, который не стоек в кислотах, но устойчив к действию щелочей. Все эти материалы обладают хорошими физико-механическими свойствами и широко используются в качестве конструкционных, теплоизоляционных и футеровочных материалов.

1.5.2 Контрольные вопросы по теме «Неметаллические материалы»

- Какие материалы называют композиционными?
- От чего зависят свойства композиционных материалов?
- Что может быть использовано в качестве компонентов композиционных материалов?
- Какие полимеры (линейные или пространственные) – основа термопластиков (термопластичных полимеров)?
- Применение пластмасс в химической промышленности.
- Что входит в состав сложных пластмасс?
- Как называется термопластичный полимер, отличающийся исключительной химической стойкостью?
- Какая терморезистивная смола наиболее распространена в химическом машиностроении?
- Применение лавсана в химическом машиностроении.
- Что является основой резины?
- Что такое эбонит?
- Применение резин в химическом машиностроении.
- Из чего изготавливают сальниковую набивку?
- Каково назначение теплоизоляции?
- Перечислить теплоизоляционные материалы.
- Что изготавливают из стекла в химическом машиностроении?
- Какие материалы применяют в качестве футеровочных?

2 РАЗДЕЛ. ХИМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

2.1 Основные узлы и детали химического оборудования

Химическое оборудование разнообразно по конструкции. После изучения условий работы аппаратов и машин, предназначенных для однотипных процессов, проведена большая работа по их унификации и стандартизации. Например, стандартизованы теплообменная аппаратура, горизонтальные резервуары, центрифуги, сушилки и многие другие аппараты и машины.

Большая часть химических машин и аппаратов в связи со специфическими условиями работы являются нестандартными. Однако их изготавливают из сравнительно небольшого числа однотипных узлов и деталей. Это дает возможность конструировать аппараты из стандартных и нормализованных элементов. Основными элементами химической и нефтехимической аппаратуры являются : обечайки, днища, фланцы, штуцера, бобышки, опоры, люки, лазы, смотровые окна. (рис.2.1.1.)

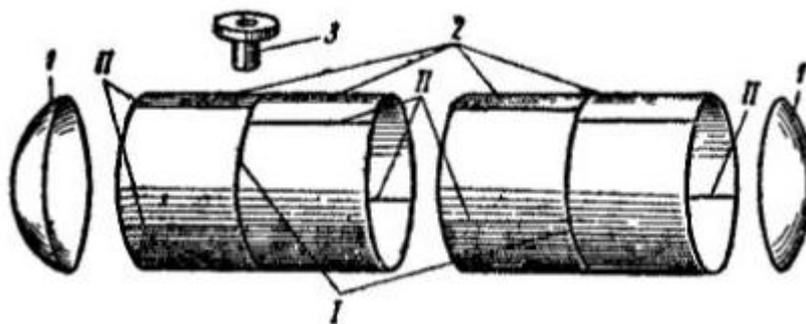


Рис.2.1.1. Основные узлы сосудов: 1-сферическое днище; 2-обечайка; 3-патрубок; 4-кольцевой шов; 5-продольный шов

2.1.1 Обечайки (оболочки) аппаратов

Обечайка – открытый с торцов цилиндрический или конический барабан (без днищ), являющийся заготовкой для паровых котлов, баков, резервуаров, реакторов, колонн (рис.2.1.2.) Обечайки получают вальцовкой при толщине листа до 40мм, раскаткой - при большей толщине листа. Стык листов замыкают. Обечайки с днищем под сварку или клепку производят, в основном, с помощью стяжных колец.



Рис.2.1.2. Обечайка

Длина обечайек определяется в зависимости от конструктивных размеров аппарата. При выборе длины обечайки необходимо учитывать возможности наиболее рационального раскроя листов материала.

Обечайки могут быть тонкостенными и толстостенными. Под наружным давлением находятся вакуумные аппараты, корпуса аппаратов с рубашками. Решающим обстоятельством при действии наружного давления является **устойчивость цилиндрической формы оболочки**.

Тонкостенные обечайки, нагруженные наружным давлением, могут потерять свою первоначальную форму и расплющиваться при напряжениях, значительно меньших, чем разрушающие.

Давление, при котором обечайка начинает деформироваться, называют **критическим**. Различают **длинные** и короткие обечайки. Длинными считают оболочки, у которых расстояние между днищами, фланцами или укрепляющими кольцами превышает десять диаметров аппарата. Элементы жесткости на концах оболочки не оказывают укрепляющего действия при её деформации в средней части.

2.1.2 Днища

Для цилиндрических сосудов и аппаратов применяют **сферические, эллиптические, конические или плоские днища**.

Эллиптическое днище – одно из основных типов днищ, применяемых для аппаратов, работающих под давлением. Поперечное сечение днища представляет собой половину эллипса. Эллипс имеет непрерывно меняющийся радиус кривизны. Благодаря этому в днище не наблюдается концентрации напряжений, которая создается при резком изменении профиля днища. Обычно отношение высоты эллиптической части к диаметру равно приблизительно 0,25. (рис. 2.1.3.)

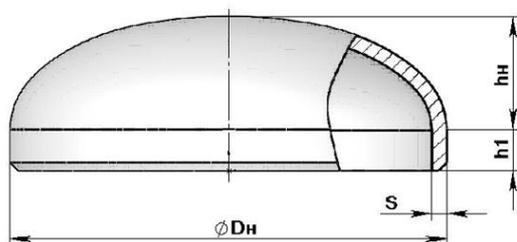


Рис.2.1.3. Эллиптическое днище аппарата

Полушаровые (сферические) днища применяют, в основном, у аппаратов, имеющих большой диаметр (>4м). Сфера является идеальной формой оболочки, так как в ней совсем не возникают изгибающие напряжения (рис.2.1.4.).



Рис.2.1.4. Сферическое днище аппарата



Рис.2.1.5. Плоское днище аппарата

Плоские днища наиболее просты в изготовлении. Однако их толщина значительно больше, чем у выпуклых днищ, работающих в тех же условиях. Поэтому их нецелесообразно применять для аппаратов, работающих под значительным давлением (рис. 2.1.5.).

Конические днища устанавливают в тех случаях, когда в аппарате находятся сыпучие вещества или очень вязкие жидкости, выгрузка которых затруднена. Их применяют также для перехода с одного диаметра на другой. Угол у основания обычно 90 или 120°. Конические днища делают отбортованными и неотбортованными (рис.2.1.6.).



Рис. 2.1.6. Аппарат с коническим днищем

2.1.3 Фланцы

Фланцы служат для соединения частей аппаратов, присоединения трубопроводов и других устройств. Герметичность фланцевого соединения обеспечивается прокладкой, которая деформируется при затягивании фланцев и заполняет все неровности на присоединенных поверхностях.

Существует широкий ассортимент **фланцев стальных**: фланцы коррозионностойкие, нержавеющие, фланцы из углеродистых и легированных сталей, фланцы хладостойкие и жаропрочные, фланцы равнопроходные и фланцы переходные, фланцы плоские и фланцы воротниковые.

Фланец плоский – это соединительная часть трубопроводов, арматуры, валов, сосудов, резервуаров, приборов, состоящая из диска с отверстиями для болтов (или шпилек). **Фланец плоский** является наиболее часто применяемым соединительным элементом трубопроводов. В англоязычной промышленной

терминологии за фланцами плоскими закрепилось название *Slip On Flange*, или *SO Flange*.

Фланец плоский применяется для плотного и герметичного соединения отдельных частей трубопроводов низких и средних давлений. Используют фланец плоский на трубопроводах, где рабочее составляет 0,1 - 2,5 МПа, а температура рабочей среды находится в пределах от -70°C до +450°C.



Рис. 2.1.7. Плоский фланец

При монтаже **плоский фланец** насаживается на трубу и приваривается к ней двумя сварными швами вдоль окружности трубы. Фланцы плоские удобны в монтаже и использовании в промышленных целях (рис.2.1.7., рис.2.1.8., рис.2.1.9.).



Рис. 2.1.8. Трубчатый нержавеющий теплообменный аппарат с фланцами.



Рис. 2.1.9. Шаровой кран из ковкого чугуна с литыми присоединительными фланцами.

Основное преимущество применения фланцев стальных - обеспечение герметичного сборно-разборного соединения участков трубопроводов, сосудов, ёмкостей, аппаратов, резервуаров, содержащих или транспортирующих вещества в жидкой или газообразной фазе. Фланцы не являются скрепляющими деталями, а служат опорой для крепежа.

Кроме плоских фланцев есть воротниковые фланцы (рис.2.1.10.).



Рис.2.1.10. Фланцевое соединение фланцев плоских и воротниковых фланцев

Фланцевое соединение сферического дна с корпусом сосуда или аппарата представлено на рис. 2.1.11.

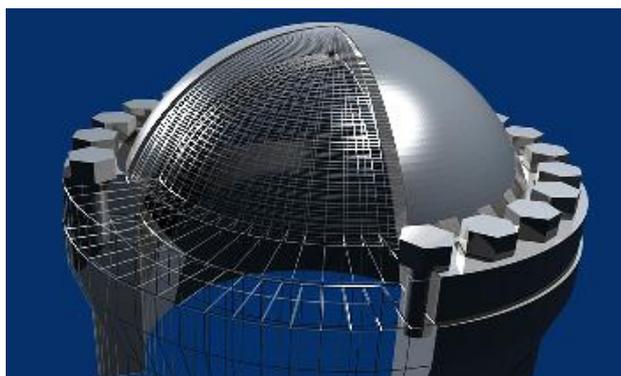


Рис. 2.1.11. Фланцевое соединение сферического дна с корпусом аппарата

Качество и надежность фланцевого соединения во многом зависит от уплотнительной прокладки, более того, применение **прокладок** необходимо. Для уверенности в правильности выбора прокладки необходимо верно выбрать материал и конструкцию прокладки, а также правильно её установить. Существуют **мягкие неметаллические, полуметаллические и полностью металлические прокладки** для фланцевых соединений.

Прокладку выбирают в зависимости от давления, температуры, свойств уплотняемой среды и конструкции фланцевого соединения. Прокладка должна быть достаточно прочной и эластичной, чтобы при затягивании болтов хорошо уплотнить фланцевое соединение и надежно работать в условиях заданной температуры и среды.

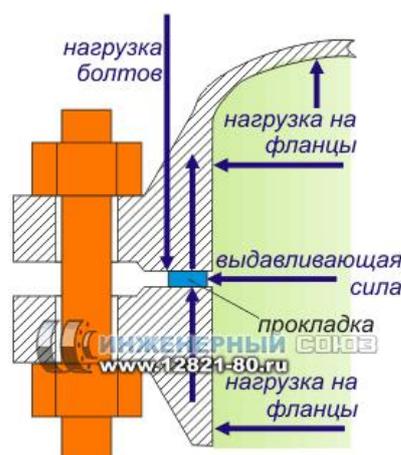


Рис.2.1.12. Силы, действующие на фланцевое соединение

Прокладки изготавливают из резины, паронита, хлорвинила, фторопласта, мягких металлов (медь, алюминий, низкоуглеродистое железо). По конструкции различают **плоские прокладки, шнуровые и прокладки сложной формы**. Наиболее распространены плоские прокладки. При повышенных давлениях и температурах находят применение фасонные и комбинированные прокладки. Например, применяют паронитовые прокладки, армированные металлической

лентой или проволокой. При высоких давлениях используют прокладки в виде шлифованных металлических колец.

Кольца Армко предназначены для уплотнения фланцевых соединений с присоединительными поверхностями арматуры, трубопроводов, фланцев сосудов, аппаратов, насосов, оборудования нефте- и газодобычи, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности (рис. 2.1.13.). Стальные прокладки (кольца Армко) позволяют создать уплотнение при высоких давлениях, когда прокладки других типов не применимы. Фланцевые прокладки сталь 08КП, 10985, 08Х13, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т применяют, когда условное давление P_u от 6,3 до 16 МПа и температура от -70 до 600°C.

Повторное использование стальных уплотнений (прокладок и линз) не рекомендуется. Во время монтажа и эксплуатации происходит укрепление материала. При повторном монтаже для достижения прежней герметизации требуются более плотное затягивание болтов для фланцевых соединений, что может привести к повреждению уплотнительных поверхностей фланцев.



Рис.2.1.13. Прокладки для уплотнения фланцевых соединений

Ответственным моментом фланцевых соединений являются крепежные детали. При низких давлениях применяют болты. При избыточном давлении вместо болтов применяют шпильки, так как в головках болтов возникают значительные местные напряжения.

Фланцевые соединения нормализованы. Их выбирают по величине условного прохода и условного давления с учетом свойств уплотняемой среды. Фланцы аппаратов и трубопроводов, работающих с ядовитыми, огне- и взрывоопасными веществами, выбирают на условное избыточное давление, даже если рабочее давление значительно ниже.

Фланцы применяют в различных сферах нефтегазовой промышленности. Не исключение - и первичный этап переработки нефти, где фланцы используют в качестве соединительных деталей продуктопроводов, запорно-регулирующей арматуры, резервуаров, колонных аппаратов и прочего оборудования.

Качество получаемых продуктов перегонки нефти во многом зависит от надёжности фланцевых соединений нефтеперерабатывающего оборудования.

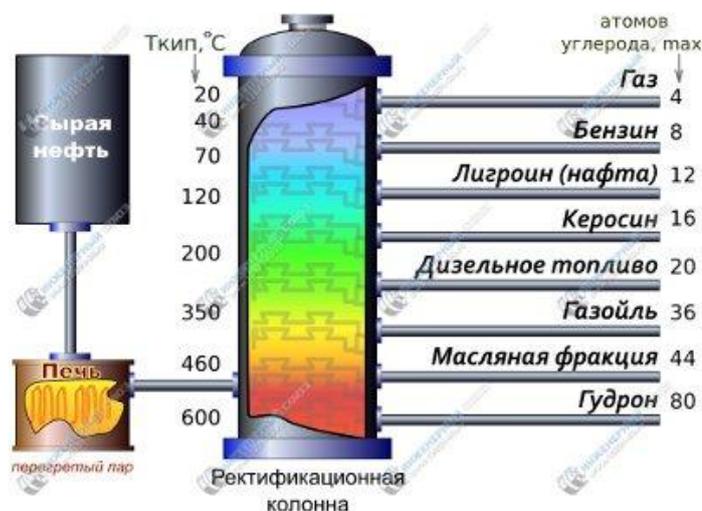


Рис. 2.1.14. Схема технологической установки перегонки нефти

2.1.4 Штуцеры, люки, опоры

Штуцер состоит из короткого отрезка трубы (патрубка) и фланца.

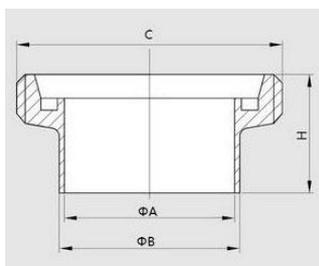


Рис. 2.1.15 Штуцер резьбовой приварной

Минимальная длина его должна быть достаточной для удобной установки болтов при сборке фланцевого соединения. В случае защиты аппаратов термоизоляцией штуцер делают удлиненным. На крупных аппаратах нельзя устанавливать штуцеры малых размеров из-за опасности поломки. Штуцер приваривают к аппарату. Иногда в штуцер вставляют патрубок наполнения, чтобы предотвратить стекание жидкости по стенкам аппарата. Штуцеры, работающие с застывающими жидкостями, снабжают рубашками для обогрева.

Штуцеры, предназначенные для слива жидкости, должны быть расположены в нижней точке и обеспечивать полное удаление жидкости.

Штуцер – это втулка, на одном конце которой есть внутренняя или наружная резьба для крепления к трубопроводам, корпусам, днищам, емкостям. Другой конец штуцера может иметь разные формы в зависимости от того, каким способом он присоединяется к последующим деталям (рис.2.1.16.).



Рис.2.1.16. Штуцеры

Расположение штуцеров на промышленной установке - кольцевом адсорбере представлено на рис.2.1.17. . Вся конструкция смонтирована в металлическом корпусе 1. Газ с примесями через штуцер 2 поступает во внешнюю часть адсорбера, проходит в горизонтальном направлении через кольцевой слой угля и выводится через штуцер 4. Уголь находится между внутренней 7 и внешней 6 цилиндрическими решетками,

На стадиях сушки и охлаждения указанное направление потоков сохраняется. На стадии десорбции водяной пар подают через штуцер 4. Парогазовую смесь отводят через штуцер 3. Загружают адсорбент через люки 8, а выгружают через люк 5.

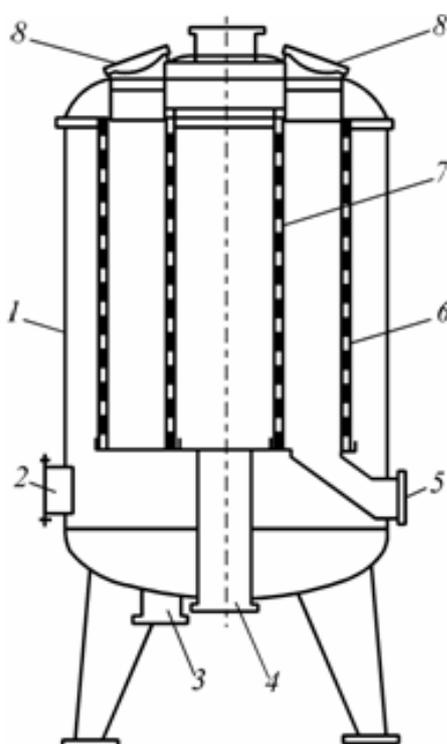


Рис.2.1.17. Кольцевой адсорбер: 1 – корпус; 2 – штуцер для подачи газа; 3 – штуцер для отвода паров при десорбции; 4 – штуцер для отвода газа и подачи пара; 5 – люк для выгрузки адсорбента; 6, 7 – решетки; 8 – люки для загрузки адсорбентов

Бобышки

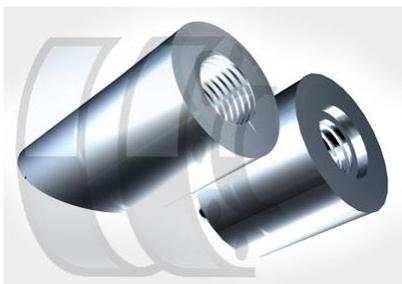


Рис.2.1.18. Бобышки

Бобышки – это закладные конструкции, отборные устройства (рис. 2.1.18.). Бобышка может быть деталью трубопровода, которая предназначена для установки термопреобразователей в производственных системах.

Бобышки устанавливают на технологическом и инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздухопроводах, газоходах), для подсоединения термометров, манометров, приборов измерения уровня,

качества веществ, запорной арматуры, подключения импульсных трубопроводных линий при рабочем давлении до 40 МПа.

Смотровые окна

Их устанавливают, когда нужно наблюдать за работой герметичных аппаратов. Обычно на аппарате устанавливают два смотровых окна, один из которых снабжают светильником. Основная деталь смотрового окна – стекло. В типовых смотровых окнах применяют толстые иллюминаторные стекла, рассчитанные на давление до 0,6 МПа и температуру не более 150°C. При высокой температуре устройство смотровых окон для аппаратов затруднительно из-за сложности выбора термостойкого стекла. Если поверхность стекла во время работы сильно загрязняется, то устанавливают патрубки для промывки окон. В них периодически подают воду или промывную жидкость. Для наблюдения за уровнем жидкости устанавливают мерные стекла.



Рис.2.1.19. Смотровые окна, фонари

Люки

Служат для осмотра аппарата, очистки, монтажа и демонтажа внутренних устройств, загрузки сырья (рис.2.1.20.). Конструкция люков и лазов зависит от условий работы и давления в аппарате. Если лазом пользуются редко, то его крышку делают в виде заглушки. При необходимости частого открывания крышку делают на откидных болтах, которые можно отвернуть легче, чем обычные.



Рис.2.1.20. Люки для емкостей, цистерн и котлов

Люки и лазы, которые необходимо открывать несколько раз в день, делают с поворотной скобой. Люки могут быть установлены как на горизонтальных, так и на вертикальных стенках аппарата. При установке люков на вертикальной стенке необходимо обеспечивать подвеску крышки.

Лапы и опоры

Служат для установки аппаратов на фундаменты и несущие конструкции.

Боковые и опорные лапы вертикальных аппаратов нормализованы. В случае необходимости поднять аппарат высоко применяют трубчатые опоры или опоры из уголков. Аппараты обычно ставят на четыре опоры.

Аппараты малого диаметра и большой массы устанавливают на массивные кольцевые опоры. Лапы можно приварить к корпусу. На аппаратах из механически непрочных материалов вместо лап делают небольшие выступы, которые опираются на стальную кольцевую опору.

Большое количество аппаратов, например, емкости, теплообменники устанавливают на опорах горизонтально. В этом случае используют седловидные опоры, которые охватывают аппарат не менее, чем на 120° по окружности.



Рис.2.1.21. Опоры аппаратов

2.1.5 Контрольные вопросы по теме «Основные узлы и детали оборудования»

- Перечислите основные элементы аппаратов в химической промышленности.
- Что такое обечайка?
- Какие виды днищ используют в промышленных аппаратах? Особенности их и условия применения.
- Для чего служат фланцы? Какие материалы прокладок используют для обеспечения герметичности фланцевых соединений?
- Что собой представляют смотровые стекла, люки, лазы? Для чего они нужны?

2.2 Трубопроводы

Трубопроводом называется устройство, предназначенное для транспортировки жидких, газообразных или сыпучих веществ. Поток вещества внутри трубопровода создается за счет разности давлений на концах трубопровода.

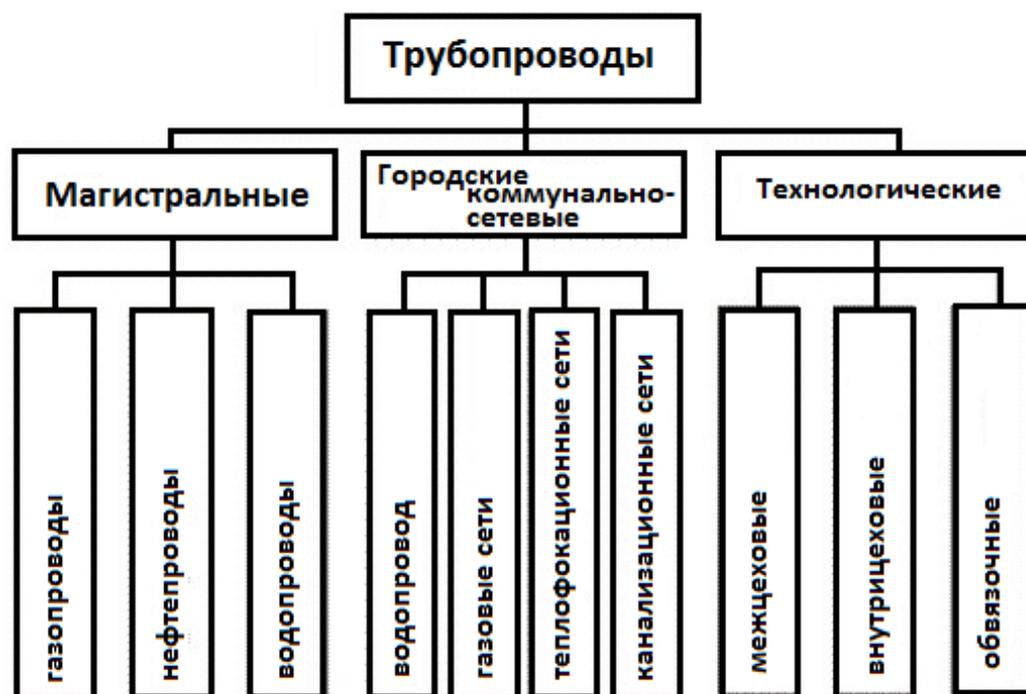


Рис. 2.2.1. Основные виды трубопроводов

Магистральные трубопроводы предназначены для транспортировки среды на дальние расстояния.

Городские коммунально-сетевые трубопроводы используются для удовлетворения нужд городского населения и небольших промышленных предприятий.

Технологическими называют трубопроводы промышленных предприятий, по которым транспортируются сырье, полуфабрикаты и готовые продукты, пар, вода, топливо, реагенты и другие материалы, обеспечивающие выполнение технологического процесса и эксплуатацию оборудования, отработанные реагенты и газы, различные промежуточные продукты, полученные или использованные в технологическом процессе, отходы производства. В зависимости от размещения на промышленном объекте технологические трубопроводы подразделяют на внутрицеховые, соединяющие агрегаты и машины технологических установок цеха, и межцеховые, соединяющие технологические установки разных цехов. Внутрицеховые трубопроводы называются обвязочными, если они устанавливаются непосредственно в пределах отдельных аппаратов, насосов, компрессоров и др. и соединяют их.

2.2.1 Устройство трубопроводов

В химических установках перемещение веществ осуществляется преимущественно в закрытых трубопроводах. Конструкция таких трубопроводных систем обычно включает в себя следующее:

- участки труб и фасонные части (фитинги);
- элементы соединения отдельных участков труб;
- уплотнения, герметизирующие места соединений двух разъемных участков.

Эти конструктивные элементы изготавливаются заранее и монтируются в единую разветвленную трубопроводную систему.

Дополнительно трубопроводы могут быть оснащены необходимой изоляцией и сопровождающим обогревом.

Основными общими параметрами трубопровода являются:

Условный диаметр прохода DN (англ. diameter nominal) — это параметр, используемый в трубопроводных системах в качестве характеризующего признака при подгонке друг к другу соответствующих деталей: труб, фитингов и арматуры. Условный проход не имеет единицы измерения и указывается таким образом:

DN 125.

Номинальное (условное) давление PN (англ. pressure nominal) является признаком ступени давления, характеризующим части трубопровода идентичного исполнения и равных сопряженных (присоединительных) размеров. Численное значение номинального давления PN10 показывает максимально допустимое рабочее давление в барах при рабочей температуре 20°C. Номинальное давление приводится без единицы измерения. В зависимости от условного давления среды трубопроводы подразделяются на вакуумные, работающие при абсолютном давлении среды ниже 0,1 МПа (абс), низкого давления, работающие при давлении среды от 0,1 до 1,6 МПа или от 0 до 1,5 МПа (изб.), среднего давления, работающие при давлении среды от 1,5 до 10 МПа (изб.). Безнапорными называются трубопроводы, работающие без избыточного давления ("самотеком").

Рабочая температура среды t_p , °C - трубопроводы считаются холодными, если они работают при среде, имеющей рабочую температуру $t_p < 50^\circ\text{C}$, и горячими, если температура $t_p > 50^\circ\text{C}$.

2.2.2 Материалы для трубопроводов

В зависимости от степени агрессивности транспортируемой среды трубопроводы подразделяются на три группы:

- с неагрессивной и малоагрессивной средой (скорость коррозии менее 0,1 мм/год);

- со среднеагрессивной средой (скорость коррозии 0,1 - 0,5 мм/год);
- с высокоагрессивной средой (скорость коррозии более 0,5 мм/год).

В тех случаях, когда перемещаемые среды не оказывают сильного коррозионного воздействия, для изготовления трубопроводов применяется углеродистая сталь. Трубопроводы, выполненные из углеродистой стали, обладают достаточно высокой прочностью и недороги в изготовлении.

При транспортировании агрессивных сред используются трубы из легированной, так называемой нержавеющей стали, которая обладает хорошей коррозионной стойкостью. Применяются также трубы, выполненные из пластических масс - полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена и др. Эти материалы также обладают высокой стойкостью по отношению к агрессивным средам, но, как правило, не могут быть применены при повышенных температурах и давлениях.

В последнее время широко используются стеклянные трубопроводы. Этот материал особенно удобен вследствие своей прозрачности и высокой стойкости против большого числа химических реагентов. Стеклянные трубопроводы незаменимы при переработке пищевых и фармацевтических продуктов, где требуются особая чистота и строгий контроль. В некоторых случаях применяют трубопроводы из цветных металлов — меди, алюминия, латуни и др.

Для выполнения канализационных стоков и вспомогательных линий применяют чугунные, керамические и асбоцементные трубы.

2.2.3 Фасонные части трубопроводов

Трубопроводы из пластичных и пригодных для сварки материалов (стали, алюминия, меди, термопластов) собирают на месте монтажа посредством сварки. Для этой цели - наряду с участками труб - используют предварительно изготовленные фасонные элементы в виде колен, отводов, уменьшений диаметров и затворов (Рис. 2.2.2.). Этими так называемыми фитингами могут быть оснащены любые трубопроводы.

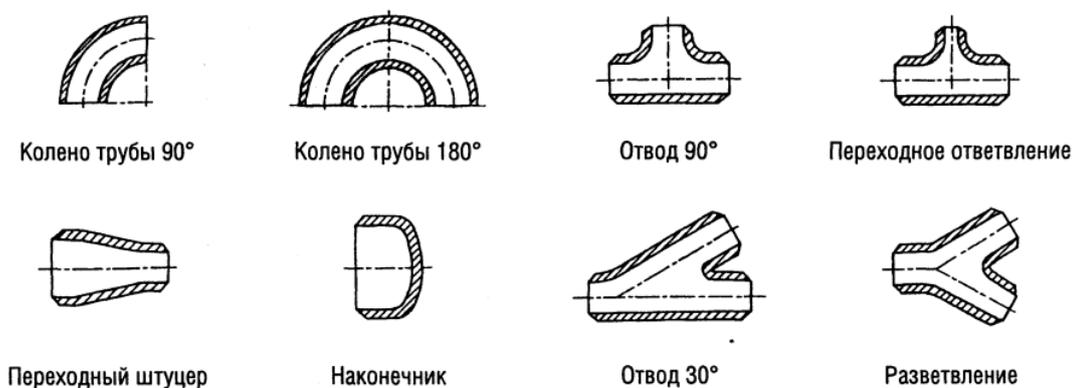


Рис. 2.2.2. Фасонные части труб для сварки

2.2.4 Соединения трубопроводов

Отдельные участки труб и фитинги монтируются с помощью специальных соединений, которые используются также для присоединения к трубопроводам требуемой арматуры и аппаратов. Подходящее соединение труб выбирается в зависимости:

- от производственных требований (разъемное или неразъемное соединение);
- от рабочих условий (низкое или высокое давление и, соответственно, низкая или высокая температура);

от материалов, из которых изготовлены участки труб и фасонные элементы (пригодны или не пригодны для сварки)

Сварные соединения

Сварные неразъемные соединения проще в изготовлении, чем разъемные, но применяются только в тех случаях, когда не требуется разборки трубопроводов. Стальные трубопроводы всех видов в этом случае соединяются сваркой. Речь идет о сварном соединении отдельных участков труб в единый трубопровод с абсолютной герметичностью. Они могут нагружаться до предела механической и тепловой нагрузок материала сварного шва. При отсутствии необходимости в разборке труб на отдельные части сварку можно считать самым надежным и притом недорогим способом соединения. Поэтому сварка трубопроводов получает все большее распространение, и только встраиваемые элементы монтируются по принципу разъемного соединения.

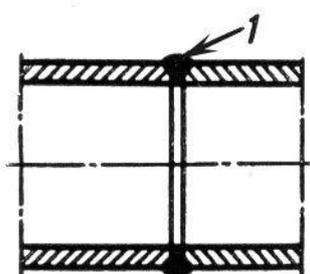


Рис. 2.2.3. Сварное соединение: 1 – сварной шов

Фланцевые соединения

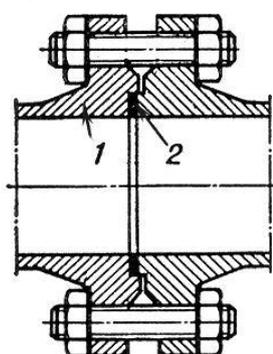


Рис. 2.2.4. Фланцевое соединение: 1 – фланец; 2 – прокладка

Для разъемных труб чаще всего находят применение фланцевые соединения. Именно таким способом присоединяются к трубопроводам, прежде всего встроенные детали: арматура, насосы, резервуары и емкости разного рода.

Существует множество видов фланцев: фланцы с резьбой, торцевые фланцы, приварные фланцы (последние во фланцевых соединениях особенно популярны). Фланцевое соединение состоит из двух приваренных к концам трубы фланцев, уплотнения и винтов с гайками, прижимающих фланцы друг к другу (Рис. 2.2.4.).

Между фланцами помещена прокладка 2, изготовленная из упругого мягкого

материала - резины, клингерита, асбеста и др. Плотность соединения достигается стягиванием фланцев болтами. Фланцевые соединения применяются практически для всех типов и размеров труб.

Муфтовые соединения

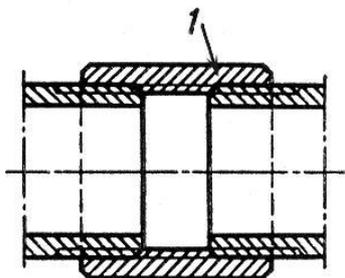


Рис. 2.2.5. Муфтовое соединение: 1 – резьбовая муфта

На стальных трубопроводах небольших диаметров применяют муфтовое соединение труб (Рис. 2.2.5.), на концах которых имеется резьба. Такое соединение весьма просто в исполнении, но неудобно в тех случаях, когда из-за недостатка места невозможно вращать одну из труб и заворачивать ее в муфту. В этих случаях применяют муфтовое соединение с контргайкой и удлиненной резьбой на одной из труб, называемое сгоном.

Раструбные соединения

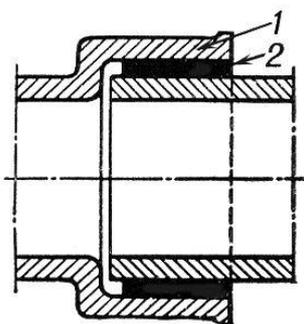


Рис. 2.2.6. Раструбное соединение: 1-раструб; 2 - набивка

Раструбные соединения труб (Рис. 2.2.6.) применяются для чугунных, керамических и бетонных труб, один конец которых на небольшой длине имеет расширение (раструб). Зазор между нормальным и расширенным концами соединяемых труб герметизируется набивочным материалом (свинец, резина, цемент и т.д.).

Преимущества раструбных соединений труб - дешевизна изготовления и возможность перемещения труб в осевом направлении.

2.2.5 Арматура трубопроводов

Трубопроводная арматура - устройство, устанавливаемое на трубопроводах и предназначенное для управления потоками рабочих сред путём изменения площади проходного сечения, а также для регулировки расхода протекающей среды и защиты химической установки.

По назначению условно разделяется на следующие виды:

- Запорная арматура - вид трубопроводной арматуры, предназначенный для перекрытия потока среды.
- Регулирующая арматура - вид трубопроводной арматуры, предназначенный для регулирования параметров рабочей среды.
- Предохранительная арматура - трубопроводная арматура, предназначенная для автоматической защиты оборудования и трубопроводов от недопустимого превышения давления посредством

сброса избытка рабочей среды.

- Защитная арматура - вид трубопроводной арматуры, предназначенный для защиты технологических систем и различного оборудования от возникновения или последствий аварийных ситуаций.

Основные размеры, формы, материалы и требования, предъявляемые к арматуре, установлены в относящихся к ней стандартах. Выбор подходящей арматуры зависит от назначения трубопровода и конкретных рабочих условий. По своему условному проходу и номинальному давлению она должна соответствовать всей трубопроводной системе. Материал арматуры должен выдерживать коррозионноактивное воздействие со стороны протекающей среды.

Запорная арматура (задвижки, заслонки, краны)

Задвижки представляют собой запорные устройства, способные закрывать всю трубопроводную систему в целом (в том числе трубопроводы с большим условным проходом) или открывать ее на полное поперечное сечение. В задачу задвижки не входит регулировка расхода протекающей среды.

Запорный орган задвижки с помощью маховика можно перемещать вертикально вверх и вниз относительно направления течения (Рис. 2.2.7. и Рис. 2.2.8.). Задвижки сконструированы таким образом, что в открытом положении они оказывают лишь минимальное сопротивление протекающей среде. При подъеме же запорного органа поток получает в свое распоряжение полное поперечное сечение трубы - без изменения направления протекания. Задвижки могут нагружаться в обоих направлениях протекания.

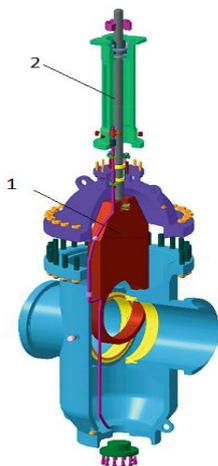


Рис. 2.2.7. Шиберная задвижка 1 – шибер; 2 – вал маховика

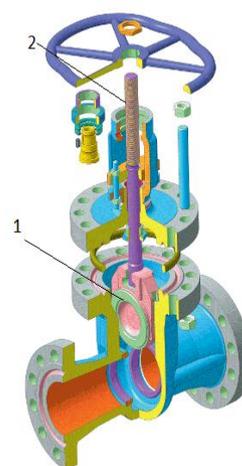


Рис. 2.2.8. Клиновья задвижка: 1- клин; 2 - маховик

Основные различия задвижек - в конструкции запорного органа, по этому признаку задвижки различаются на клиновые, параллельные, шиберные и шланговые.

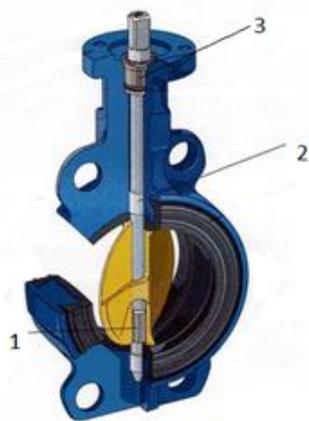


Рис 2.2.9. Поворотная заслонка: 1 – поворотный диск; 2 – подшипник; 3 – стопорное кольцо

Заслонки используются в диапазоне давлений до 25 бар и считаются наиболее дешевой альтернативой задвижкам и клапанам. Они выполняют функции не только запирающие, но и в некотором роде регулирования. В качестве запорного органа используется вращающийся диск, который можно фиксировать в одном положении посредством стопорного рычага (Рис. 2.2.9.). Критической точкой у клапанов является вращающийся в потоке жидкости подшипник, подвергающийся коррозирующему воздействию жидкости. Поэтому заслонки обычно не используются в контакте с агрессивной средой - их чаще всего устанавливают в обычных системах водоснабжения.

Краны для химических установок обладают шаровидным запорным органом с цилиндрическим проходным отверстием (Рис. 2.2.10.). В результате медленного вращения запорного органа с помощью рычага выполняется настройка на прямолинейное, беспрепятственное протекание либо на полное запирающее трубопровода.

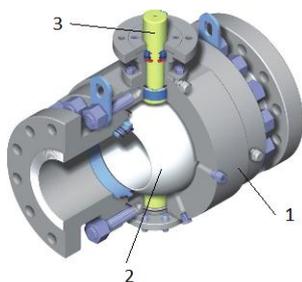


Рис. 2.2.10. 1 – корпус крана; 2 – затвор в виде шаровой пробки; 3 – рычаг управления

Регулирующая арматура (клапаны)

Выполнение всех своих функций регулирующая арматура осуществляет за счёт изменения расхода среды через своё проходное сечение.

Запорный клапан - запирающий элемент (золотник) перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Как и другие виды запорной арматуры, запорные клапаны применяются для полного перекрытия своего проходного сечения, а следовательно потока рабочей среды; т.е. золотник, в процессе эксплуатации находится в крайних положениях «открыто» или «закрыто».

Корпус имеет два патрубка с концами для присоединения к трубопроводу и закрыт крышкой. Внутри корпуса 1 расположено седло 3, которое в положении «закрыто» перекрывается затвором - золотником 4.

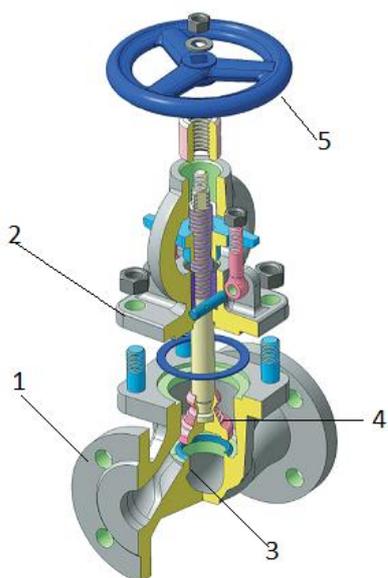


Рис. 2.2.11. Запорный клапан с ручным управлением: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – седло; 5 - маховик

Для регулирования расхода среды путём изменения проходного сечения успешно применяются **регулирующие клапаны**.

По направлению потока рабочей среды регулирующие клапаны делятся на:

- проходные - такие клапаны устанавливаются на прямых участках трубопровода, в них направление потока рабочей среды не изменяется;
- угловые - меняют направление потока на 90°;
- трехходовые (смесительные) — имеют три патрубка для присоединения к трубопроводу (два входных и один выходной) для смешивания двух потоков сред с различными параметрами в один. В сантехнике такое устройство имеет название смеситель.

На рис. 2.2.12. изображен простейший проходной односедельный регулирующий клапан в разрезе, где: 1 - корпус арматуры; 2 - фланец для присоединения арматуры к трубопроводу; 3 - узел уплотнения, обеспечивающий герметичность арматуры по отношению к внешней среде; 4 - седло арматуры; 5 - плунжер, своим профилем определяет характеристику регулирования арматуры; элемент, обеспечивающий посадку плунжера в крайнем закрытом положении; 6 - шток арматуры, передающий поступательное усилие от механизированного или ручного привода затвору, состоящему из плунжера и седла. Усилие от привода с помощью штока передается на затвор, состоящий из плунжера и седла. Плунжер перекрывает часть проходного сечения, что приводит к уменьшению расхода через клапан.

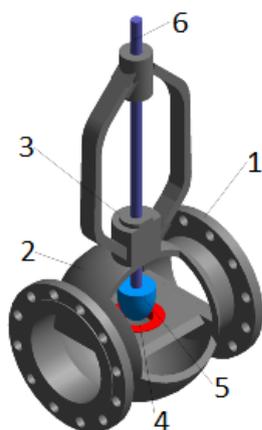


Рис. 2.2.12. Односедельный проходной регулирующий клапан



Рис. 2.2.13 Регулирующий клапан с электрическим приводом

Основные различия регулирующих клапанов заключаются в конструкциях регулирующих органов: мембранные, клеточные, золотниковые, односедельные и двухседельные

В зависимости от назначения и условий эксплуатации применяются различные виды управления регулирующей арматурой, чаще всего при этом используются специальные приводы и управление с помощью промышленных микроконтроллеров по команде от датчиков, фиксирующих параметры среды в трубопроводе. Используются электрические, пневматические, гидравлические и электромагнитные приводы для регулирующих клапанов (Рис. 2.2.13.)

Предохранительная арматура

Предохранительные клапаны предназначены для защиты оборудования от недопустимого превышения давления сверх установленного и применяются на резервуарах, котлах, емкостях, сосудах, установках и трубопроводах для автоматического сброса рабочей среды (жидкая, газообразная, химическая или нефтяная) в атмосферу или отводящий трубопровод с прекращением сброса среды после снижения давления до нужного предела.

Предохранительные клапаны устанавливаются везде, где может это произойти, то есть практически на любом оборудовании, но в особенности они важны в сфере эксплуатации промышленных и бытовых сосудов, работающих под давлением.

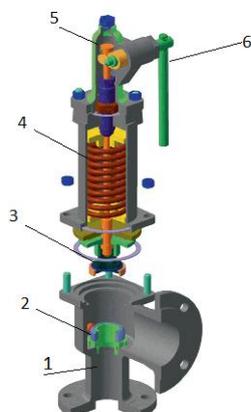


Рис. 2.2.14 Пружинный предохранительный клапан с фланцевым присоединением (1) и устройством ручного открытия клапана (6)

На рисунке 2.2.14 представлена схема типичного пружинного клапана прямого действия. Обязательными компонентами конструкции предохранительного клапана прямого действия являются запорный орган и задатчик, обеспечивающий силовое воздействие на чувствительный элемент, связанный с запорным органом клапана. Запорный орган состоит из золотника 3 и седла 2, а задатчиком выступает пружина 4. С помощью пружины клапан настраивается таким образом, чтобы усилие на золотнике обеспечивало его прижатие к седлу запорного органа и препятствовало пропуску рабочей среды, в данном случае настройку

производят специальным винтом 5. Когда предохранительный клапан закрыт, на его чувствительный элемент воздействует сила от рабочего давления в защищаемой системе, стремящаяся открыть клапан и сила от задатчика, препятствующая открытию. С возникновением в системе возмущений, вызывающих повышение давления выше рабочего, уменьшается величина силы прижатия золотника к седлу. В тот момент, когда эта сила станет равной нулю, наступает равновесие активных сил от воздействия давления в системе и задатчика на чувствительный элемент клапана. Запорный орган начинает открываться, если давление в системе не перестанет возрастать, происходит сброс рабочей среды через клапан. С понижением давления в защищаемой системе, вызываемом сбросом среды, исчезают возмущающие воздействия. Запорный орган клапана под действием усилия от задатчика закрывается.

Защитная арматура

По своему назначению защитная арматура очень близка к предохранительной, оба вида должны предотвращать отклонения от нормального течения технологического процесса и ограничивать последствия таких отклонений, не давая развиваться серьёзным авариям. Главное их отличие - в принципе действия. Если предохранительная арматура открывается, обеспечивая массотвод, и, за счёт него, снижение параметров системы, то защитная - закрывается, отключая защищаемый участок системы или единицу оборудования.

Обратные клапана – основной вид защитной арматуры. Эти устройства получили широчайшее распространение в связи с важностью своей функции - недопущения изменения направления потока среды, что является постоянным фактором возможной поломки оборудования в сложных технологических схемах.

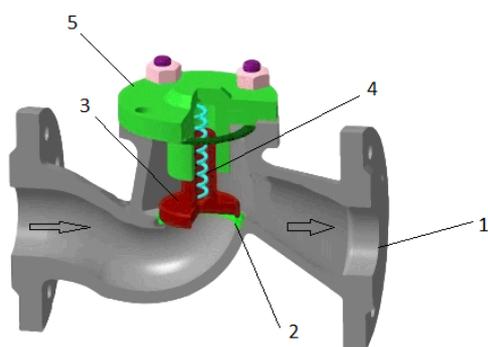


Рис. 2.2.15 Клапан обратный пружинный:
1 – корпус; 2 – седло; 3 – заслонка; 4 – пружина; 5 – крышка

Например в случае объединения напорных линий нескольких насосов в одну, на каждой из них устанавливается один или несколько обратных клапанов для защиты от давления работающего насоса остальных. Кроме того, при аварийном падении давления на одном из участков трубопровода, на смежных давление сохраняется, что также может привести к образованию обратного тока среды, недопустимого для нормальной работы системы и опасного для её оборудования.

Затвором в обратных клапанах служит заслонка (рис. 2.2.15.), которая перемещается возвратно-поступательно по направлению потока среды через седло. По конструкции и технологии изготовления они проще, чем другие типы, при этом позволяют обеспечить надёжную герметичность, но такие устройства более чувствительны к загрязнённым средам, при воздействии которых возможно заедание клапана.

Затворы обратные (поворотные) также относятся к защитной арматуре. В них затвором является круглый диск, совершающий поворот вокруг своей оси. Они менее чувствительны к загрязнённым средам и имеют возможность обеспечения работоспособности затворов для весьма больших диаметров трубопроводов.

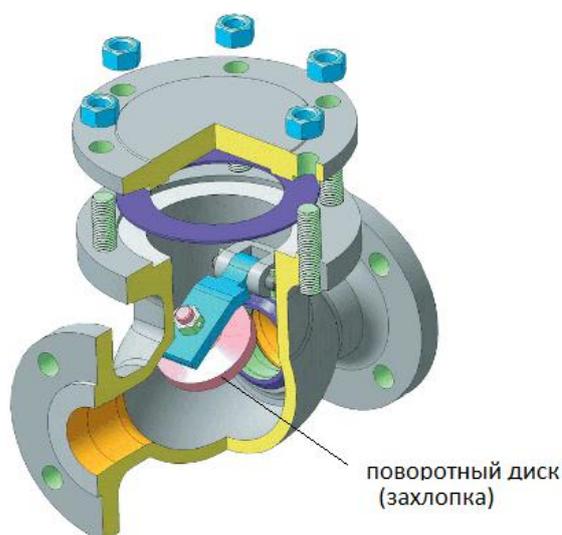


Рис. 2.2.16 Клапан обратный поворотный

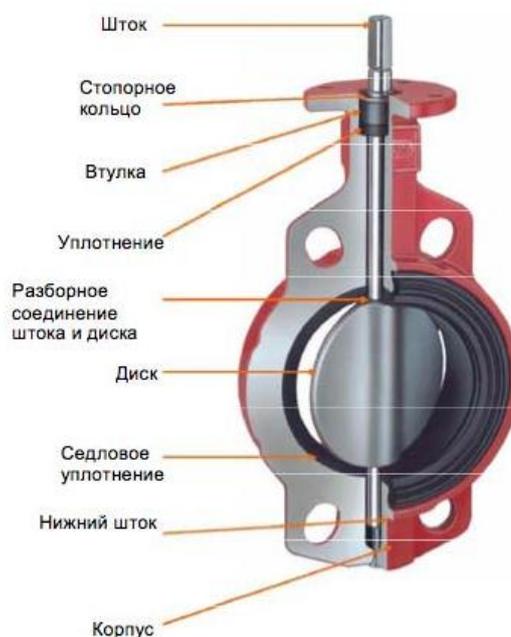


Рис. 2.2.17 Дисковый поворотный затвор

Обратные клапаны, как правило, устанавливаются на горизонтальных участках трубопроводов, а затворы - как на горизонтальных, так и на вертикальных участках. По направлению потока рабочей среды клапаны обратные в основном выполняются проходными (направление потока в них не изменяется), но встречаются и угловые (направление потока меняется на 90°), а затворы обратные - только проходными.

Конденсатоотводчики

Конденсатоотводчиками называются конструкции арматуры, предназначенные для автоматического отвода конденсата. Конденсат может появляться в результате потери паром тепла в теплообменниках и при прогреве трубопроводов и установок, когда часть пара превращается в воду. Наличие конденсата в паровых системах приводит к гидроударам, снижению тепловой мощности и ухудшению качества пара.

Основные требования к конденсатоотводчикам:

- отвод требуемого количества конденсата без потерь острого пара - конденсатоотводчик должен выпускать воду и задерживать пар, что осуществляется с помощью гидравлического или механического затвора.
- автоматический отвод воздуха (автоматическое вентилирование).

Поскольку жидкий конденсат собирается в самом глубоком месте трубопроводной системы, то понятно, что конденсатоотводчики размещаются прежде всего в этих местах.

В зависимости от принципа работы конденсатоотводчики можно разделить на три группы:

- механические (поплавковые);
- термостатические;
- термодинамические.

Механический (поплавковый) конденсатоотводчик. Принцип действия этого конденсатоотводчика механического действия основан на разной плотности пара и жидкого конденсата. Конденсат притекает из паропровода и собирается на днище корпуса. По достижении определенного уровня он приподнимает шарик поплавка, который с помощью рычага открывает поворотный золотник. Под действием давления пара конденсат затем отжимается из отводчика. Опускающийся вместе с уровнем конденсата поплавковый шарик вновь закрывает поворотную заслонку (Рис. 2.2.18.). В верхней части корпуса конденсатоотводчика

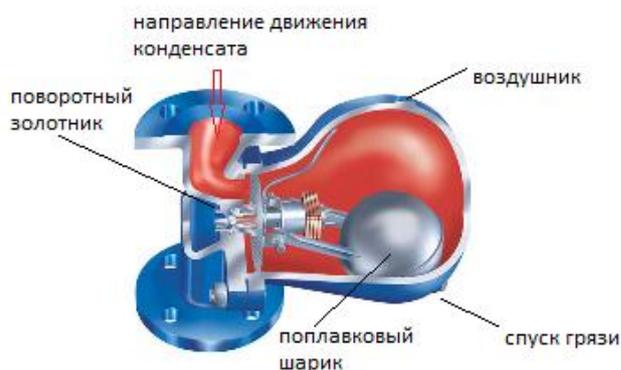


Рис. 2.2.18. Поплавковый конденсатоотводчик

собирается проникший в трубопровод посторонний воздух. С помощью воздушного клапана этот воздух можно время от времени стравливать. Поплавковые конденсатоотводчики подходят для использования в условиях, где нельзя использовать термические конденсатоотводчики, и там, где количество выделяемого конденсата колеблется в больших пределах.

Типичными местами использования поплавковых конденсатоотводчиков являются теплообменники, автоклавы, котлы для варки и т.д.

Термостатические конденсатоотводчики способны удалять конденсат из паропровода действием конструктивного элемента. Этот элемент сжимается или растягивается под действием температуры, блокируя или открывая при этом отверстие для выхода конденсата. Например, в **биметаллических конденсатоотводчиках** (Рис. 2.2.19.) в качестве управляющего блока используется биметаллический регулятор - блок из расположенных в определенном порядке биметаллических пластинок, которые, изгибаясь или распрямляясь под воздействием температуры, закрывают или открывают проходной клапан. При низкой температуре регулятора (менее +80°C) биметаллические пластинки выпрямлены или немного изогнуты (позиция 1,2

на рис. 2.2.19.), и проходной клапан открыт. С повышением температур биметаллические пластинки постепенно изгибаются больше, сопровождается увеличением силы, с которой блок закрывает проходной клапан (позиция 3 на Рис. 2.2.19.).

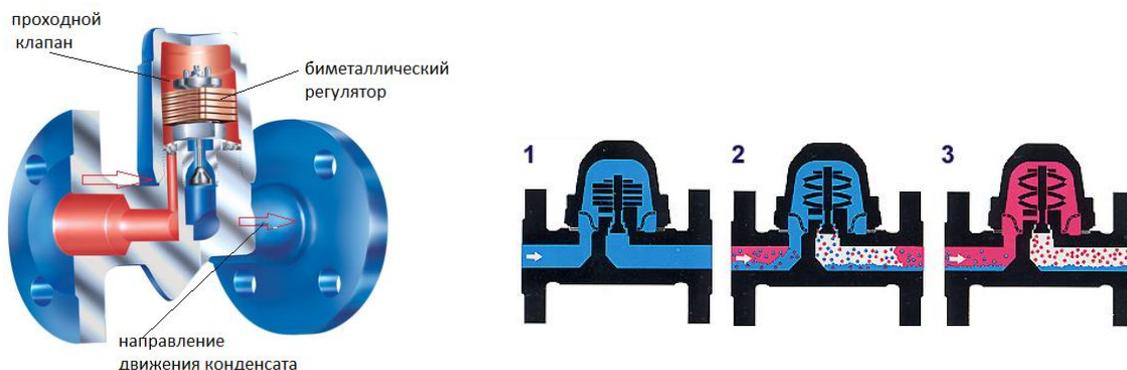


Рис. 2.2.19. Биметаллический конденсатоотводчик

Типичными местами использования биметаллических конденсатоотводчиков являются трубопроводные дренажи, места, которым свойственны гидравлические удары и замерзание, котлы для варки (в качестве отделителя воздуха) и т.д.

Работа **термодинамических конденсатоотводчиков** основана на взаимодействии скорости и силы давления конденсата и пара друг на друга внутри конденсатоотводчика. Например, в **мембранных конденсатоотводчиках** основным рабочим элементом является мембранный регулятор (Рис. 2.2.20.). Внутри регуляторной капсулы находится жидкость управления, температура превращения в пар которой немного ниже температуры, при которой превращается в пар вода (конденсат).



Рис. 2.2.20. Мембранный конденсатоотводчик

Если температура капсулы ниже той, при которой происходит превращение в пар (позиция 1 Рис. 2.2.20.), жидкость управления находится в жидком состоянии, и рабочее давление приводит клапан в открытое положение. При повышении температуры выше той, при которой образуется пар (позиция 2 Рис. 2.2.20.), жидкость управления переходит в парообразное состояние, давление в капсуле возрастает, смещая мембрану с прилегающим клапаном по направлению к рабочему отверстию. Клапан устроен так, что полное закрытие рабочего отверстия происходит при температуре, немного ниже температуры насыщения конденсата / образования пара, т.е. до того, как пар

выйдет наружу. Мембранные конденсатоотводчики подходят для использования в котлах для варки, паровых трассах, прессах, автоклавах и т. д. Конденсатоотводчики этой серии можно также использовать в качестве отделителей воздуха в паровых системах.

Воздушные клапаны

Воздушные клапаны, или воздушники, предназначены для удаления различных газов и воздуха, находящихся в трубопроводах и резервуарах. Когда новая установка вводится в эксплуатацию и заполняется жидкостью, находящийся в этой установке воздух далеко не всегда удаётся вытеснить самой жидкостью.

При нарушении герметичности установки или присутствии растворенных в жидкости газов, эти газы и воздух, попадая в установку, могут вызвать гидравлический удар и вывести из строя насосы.

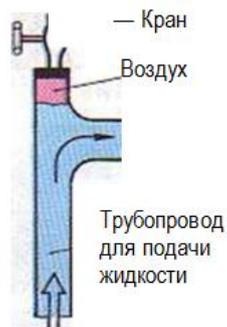
Встраиваемые в химическую установку воздушные клапаны помогают избежать всех перечисленных проблем и обеспечить непрерывный вывод газов и воздуха из нее.

В самых простых случаях продувку трубопровода проводят через **вентиляционный кран** (Рис. 2.2.21.), который устанавливается в самой высокой точке. В этом месте накапливается находящийся в установке воздух. При загрузке жидкости в установку необходимо добиться полного заполнения, начиная с самой низкой точки трубопровода. После полного заполнения из нее вытесняется воздух.

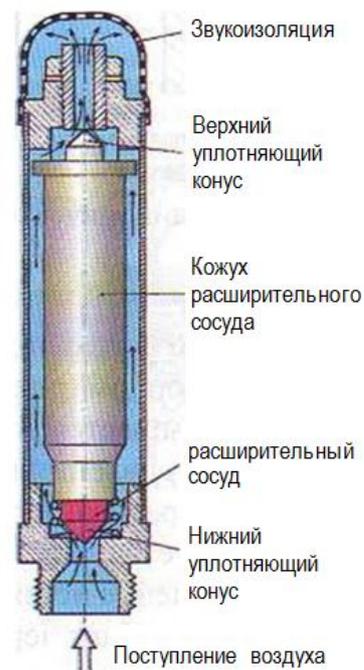
Воздушные клапаны механического действия (Рис. 2.2.21.) оснащаются поплавковыми шариками, которые открывают или закрывают отверстие для вывода воздуха. Они применяются для деаэрации установок закрытого типа

Воздушные клапаны теплового действия (Рис. 2.2.21.) используются на паропроводящих трубопроводах и оснащаются расширительным сосудом, который заполнен компенсирующей жидкостью. Если в воздушник попадает воздух, то жидкость в сосуде меньше нагревается, чем при прохождении горячего пара, поскольку воздух обладает худшей теплопроводностью. По этой причине, пока клапан обтекается воздухом, он остается открытым. Когда весь воздух выходит из системы и в клапан начинает поступать горячий пар, то компенсирующая жидкость сильнее нагревается, а расширительный сосуд перекрывает выходное отверстие. Когда воздушный клапан вновь охлаждается, он снова начинает выпускать воздух.

Вентиляционный кран



Воздушный клапан теплового действия (воздушник с расширительным сосудом)



Воздушный клапан с поплавковым шариком

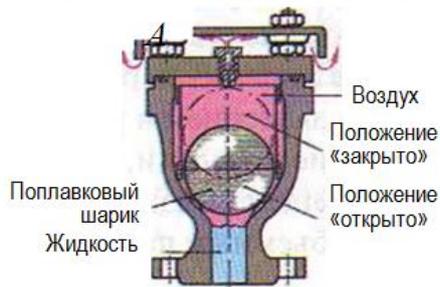


Рис. 2.2.21. Конструктивные исполнения воздушных клапанов

2.2.6 Линейное расширение труб и компенсация расширений

При разности температур трубопровода и внешней среды и значительной протяженности трубопроводов возникают температурные удлинения труб, которые могут вызвать деформацию трубопровода. Во избежание нарушения герметичности или разрушения трубопроводов при значительной длине трубопровода на нем устанавливают специальные приспособления, позволяющие отдельным его участкам перемещаться.

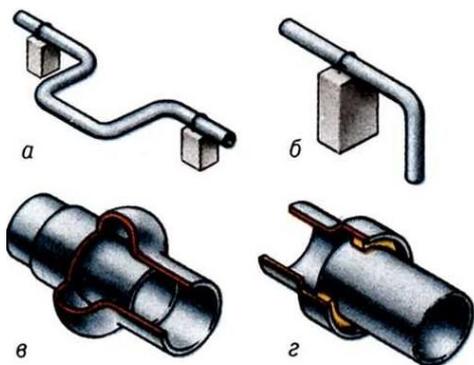


Рис. 2.2.22. Компенсаторы: а, б - изогнутые участки трубопровода; в - линзовые; г - сальниковые

Здесь находят применение компенсирующие угловые, Z-образные, U-образные отводы, линзовые и сальниковые компенсаторы (Рис. 2.2.22.).

Компенсация линейного расширения посредством колен под разными углами находит применение преимущественно для трубопроводов с высоким давлением. В результате действующих в таких отводах напряжений там не исключена усиленная коррозия.

В линзовых компенсаторах перемещения труб происходят за счёт сжатия или растяжения волнообразного участка трубопровода (в зависимости от расчётной величины перемещения компенсатор состоит из одной или нескольких волн). Сальниковый компенсатор представляет собой трубу, конец

которой входит в раструб другой трубы или в трубу большего диаметра; зазор между ними заполняют уплотняющей массой. В зависимости от величины и направления ожидаемых перемещений труб при установке компенсатора в смонтированный трубопровод производят его предварительную растяжку или сжатие.

Волнистые трубные компенсаторы состоят из тонкостенной, растягиваемой в направлении трубопровода металлической гофрированной трубы, именуемой сильфоном, и припаянных с обеих сторон фланцев (Рис. 2.2.23). Такие устройства встраиваются в трубопровод с предварительным натягом в качестве специального компенсатора расширения. Так называемые осевые компенсаторы могут компенсировать только линейные расширения в



Рис. 2.2.23. Сильфонный компенсатор

направлении трубы. Во избежание бокового смещения и внутреннего загрязнения предусмотрено внутреннее направляющее кольцо. Для защиты от внешнего повреждения часто используется соответствующая облицовка. Компенсаторы без внутреннего направляющего кольца способны поглощать также и боковые сдвиги и гасить вибрацию, исходящую, например, от насосов.

2.2.7 Маркировка трубопроводов

В соответствии с требованиями Закона по Охране здоровья и Безопасности труда Эстонии трубопроводы, содержащие опасную или ядовитую субстанцию, должны быть промаркированы соответствующими символами опасности, названием субстанции, цветовой идентификацией и направлением движения потока. Правильная идентификация и маркировка трубопровода позволяет существенно снизить травматизм, несчастные случаи, обеспечит быстрое, безопасное и экономичное восстановление и развитие трубного хозяйства любого производства.

Таблица 2.2.1 Цветовая маркировка трубопроводов

Цвет стрелки направления потока	Транспортируемое вещество	Образцы и наименование цветов опознавательной окраски
	Наименование	
	Вода	Зеленый
	Пар	Красный
	Воздух	Серый
	Газы горючие	Желтый
	Газы негорючие	Черный
	Кислоты	Оранжевый
	Щелочи	Фиолетовый
	Жидкости горючие	Коричневый
	Жидкости негорючие	Черный
	Кислород	Синий

2.2.8 Контрольные вопросы по теме «Трубопроводы»

- Что такое условный проход и номинальное давление трубопровода?
- Для чего нужны фитинги?
- Какие виды соединений труб существуют?
- Перечислите основные виды запорной арматуры.
- Какие компенсаторы линейного расширения труб существуют?
- Перечислите основные виды регулирующей арматуры.

2.3 Насосы и компрессоры

В химическом производстве большинство технологических процессов происходит с участием жидких веществ. Например, сырье, которое подают со склада на установку, промежуточные продукты, перемещаемые между аппаратами, установками и цехами, конечные продукты, доставляемые в емкости готовой продукции. На все перемещения жидкостей необходимо затратить энергию. Наиболее распространенным источником энергии является насос, который создает напорный поток жидкости.

Насос - гидравлическая машина, предназначенная для сообщения жидкости энергии. В насосах механическая энергия двигателя преобразуется в энергию жидкости.

2.3.1 Классификация и параметры работы насосов

Классификация насосов

- **По основным параметрам:** номинальной мощности, номинальному напору, номинальной подаче;
- **По принципу действия:** динамические (лопастные) и объемные
- **По назначению:** химические, энергетические, питательные, нефтяные, кислотные, общего назначения.
- **По конструктивному исполнению:** одно- и многоступенчатые, горизонтальные и вертикальные, погружные, герметичные, футерованные.
- **По основным параметрам: номинальной мощности** (микро, малый, средний, крупный), **напору** (низкий, средний, высокий), **подаче** (с малой, средней, большой подачей).

Лопастные и **объемные** насосы принципиально различаются по виду энергии, сообщаемой жидкости в момент её передачи. В **лопастных** (динамических) насосах энергия и давление жидкости повышаются **под действием центробежной силы**, возникающей при вращении лопастных колёс или сил трения. В **объемных** насосах энергия давления повышается в результате вытеснения жидкости из замкнутого пространства телами,двигающимися возвратно-поступательно или вращательно.

Основные параметры насосов

Работу любого насоса характеризуют следующие основные параметры:

- **Напор насоса H , м** - это высота, на которую может быть поднят 1 кг перекачиваемой жидкости за счет энергии, сообщаемой ей насосом - поэтому напор не зависит от плотности транспортируемой жидкости. Напор измеряется в метрах, но представляет собой избыточную удельную энергию сообщаемую насосом единице массы жидкости. Иногда вместо

напора насоса удобнее использовать величину, называемую давлением насоса p_n , Па.

- **Производительность насоса, подача насоса Q_v , м³/с** – объём жидкости, подаваемой насосом в нагнетательный (выходной) трубопровод в единицу времени.
- **Полезная мощность насоса N_n , Вт, кВт** – мощность, сообщенная жидкости в насосе

$$N_n = \rho g Q H \quad (2.3.1.)$$

ρ – плотность жидкости, кг/м³

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²

Q – производительность насоса, м³/с

H – напор насоса, м

- **Потребляемая мощность насоса N_d , Вт, кВт** – мощность, подведенная к насосу от двигателя

$$N_d = \frac{N_n}{\eta_n} = \frac{\rho g Q H}{\eta_n} \quad (2.3.2)$$

η_n – коэффициент полезного действия насоса (к.п.д). **Характеризует долю полезной мощности по отношению к потребляемой.** Учитывает все потери энергии в насосе.

$$\eta_n = \eta_v \eta_z \eta_{мех} \quad (2.3.3.)$$

$\eta_n = 0,8 - 0,9$ для поршневых насосов

$\eta_n = 0,6 - 0,8$ для центробежных насосов

Существует три вида потерь энергии в насосе: объемные, гидравлические, потери на трение.

$\eta_v = \frac{Q}{Q_{теор}}$ коэффициент подачи или объемный к.п.д., учитывает потери производительности насоса через зазоры, сальники и т.д.

$\eta_z = \frac{H}{H_{теор}}$ гидравлический к.п.д., учитывает потери напора при движении жидкости через насос

$\eta_{мех}$ механический к.п.д., характеризует потери мощности на механическое трение в насосе (например, в сальниках)

Для обеспечения перемещения жидкости насос монтируют совместно с другим оборудованием по определенной схеме, создавая насосную установку. В схему входят: резервуары (исходный и напорный), всасывающий и напорный трубопроводы, запорно-регулирующая арматура (рис. 2.3.1.)

Насос 4 выкачивает жидкость из исходного резервуара 1 (в данном примере это открытая емкость) по всасывающему трубопроводу 2 и подает ее по напорному трубопроводу 6 в резервуар 8. Задвижка 7 служит для регулирования подачи насоса, приборы: 3 - вакуумметр В и 5 - манометр М - для определения напора, создаваемого насосом.

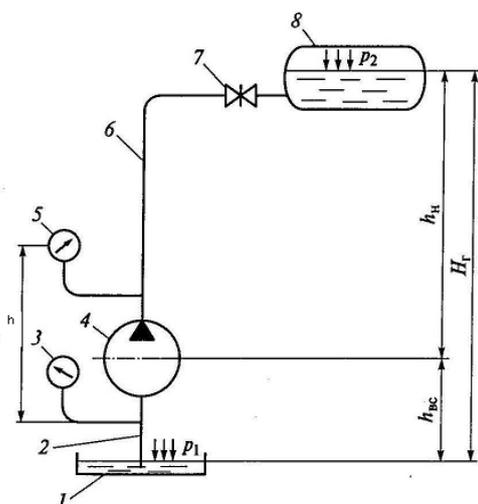


Рис. 2.3.1. Схема насосной установки:
 1 – исходный резервуар с жидкостью; 2 – всасывающая труба; 3 – вакуумметр; 4 – насос; 5 – манометр; 6 – напорная труба; 7 – задвижка; 8 – напорный резервуар; h – расстояние между приборами; $h_{вс}$ – высота всасывания; $h_{н}$ – высота нагнетания; $H_{г}$ – высота подъема жидкости; p_1 и p_2 – давления в исходном и напорном резервуарах.

Напор насоса $H_{н}$ в данной насосной установке затрачивается на подъем жидкости на высоту $H_{г}$, которая является суммой высоты всасывания $h_{вс}$ и высоты нагнетания $h_{н}$ и высоты потеряннного напора $h_{п}$, который затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления во всасывающем и напорном трубопроводах.

$$H_{н} = H_{г} + h_{п} \quad (2.3.4)$$

Если исходный и напорный резервуары закрыты и давление в них соответственно равно p_1 и p_2 , то уравнение имеет вид:

$$H_{н} = H_{г} + (p_2 - p_1)/\rho g + h_{п} \quad (2.3.5.)$$

Напор насоса $H_{н}$ определяют по показаниям манометра $p_{м}$ и вакуумметра $p_{в}$, обычно пренебрегая разностью скоростных напоров в напорной и всасывающей линии ввиду их малой величины:

$$H_{н} = (p_{м} + p_{в})/\rho g + h \quad (2.3.6.)$$

где h – расстояние между приборами по вертикали. Величина небольшая, ею можно пренебрегать.

2.3.2 Центробежные насосы

Центробежные насосы широко распространены в химическом производстве благодаря простоте конструкции и обслуживания. Они работают при высокой частоте вращения вала. Поэтому промежуточная передача (ременная или редуктор) между валом двигателя и валом насоса отсутствует. Центробежные насосы имеют высокий к.п.д. Основным недостатком таких насосов является зависимость развиваемого напора от подачи. Это затрудняет регулирование их параметров.

Устройство и принцип действия центробежного насоса

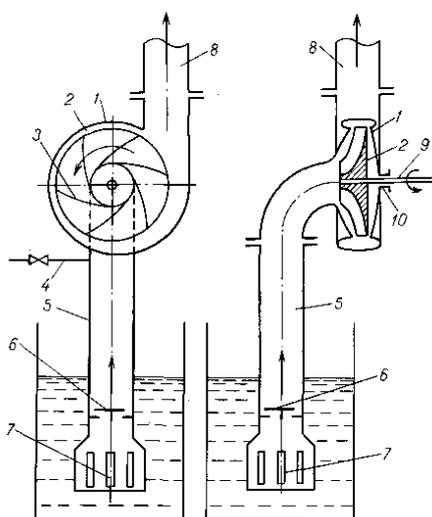


Рис. 2.3.2. Центробежный консольный насос: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – лопатки; 4 – линия для залива насоса перед пуском; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – обратный клапан; 7 – фильтр; 8 – нагнетательный трубопровод; 9 – вал; 10 – сальник.

На рис. 2.3.2. представлена схема центробежного консольного насоса. Название обусловлено тем, что его рабочее колесо закреплено на свободном конце вала 9 – консоли. Насос имеет корпус, напоминающий улитку, в который помещено рабочее колесо. Рабочее колесо состоит из двух дисков: переднего и заднего, между которыми находятся рабочие лопасти (лопатки) 3 криволинейной формы. В переднем диске есть окно для ввода жидкости в рабочее колесо.

Насос работает следующим образом. Рабочее колесо, закрепленное на валу, вращается с большой угловой скоростью. Жидкость, залитая в корпус насоса 1 перед пуском, лопастями вовлекается во вращательное движение. Центробежные силы заставляют её двигаться по рабочим каналам между лопастями от центра колеса к периферии. Покинув рабочее колесо, жидкость продолжает двигаться по каналу в корпусе к выходному патрубку – нагнетательному трубопроводу. При оттоке жидкости в центральной части насоса понижается давление. Образуется разность давлений на поверхности жидкости в заборном резервуаре и в центре насоса. За счет этой разности давлений жидкость поднимается по всасывающему трубопроводу и через всасывающий патрубок поступает в полость насоса, занимая место предыдущей порции ушедшей жидкости. Указанный процесс происходит непрерывно без нарушения непрерывности потока.

Из рабочего колеса жидкость выходит с большой скоростью. Для преобразования скоростного напора в энергию давления вокруг рабочего колеса устанавливают направляющий аппарат. Он представляет собой кольцо, состоящее из двух дисков с направляющими лопатками. **Скорость жидкости на выходе из направляющего аппарата меньше, чем на входе, а давление, наоборот, больше.**

Канал в корпусе насоса сделан расширяющимся – корпус имеет форму улитки. Согласно уравнению неразрывности потока при расширении уменьшается скорость потока. Давление в соответствии с уравнением Бернулли, наоборот, повышается. Дополнительное уменьшение скорости происходит в выходном коническом, расширяющемся патрубке - диффузоре. Таким образом, преобразование кинетической энергии в потенциальную энергию происходит в

самом насосе. По нагнетательному трубопроводу жидкость поступает в приемный резервуар. Так как центробежный насос не может засасывать жидкость вследствие разности плотностей жидкости и воздуха (паров), то перед пуском всасывающий трубопровод и корпус насоса должны быть залиты перекачиваемой жидкостью или же в них необходимо создать разрежение специальным насосом. Рабочие лопасти насоса загнуты назад по отношению к направлению вращения. Если их загнуть вперед, то скорость потока на выходе из колеса будет большей. Таким образом, без увеличения диаметра колеса можно создать и больший напор. Но при этом увеличиваются гидравлические потери, снижается к.п.д. насоса. Поэтому обычно предпочитают увеличить размеры насоса, но при экономичной работе, т.е. создают лопатки, загнутые назад.

Законы пропорциональности. Характеристика насоса

Каждый центробежный насос имеет определенную производительность (подачу) Q , напор H , частоту вращения вала n , мощность N . При этом насос должен работать в области максимального значения к.п.д. Однако при эксплуатации часто приходится использовать имеющийся насос для других условий работы, что изменяет его рабочие показатели. Поэтому необходимо знать взаимосвязь между всеми рабочими параметрами насоса.

С изменением числа оборотов колеса насоса изменяются его производительность, напор и потребляемая мощность.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Зависимости носят название законов пропорциональности. Согласно этим законам:

- производительность центробежного насоса пропорциональна частоте вращения вала
- развиваемый насосом напор пропорционален квадрату частоты вращения вала
- гидравлическая мощность насоса пропорциональна кубу частоты вращения вала

Например, при увеличении частоты вращения вала в два раза подача насоса увеличится в два раза, напор возрастет в четыре раза, а мощность – в восемь раз. Зависимость между напором H , мощностью N , к.п.д. насоса и его производительностью Q при постоянной частоте вращения ($n = \text{const}$) изображают графически и называют **характеристикой насоса** (рис. 2.3.3.).

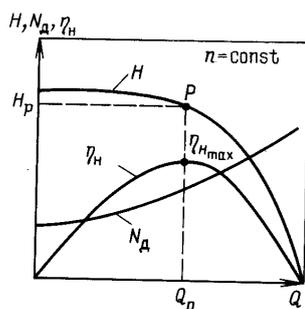


Рис. 2.3.3. Характеристика центробежного насоса: Q – производительность (подача) насоса; N – потребляемая мощность; H – напор; η – к.п.д.

Кривая напора имеет плоский максимум при малой подаче. При дальнейшем увеличении подачи, развиваемой насосом, напор уменьшается. Мощность, потребляемая насосом, с увеличением подачи растет. К.п.д. равен нулю при нулевой подаче. При увеличении подачи к.п.д. сначала растет, затем снижается. Максимум на кривой соответствует нормальному режиму работы насоса. При закрытой задвижке насос потребляет минимальную мощность.

Работа насоса совместно с трубопроводом

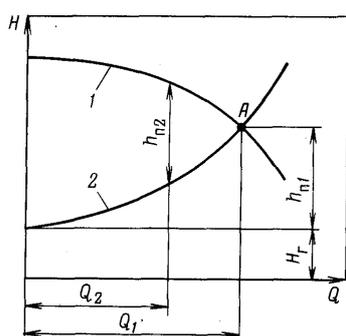


Рис. 2.3.4. Схема определения рабочей точки центробежного насоса: 1 – характеристика насоса; 2 – характеристика сети.

Необходимо рассматривать работу насоса совместно с трубопроводом, к которому он подключен, так как подача и напор находятся в зависимости от сопротивления трубопровода. Совместная работа насосов и сети характеризуется точкой материального и энергетического равновесия системы. Если на напорную характеристику насоса наложить в том же масштабе характеристику трубопровода, то получают рабочую точку насоса – точку пересечения двух кривых. Она соответствует максимальной подаче жидкости насосом в данную сеть (рис. 2.3.4.).

Из приведенного рисунка видно, что при работе на данный трубопровод насос не может обеспечить подачу больше Q_A , хотя по характеристике насоса возможна большая подача, но при напоре меньшем H_A . При подаче больше Q_A сопротивление трубопровода будет больше H_A , и насос не сможет подать большее, чем Q_A количество жидкости.

При эксплуатации центробежные насосы могут быть соединены последовательно или параллельно в зависимости от преследуемой цели.

Целью **последовательного соединения насосов** (рис. 2.3.5.) является увеличение давления на выходе из системы насосов. При этом через каждый насос проходит все количество перекачиваемой жидкости. Каждый насос работает «на себя». При данной производительности получают тем больший напор, чем больше подключено насосов.

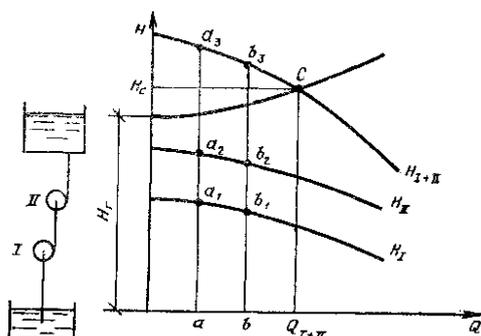
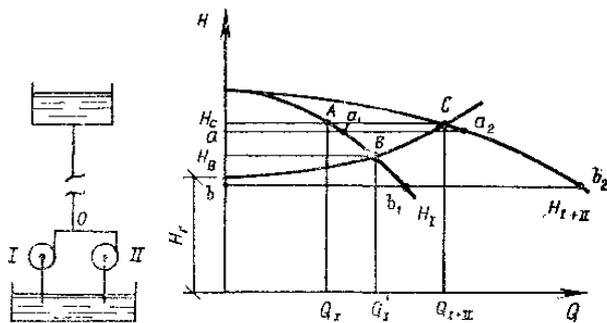


Рис. 2.3.5. Схема последовательного соединения насосов

Таким образом, последовательное соединение насосов применяют, когда требуется увеличить напор, развиваемый насосной установкой при неизменной подаче. Расход в любом сечении трубопровода при таком соединении насосов одинаков, а общий напор, создаваемый установкой, представляет собой сумму напоров отдельных насосов.

Целью **параллельного соединения насосов** (рис. 2.3.6.) является увеличение



подачи жидкости в трубопровод. Насосы одновременно работают на один общий напорный трубопровод. Это обеспечивает увеличение подачи жидкости. Однако, суммарная подача насосов меньше, чем сумма подач этих же насосов при их раздельной работе. Общий напор всегда больше напора, развиваемого насосами при отдельной работе.

Рис.2.3.6. Схема параллельного соединения насосов

Высота всасывания насоса. Кавитация

Высота всасывания насоса $h_{вс}$ – это расстояние по вертикали от уровня жидкости в исходном резервуаре до оси насоса (рис. 2.3.7.).

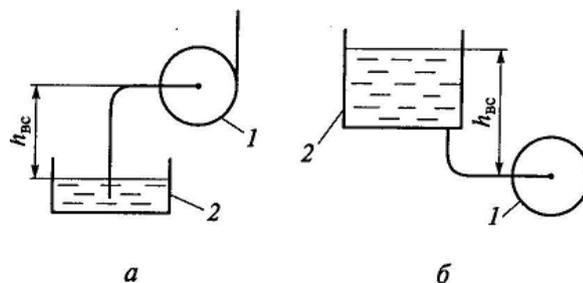


Рис. 2.3.7. Высота всасывания насоса: а – образование вакуума в насосе; б – установка насоса с «подпором»; 1 – насос; 2 - резервуар

Достижимая высота всасывания должна быть

$$h_{вс} \leq \frac{p_a}{\rho g} - \left[\frac{p_{нас}}{\rho g} + \frac{w_{вс}^2}{2g} + h_{н.вс} \right] \quad (2.3.7.)$$

p_a – атмосферное давление, если отбор жидкости производится из открытого резервуара, Па;

$p_{нас}$ – давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости, Па;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, $9,81\text{ м/с}^2$;

$w_{\text{вс}}$ – скорость жидкости в линии всасывания, м/с;

$h_{\text{л в с}}$ – потери напора на линии всасывания, м

Высота всасывания уменьшается с понижением атмосферного давления и увеличением давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости.

Высота всасывания при перекачивании жидкости из открытых резервуаров не может быть больше высоты столба перекачиваемой жидкости, соответствующего атмосферному давлению.

Обычно для жидкостей при температуре окружающей среды $h_{\text{вс}}$ не превышает 5-6 м. Для горячих жидкостей $h_{\text{вс}}$ намного меньше. Зависимость для расчета $h_{\text{вс}}$ справедлива для всех насосов. При расчете вводят поправки в зависимости от типа насоса.

Таким образом, насос нельзя устанавливать на произвольной высоте над уровнем жидкости в резервуаре. Чем больше высота всасывания, тем меньше давление на входе в насос. При его понижении до давления насыщенных паров жидкости возникает явление **кавитации**.

Кавитация заключается в том, что в случае локальных понижений давления в насосе (ниже давления насыщенного пара жидкости при данной температуре) из жидкости начинают выделяться пары и растворенные в ней газы. Пузырьки пара, увлекаемые жидкостью по каналам колеса в область более высоких давлений, быстро конденсируются. Жидкость мгновенно проникает в пустоты, образующиеся при конденсации пузырьков. Это приводит к многочисленным мелким гидравлическим ударам. Отсюда резкое снижение подачи, напора насоса, быстрое его разрушение. Если этот процесс происходит на поверхности детали насоса, имеющей микротрещины, то под действием ударов они будут расширяться и разрушат насос. Работа насоса становится неустойчивой, подача не постоянной.

Для предотвращения кавитации:

- повышают давление жидкости на входе в насос
- снижают высоту всасывания

При определении высоты всасывания из рассчитанного значения $h_{\text{вс}}$ вычитают некоторую высоту – кавитационный запас (приводится в каталогах по насосам).

Основным условием всасывания является $p_{\text{вс}} > p_{\text{нас}}$ перекачиваемой жидкости при данной температуре. В противном случае будет сильное выделение паров и растворенных в жидкости газов, разрыв потока, резкое снижение высоты всасывания или прекращение поступления жидкости в насос.

Понижение давления на входе в насос связано с гидравлическими потерями. Для уменьшения кавитации всасывающий трубопровод должен иметь:

- минимально возможную длину и большой диаметр по сравнению с напорной трубой;
- минимальное количество местных сопротивлений, например, поворотов.

Все это уменьшает гидравлические потери, а значит, повышает давление на входе в насос. Иногда для предотвращения кавитации высоту всасывания делают отрицательной, т.е. насос устанавливают ниже уровня жидкости в исходном резервуаре. Такой насос работает с «подпором». «Подпор» повышает давление на входе в насос.

2.3.3 Поршневые насосы

Поршневые насосы относятся к насосам объемного действия. В объемных насосах энергия давления повышается в результате вытеснения жидкости из замкнутого пространства телами,двигающимися возвратно-поступательно или вращательно. В зависимости от этого различают:

- поршневые, плунжерные, диафрагменные (возвратно-поступательные);
- шестерённые, винтовые (вращательные или роторные).

Достоинством объемных насосов является тот факт, что их напор не зависит от подачи. Основные недостатки: тихоходность, громоздкость, наличие клапанов, требующих особого ухода и ремонта, неравномерность всасывания и нагнетания жидкости, металлоемкость.

Классификация поршневых насосов

- В зависимости от конструкции поршня: собственно поршневые и плунжерные (скальчатые);
- В зависимости от числа всасываний и нагнетаний (за один оборот вала кривошипно-шатунного механизма или за два хода S поршня): простого действия и многократного действия;
- В зависимости от расположения поршня: вертикальные и горизонтальные

Поршневой насос простого действия

Насос состоит из корпуса-цилиндра 1, внутри которого возвратно-поступательно движется поршень 2. При движении поршня из левого крайнего положения в крайнее правое положение в цилиндре создается разрежение. Вследствие этого поднимается всасывающий клапан 6, и жидкость по трубе поступает в цилиндр, двигаясь за поршнем 2. При ходе поршня справа налево в цилиндре создается избыточное давление, клапан 6 опускается, нагнетательный (напорный) клапан 8

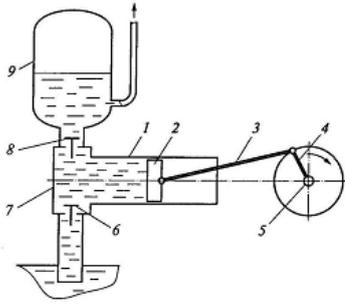


Рис. 2.3.8. Поршневой насос простого действия: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шатун; 4 – кривошип; 5 – вал; 6 – всасывающий клапан; 7 – клапанная коробка; 8 – напорный клапан; 9 – воздушный колпак.

поднимается. Жидкость вытесняется поршнем в нагнетательную трубу (рис. 2.3.8.).

При многократном возвратно-поступательном движении поршня, которое производится с помощью кривошипно-шатунного механизма, жидкость попеременно всасывается и нагнетается. Длина пути поршня между его крайними положениями называется **ходом поршня** и обозначается S . Насос, поршень которого за **один оборот вала** делает **два хода** (один - при всасывании, другой – при нагнетании), называется **насосом простого действия**.

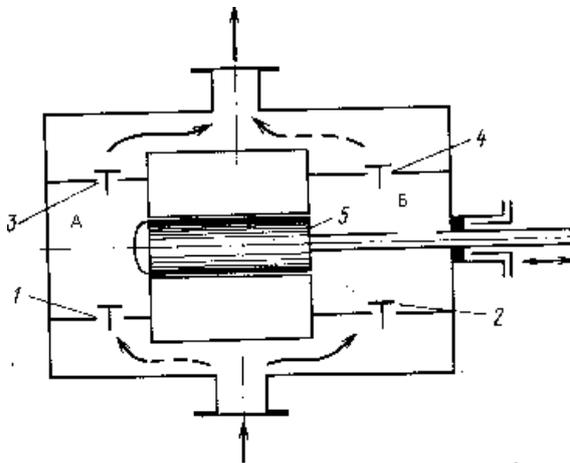


Рис. 2.3.9. Насос двойного действия: 1,2 – всасывающие клапаны; 3,4 – нагнетательные клапаны; 5 – поршень

Конструкция, в которой **поршень работает двумя ли сторонами**, подавая двойное количество сти, называется **насосом двойного вия** (рис. 2.3.9.).

осе есть две камеры: А и Б. При движении я слева направо в камере А происходит сс всасывания по аналогии с насосом ратного действия. В то же время жидкость, пенная ранее в камере Б, вытесняется в ный трубопровод.

обратном ходе поршня справа налево в камере Б происходит всасывание, а из камеры А выталкивание. Таким образом, в отличие от насоса простого действия подача жидкости в напорный трубопровод происходит не за один оборот, а за половину оборота кривошипно-шатунного механизма.

Производительность поршневого насоса

Для насоса простого действия:

$$Q_m = \frac{FSn}{60} \quad (2.3.8)$$

Q_m – теоретическая производительность насоса, м³/с

S – длина хода поршня (или плунжера), м

F – площадь поперечного сечения поршня, м²

n - число оборотов вала кривошипно-шатунного механизма, мин⁻¹

$$Q_d = Q_m \eta_v = \frac{FSn\eta_v}{60} \quad (2.3.9.)$$

Q_d – действительная производительность насоса, м³/с

η_v - объемный к.п.д. или коэффициент подачи

η_v зависит от размеров насоса и его износа. Равен 0,95-0,99 для насосов с диаметром поршня более 150 мм.

Действительная производительность насоса меньше теоретической из-за утечки жидкости через неплотности в сальниках, клапанах, запаздывания открытия и закрытия клапанов.

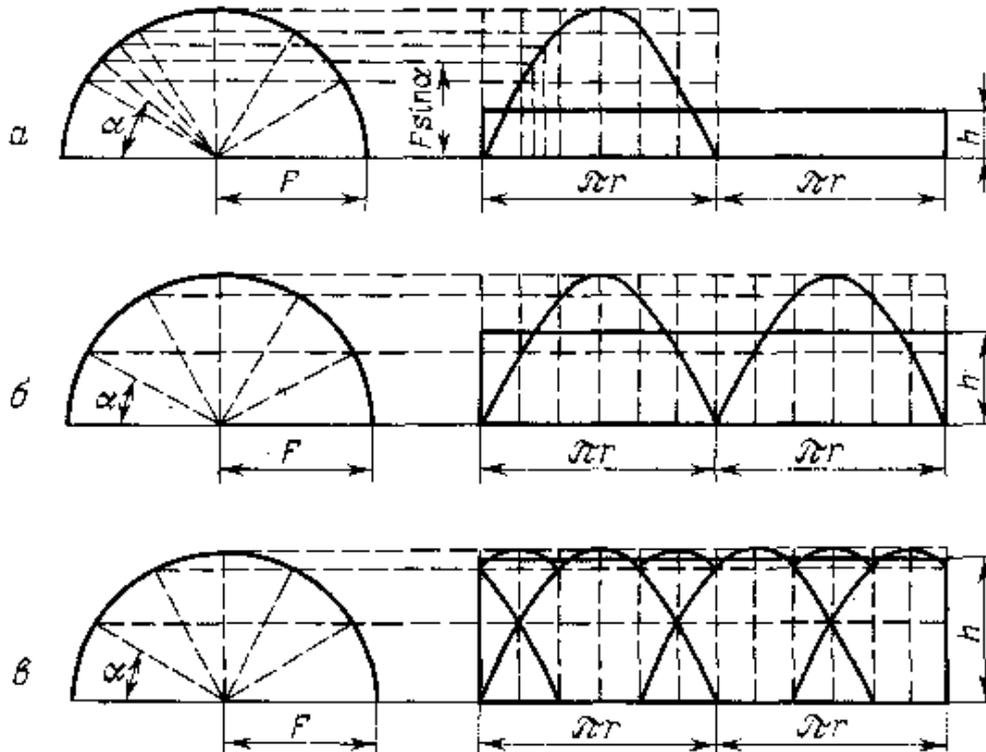


Рис. 2.3.10. Диаграммы подачи жидкости поршневым насосом: а – простого действия; б – двойного действия; в – тройного действия.

Для насоса двойного действия:

$$Q_m = \frac{(2F - f)Sn}{60} \quad (2.3.10)$$

Q_m – теоретическая производительность насоса, м³/с

S – длина хода поршня (или плунжера), м

F – площадь поперечного сечения поршня, м²

n - число оборотов вала кривошипно-шатунного механизма, мин⁻¹

f – площадь поперечного сечения штока, м²

Если $f \ll F$, то производительность насоса двойного действия в 2 раза больше производительности насоса простого действия.

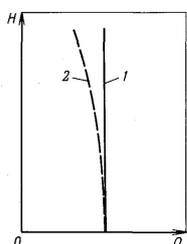
Q_d – действительная производительность насоса определяется по формуле:

$$Q_d = Q_m \eta_v = \frac{(2F - f) S n \eta_v}{60} \quad (2.3.11.)$$

Диаграммы подачи жидкости поршневым насосом простого, двойного, тройного действия представлены на рис. 2.3.10

Степень неравномерности подачи в триплекс – насосе минимальна. Для снижения неравномерности подачи и уменьшения инерции массы жидкости, заполняющей насосную установку, на входе и выходе ставят **воздушные колпаки**.

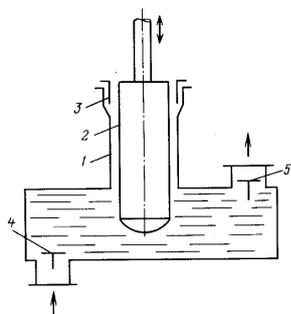
Характеристика поршневого насоса



Характеристика поршневого насоса – это графическая зависимость между напором H и производительностью насоса Q при $n = \text{const}$ (рис. 2.3.11.). Производительность поршневого насоса не зависит от напора.

Рис. 2.3.11. Характеристика поршневого насоса: 1 – теоретическая характеристика насоса; 2 – действительная характеристика насоса

2.3.4 Плунжерные насосы



В химической промышленности эти насосы более распространены, чем поршневые, т.к. требуют менее тщательной обработки внутренней поверхности цилиндра и проще уплотняются.

Рис. 2.3.12. Плунжерный насос: 1 – цилиндр; 2 – плунжер; 3 – сальник; 4 – всасывающий клапан; 5 – нагнетательный клапан

Плунжерные диафрагменные (мембранные) насосы

Наряду с агрессивными, загрязненными или легко воспламеняющимися жидкостями эти насосы перекачивают также абразивные среды с высокой вязкостью бережно и осторожно. Эти основные качества нужны в производстве лаков и красок.

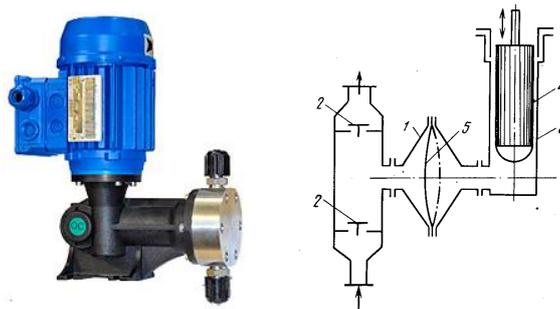


Рис. 2.3.13. Плунжерный диафрагменный (мембранный) насос: 1 – корпус; 2 – клапаны; 3 – цилиндр; 4 – плунжер; 5 – диафрагма (из резины или специальной стали)

2.3.5 Винтовые насосы

Винтовой или шнековый насос – это насос, в котором создание напора нагнетаемой жидкости осуществляется за счёт вытеснения жидкости одним или несколькими винтовыми металлическими роторами, вращающимся внутри статора соответствующей формы.

Винты имеют специальный профиль – такой, что линия зацепления между ними обеспечивает полную герметизацию области нагнетания под область всасывания. Направление нарезки ведомых винтов противоположно направлению нарезки ведущего. Винты помещены в кожух с гладкой цилиндрической поверхностью. При вращении винтов жидкость, заполняющая впадины в нарезках, перемещается вдоль оси насоса и вытесняется в линии нагнетания. Производительность увеличивается с увеличением числа оборотов винтов. При этом давление, создаваемое насосом, остается без изменений

Винтовые насосы предназначены для перекачивания жидкостей различной степени вязкости, газа или пара, в том числе и их смесей. Эти насосы могут работать при давлениях до 30 МПа.

Преимуществами винтовых насосов являются:

- равномерная подача жидкости, в отличие от насосов поршневых и плунжерных;
- способность перекачивать смеси из жидкой и твердой фаз;
- как и другие объёмные насосы, винтовые обладают способностью к самовсасыванию жидкости;
- возможность получить высокое давление на выходе без множества каскадов нагнетания;
- хорошая сбалансированность механизма и, как следствие, - низкий уровень шума при работе.

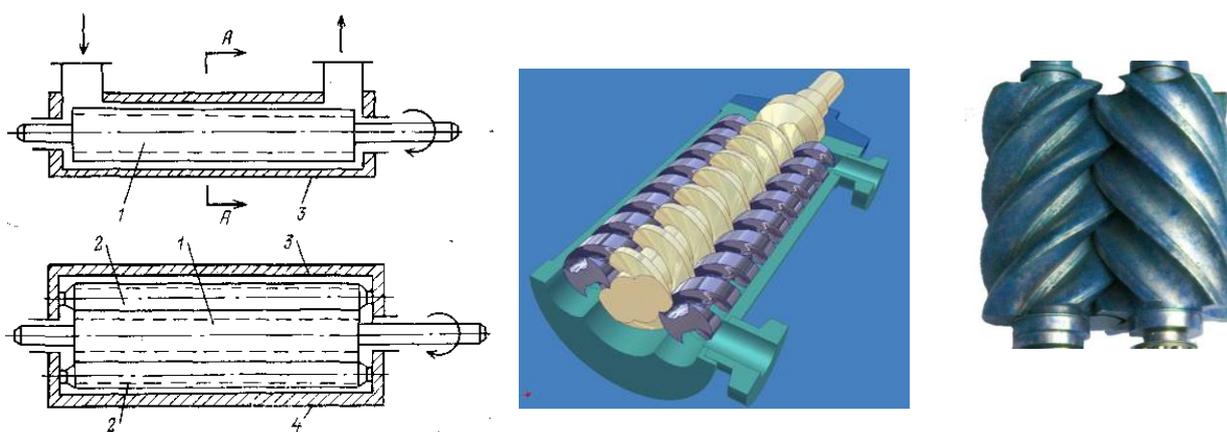


Рис. 2.3.14. Винтовой насос: 1 – ведущий винт; 2 – ведомые винты; 3 – кожух; 4 – корпус.

Недостатки винтовых насосов:

- сложность и высокая стоимость изготовления насоса;
- нерегулируемость рабочего объема;
- так же, как и другие виды объёмных насосов, винтовые нельзя пускать вхолостую без перекачиваемой жидкости, так как в этом случае повышается коэффициент трения деталей насоса и ухудшаются условия охлаждения. В результате этого насос может перегреться и выйти из строя

2.3.6 Шестеренные насосы

Шестеренные насосы предназначены преимущественно для перекачивания вязких жидкостей.

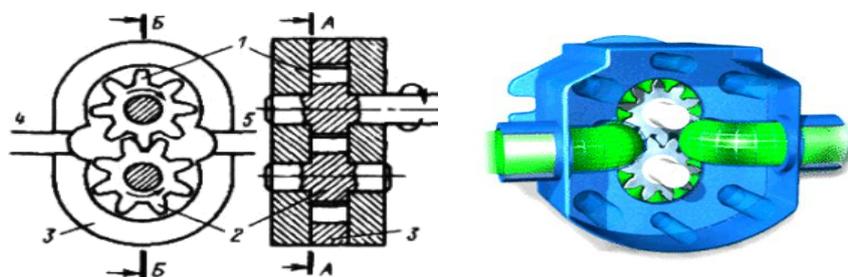


Рис. 2.3.15. Шестеренный насос: 1,2 – шестерни; 3 – корпус; 4 – всасывающий патрубок; 5 – нагнетательный патрубок

Две шестерни, одна из которых ведущая, а другая ведомая, вращаясь в хорошо подогнанном корпусе, перемещают масло, заполняющее впадины между зубьями по части окружности из полости всасывания в полость нагнетания. При вращении шестерен вследствие создаваемого разрежения жидкость поступает в корпус, перемещается по направлению вращения в нагнетательный патрубок (рис. 2.3.15.).

Такие насосы обладают реверсивностью. Это значит, что области всасывания и нагнетания меняются местами при изменении направления вращения шестерен.

Подача насоса определяется по формуле:

$$Q = \frac{2flzn\eta_v}{60} \quad (2.3.12.).$$

$$\eta_v = 0.7 - 0.9$$

f – площадь поперечного сечения впадины между зубьями, m^2 ;

l – длина зуба шестерни, m ;

z – число зубьев;

n – частота вращения шестерен, $мин^{-1}$

2.3.7 Осевые (пропеллерные) насосы

Рабочее колесо (1) с лопатками винтового профиля при вращении в корпусе (2) сообщает жидкости движение в осевом направлении. Для преобразования вращательного движения жидкости на выходе из колеса в поступательное движение устанавливают направляющий аппарат (3).

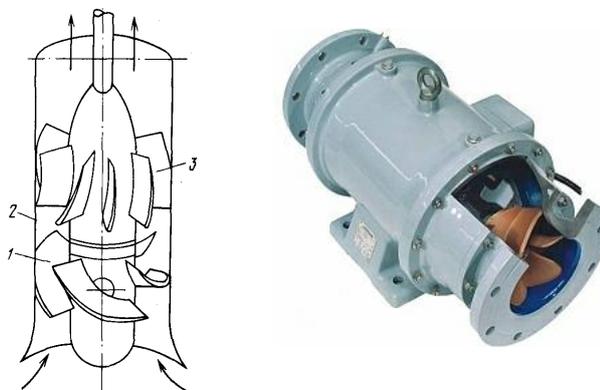


Рис. 2.3.16. Осевой насос: 1- рабочее колесо; 2 - корпус; 3 - направляющий аппарат

Применяют для перемещения больших объемов жидкостей (десятки м³/с) при относительно невысоких напорах (от 3-5 до 15-25м). По сравнению с центробежными насосами осевые насосы имеют большую подачу, но меньший напор. К.п.д. их достигает 0,9 и выше.

2.3.8 Вихревые насосы

По принципу действия отличаются от центробежных насосов. Перекачиваемая жидкость подводится и отводится по боковым каналам. Рабочее колесо имеет на наружной поверхности ячейки, заполненные во время работы жидкостью. При вращении рабочего колеса с большой скоростью жидкость, находящаяся в ячейках, вследствие трения, увлекает перекачиваемую жидкость, поступающую через боковой канал, перемещает ее по кольцевому пространству в нагнетательный канал.

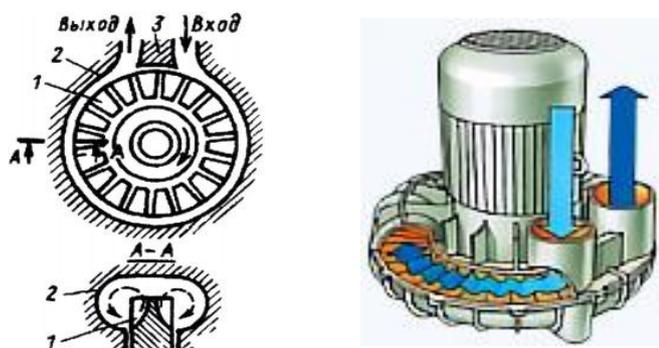


Рис. 2.3.17. Вихревой насос: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо

Напор таких насосов в 2 - 4 раза больше, чем у центробежных насосов при одном и том же диаметре колеса. Они просты по устройству, малогабаритны, не требуют заливки линии всасывания и корпуса перед пуском. С уменьшением производительности напор и мощность у них резко возрастают, достигая

максимума при $Q = 0$. Пуск проводят при открытой задвижке на нагнетательном трубопроводе. К.п.д. вихревых насосов равен 0,25 – 0,5.

2.3.9 Струйные насосы

По конструктивному исполнению струйные насосы являются самыми простыми аппаратами (рис. 2.3.18.). Они не имеют движущихся деталей, которые подвержены износу, просты в эксплуатации и ремонте.

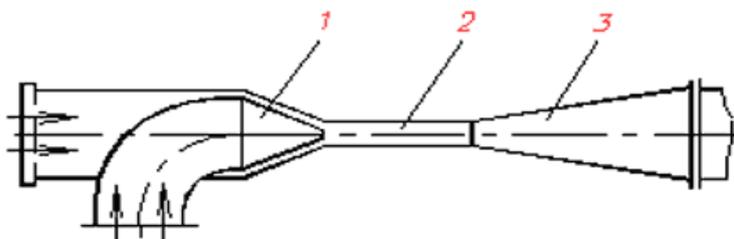


Рис. 2.3.18. Струйный насос: 1 – сопло, 2- камера смешения, 3 – диффузор

Упрощенно схему работы струйного насоса можно объяснить так: жидкость, пар, или газ под большим давлением подается по трубе, имеющей сопло 1, в подводящую камеру. Из-за сужения сопла жидкость обладает большей скоростью, следовательно,

и кинетической энергией. В подводящей камере давление падает ниже атмосферного, и из питающего трубопровода, соединенного с этой камерой, происходит всасывание. Обе жидкости попадают в следующую камеру 2, где смешиваются и обмениваются кинетической энергией. Затем перемешавшееся вещество попадает в диффузор 3 насоса, где теряет часть давления, а оттуда - в напорный трубопровод или сборный резервуар.

В зависимости от назначения рабочая и перекачиваемая среда может быть одной и той же (например, в водоструйных насосах), или различной. Струйные насосы относят к "динамическим насосам". Главным недостатком таких насосов является низкий коэффициент полезного действия - до 30%. Струйные насосы подразделяют на: инжекторы (нагнетательные) и эжекторы (всасывающие). Такие насосы находят применение в условиях, когда требуются высокая мощность и надежность: на горных разработках, в системах откачки воды.

2.3.10 Роторные пластинчатые насосы

Роторный пластинчатый насос показан на рис. 2.3.19. Ротор установлен в цилиндрическом корпусе эксцентрично и имеет две или большее количество пластинок,

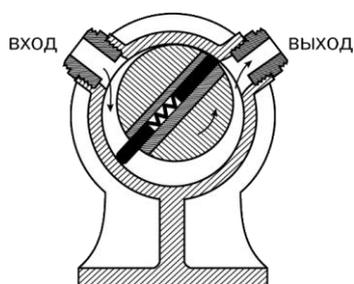


Рис. 2.3.19. Роторный пластинчатый насос

которые под действием пружин могут перемещаться радиально, так, что всегда остаются прижатыми к корпусу. Жидкость засасывается в расширяющееся клинообразное пространство между ротором и корпусом и вытесняется пластинкой через аналогичное сужающееся пространство.

2.3.11 Классификация компрессорных машин

Большинство химико-технологических процессов связано с транспортировкой газа или изменением его давления. Это процессы абсорбции, конвективной сушки, холодильные и каталитические процессы, системы пневмотранспорта, вентиляционные установки. Машины, предназначенные для сжатия и транспортирования газов при давлениях отличных от атмосферного (от 0,001Па до 100000000 Па) называются компрессорами.



Основной характеристикой таких машин является **степень сжатия**.

Степень сжатия c – это отношение конечного давления, создаваемого компрессором, к начальному давлению.

$$c = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.3.13)$$

P_2 - давление на выходе из компрессорной машины

P_1 – давление на входе в компрессорную машину

В зависимости от степени сжатия различают следующие компрессорные машины:

- вентиляторы ($c < 1,15$) - для транспортирования больших количеств газов при низких давлениях;
- газодувки ($1,15 < c < 3,0$) - для транспортирования газов при существенных гидравлических сопротивлениях системы;
- компрессоры $c > 3,0$ - для создания высоких давлений.

По принципу действия различают компрессоры:

- **объемные** (поршневые, мембранные, роторные);
- **динамические** (струйные, центробежные, осевые).

По рабочему давлению компрессоры подразделяют на:

- **вакуумные** ($P_{\text{начальное}} < P_{\text{атм}}$);
- **низкого давления** ($P_{\text{конечное}} 0,115 - 1,0$ МПа);
- **высокого давления** ($P_{\text{конечное}} 10 - 100$ МПа);
- **сверхвысокого давления** ($P_{\text{конечное}} > 100$ МПа).

Компрессорные машины могут быть также **одноступенчатыми** и **многоступенчатыми**.

В вентиляторах, которые создают небольшое избыточное давление, достаточно одной ступени. В газодувках, как правило, предусмотрено несколько ступеней сжатия. Компрессоры всегда состоят из нескольких ступеней сжатия.

Несмотря на то, что по конструкции рабочих колес, количеству ступеней сжатия газодувки и компрессоры похожи, необходимо знать их существенные отличия.

Во-первых, в газодувках при сжатии газа и увеличении его температуры не принимают никаких мер по снижению температуры газа. В компрессорах газ всегда охлаждают.

Второе различие состоит в размере рабочих колес, которые устанавливают в последовательно работающих ступенях сжатия. В газодувках диаметры рабочих колес и их ширина одинаковы.

В компрессорах с целью уменьшения гидравлических потерь размер рабочих колес последовательно уменьшают. Если компрессор состоит из нескольких секций, то внутри каждой секции колеса одинаковые, но их размер уменьшается от секции к секции.

Сжатие и разрежение газов

Сжатие и разрежение газов сопровождается изменением давления и температуры.

В зависимости от условий сжатия различают:

- **адиабатическое сжатие** - процесс, при котором тепло, выделяющееся при сжатии, полностью остается внутри газа, повышая его температуру. Потери тепла в окружающую среду отсутствуют $Q=const$;
- **изотермическое сжатие** – это процесс, при котором тепло, выделяющееся при сжатии, полностью отводится наружу, $T=const$;
- **политропическое сжатие** – реальный процесс сжатия газа, при котором одновременно с изменением объема и давления происходит изменение температуры и отвод тепла наружу.

2.3.12 Поршневые компрессоры

Относятся к машинам объемного действия. Передача энергии газу происходит в результате действия на него поршня. Бывают простого и двойного действия – по числу сторон поршня, действующих на газ; одно-, двух-, многоцилиндровые – по числу параллельно работающих цилиндров; одно-, двух-, многоступенчатые – по числу ступеней сжатия.

На рис. 2.3.20. показана схема одноцилиндрового компрессора простого действия с приводом от кривошипно-шатунного механизма.

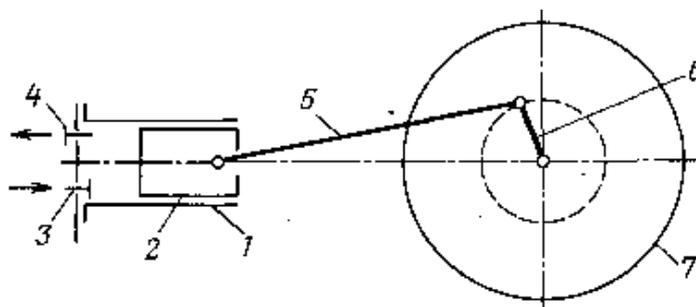


Рис. 2.3.20. Одноцилиндровый компрессор простого действия: 1 – цилиндр, 2 – поршень, 3 – всасывающий клапан, 4 – нагнетательный клапан, 5 – шатун, 6 – кривошип, 7 – маховик

В цилиндре 1 движется поршень 2. В крышке цилиндра находятся всасывающий 3 и нагнетательный 4 клапаны. Возвратно-поступательное движение поршня происходит за счет преобразования вращательного движения кривошипа 6, соединенного с поршнем с помощью шатуна.

При движении поршня слева направо из крайнего левого положения в полости цилиндра понижается давление, и открывается всасывающий клапан. Газ поступает в цилиндр. Процесс всасывания заканчивается при достижении поршнем крайнего правого положения. При обратном движении поршень действует на газ, повышая его давление. Всасывающий клапан при этом закрывается. Давление в цилиндре увеличивается до тех пор, пока не достигнет значения давления в нагнетательном трубопроводе. После этого открывается нагнетательный клапан, и газ вытесняется в трубопровод. Поршень доходит до достижения поршнем крайнего левого положения. Затем процесс повторяется. Так как температура газа при сжатии повышается и при этом затраты энергии на сжатие увеличиваются, то газ в цилиндре обычно охлаждают, используя водяную рубашку.

Необходимо отметить, что в таких компрессорах под поршнем остается некоторый объем сжатого газа, который называют **вредным пространством**. Чем больше вредное пространство, тем дольше расширяется газ из него и меньше объем всасывания. Для того, чтобы уменьшить объем вредного пространства, к цилиндру присоединяют дополнительные полости, объем которых можно регулировать вручную или автоматически.

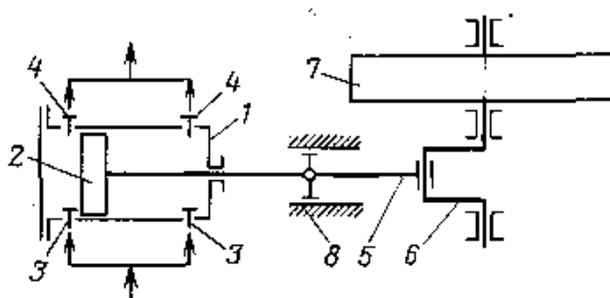


Рис. 2.3.21. Одноцилиндровый компрессор двойного действия: 1 – цилиндр, 2 – поршень, 3 – всасывающий клапан, 4 – нагнетательный клапан, 5 – шатун, 6 – кривошип, 7 – маховик, 8 – крейцкопф

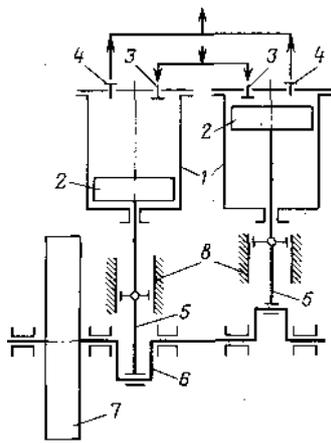


Рис. 2.3.22. Двухцилиндровый компрессор простого действия: 1 – цилиндр, 2 – поршень, 3 – всасывающий клапан, 4 – нагнетательный клапан, 5 – шатун, 6 – кривошип, 7 – маховик, 8 – крейцкопф

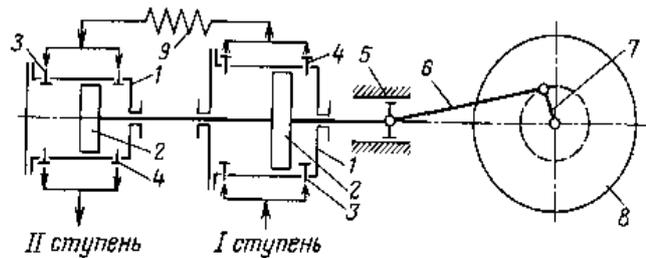


Рис. 2.3.23. Двухступенчатый компрессор (тандем – цилиндры расположены по одной оси)

2.3.13 Центробежные компрессоры

По принципу действия они аналогичны центробежным насосам. К ним относятся:

- вентиляторы (низкого $P < 1000$ Па, среднего $P = 1000 - 3000$ Па, высокого $P = 3000 - 10000$ Па давления);
- турбогазодувки;
- турбокомпрессоры.

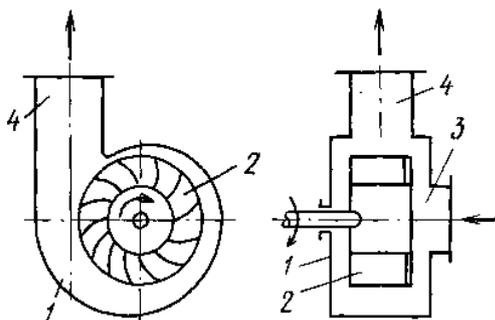


Рис. 2.3.24. Схема центробежного компрессора: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – всасывающий патрубок; 4 – нагнетательный патрубок

2.3.14 Турбогазодувки, турбокомпрессоры

Одноступенчатые **турбогазодувки** – разновидность вентиляторов высокого давления, сжимают газ до 30000 Па (рис.2.3.25.) В многоступенчатых турбогазодувках на валу устанавливают 3 - 4 колеса с лопатками. Газ между ступенями не охлаждается, диаметры колес постоянны, но ширина их уменьшается от первого к последнему. Степень сжатия в таких машинах 3 -3,5.

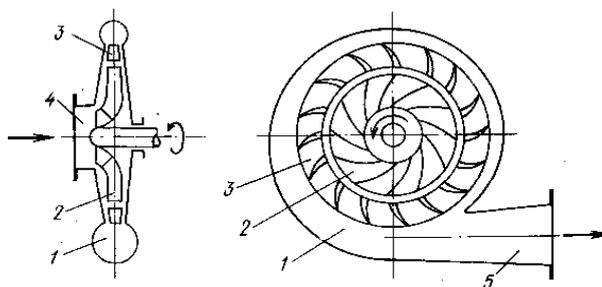


Рис. 2.3.25. Схема турбогазодувки: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – направляющий аппарат; 4 – всасывающий патрубок; 5 – нагнетательный патрубок

Турбокомпрессоры аналогичны турбогазодувкам, но создают более высокие степени сжатия. Колеса имеют разный диаметр. Диаметр и ширина колеса уменьшаются от первого к последнему. Газ между корпусами охлаждают. Давление нагнетания 2,5 – 3,0 МПа.

Применяют при $Q=3000 - 6000 \text{ м}^3/\text{час}$ и $P=1 - 1,2 \text{ МПа}$ ($< 3 \text{ МПа}$)

2.3.15 Осевые компрессоры и вентиляторы

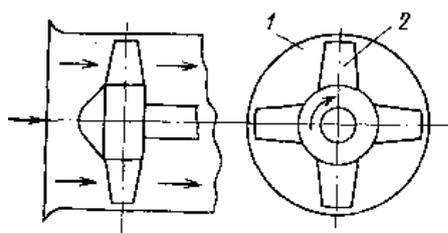


Рис. 2.3.26. Осевой (пропеллерный) вентилятор: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо

К.п.д. осевых вентиляторов выше, чем центробежных, а напор в 3- 4 раза ниже (рис. 2.3.26.). Осевые компрессоры компактны, имеют высокий к.п.д., обеспечивают высокую производительность более 50 000 – 80 000 м³/час, развивают давление $< 0,5 - 0,6 \text{ Мпа}$.

Конструкция осевого компрессора предусматривает несколько ступеней повышения давления. Каждая ступень образована парой элементов: лопаткой на вращающемся роторе и направляющим элементом – неподвижной лопаткой статора. Проточную часть компрессора – пространство между ротором и корпусом – уменьшают к выходу для сохранения постоянного значения осевой скорости. Этот эффект можно получить либо уменьшением диаметра корпуса, либо увеличением диаметра ротора.

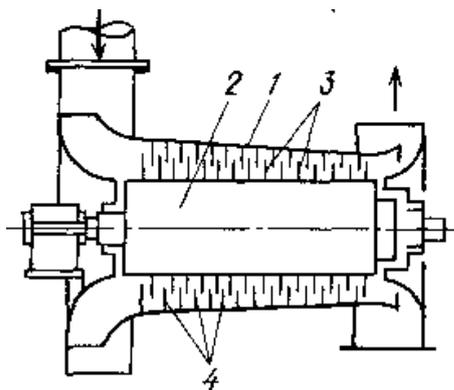


Рис. 2.3.27. Осевой компрессор: 1 – корпус (статор); 2 – ротор с лопатками; 3, 4 – неподвижные лопатки статора

2.3.16 Контрольные вопросы по теме «Насосы и компрессоры»

- Каково назначение насосов?
- Какие параметры характеризуют работу насоса?
- Какое оборудование входит в состав насосной установки?
- Для чего в насосной установке применяют манометр и вакуумметр?
- Каковы устройство и принцип действия центробежного насоса?
- Что такое кавитация в насосе? Как уменьшить вероятность её возникновения?
- Каковы основные характеристики работы центробежного насоса? Какой вид они имеют на графике?
- Что такое рабочая точка насоса? Какие параметры насоса можно определить по расположению рабочей точки на графике?
- Как устроен поршневой насос простого действия? Каким образом происходит передача энергии жидкости?
- Каковы основные достоинства и недостатки поршневых насосов?
- Каким образом можно устранить неравномерность подачи жидкости поршневым насосом?
- Сравните плюсы и минусы объемных и динамических насосов.
- Перечислите другие виды насосов, их особенности и области применения.
- Каково назначение компрессорных машин? На какие группы их подразделяют по степени сжатия газа?
- В чем состоит устройство поршневого компрессора простого действия?
- Какое положение по рабочим параметрам занимают газодувки в классификации компрессорных машин?
- Каково устройство и принцип действия центробежного компрессора?

2.4 Оборудование для транспортировки твердых материалов

Сегодня любое промышленное производство оснащено средствами механизированного транспорта. Для машин непрерывного действия характерно непрерывное перемещение насыпных или штучных грузов по заданной трассе без остановок для загрузки или разгрузки. Транспортирующие машины отличаются высокой надежностью, удобством эксплуатации и обслуживания; имеют большую длину транспортирования; работают в автоматическом режиме в комплексе с технологическим оборудованием; обеспечивают высокую производительность благодаря непрерывности процесса транспортирования.

2.4.1 Основные конструкции питателей твердых материалов

Устойчивая безаварийная работа непрерывнодействующих химический аппаратов, возможна, если подача сырья регулярна во времени и равномерна по рабочей зоне, то есть исключается завал, холостой ход и неравномерный износ их рабочих элементов. Для подачи твердого сыпучего материала применяются машины, называемые питателями.

Конструкции питателей включают транспортирующий механизм с регулируемым приводом, обеспечивающий движение материала через рабочую камеру, ограничитель, позволяющий изменять сечение потока материала, и устройства, исключающие обратное движение материала.

Рассмотрим наиболее распространенные в химической промышленности шнековые, шлюзовые, тарельчатые и барабанные питатели.

2.4.2 Шнековые (винтовые) питатели

Питатели шнековые предназначены для непрерывной и равномерной подачи сыпучего материала с размером частиц до 5 мм, влажностью до 8%. Питатели шнековые не имеют наружных вращающихся илидвигающихся частей (кроме приводного механизма) и требуют минимум технического обслуживания. Они

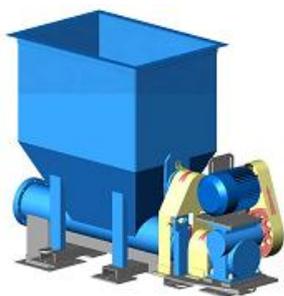


Рис. 2.4.1. Шнековый питатель

применяются для транспортирования и дозирования молотых и мелкокусковых материалов. Возможно применение шнековых питателей для перемешивания материалов. Имея возможность регулировать частоту вращения вала двигателя частотным преобразователем, можно добиться необходимой объемной дозировки по заданной технологии, в диапазоне регулирования частоты вращения от 20% до 110% от номинальной.

В бункерах шнековых питателей установлены ворошители материала, которые исключают сводообразование и залегание материала.

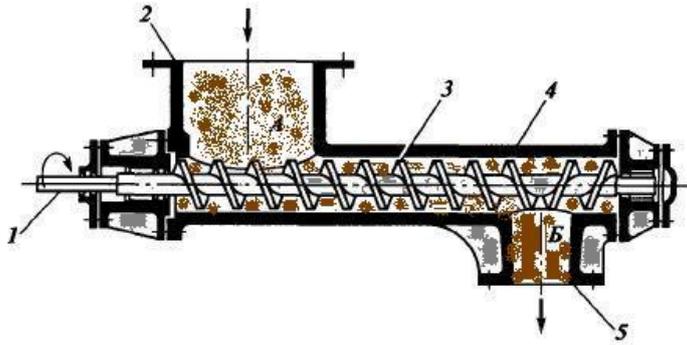


Рис. 2.4.2. Шнековый питатель: 1 - вал; 2 - загрузочная воронка; 3 - шнек; 4-корпус; 5 - разгрузочный патрубков.

Рабочий орган питателя - шнек (винт) (3), перемещающий материал от приемного штуцера к отводному, рабочий орган с постоянным шагом либо шагом, увеличивающимся в направлении движения материала, что позволяет избежать его спрессовывания. При необходимости нагревания или охлаждения поступающего материала корпус питателя снабжается рубашкой, а вал и шнек выполняются полыми для подачи в них теплоносителя либо охлаждающего агента.

Для повышения равномерности выхода материала винт делают многозаходным, ось питателя поднимают в направлении от приемного штуцера к отводному, а участок винта длиной 1.5-2 его диаметра непосредственно перед отводным штуцером выполняют без витков.

Объемная производительность (V) шнекового питателя определяется по формуле:

$$V = \pi \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot (t - b) \cdot \varphi \cdot k \cdot n \quad (2.4.1)$$

где

D и d - наружный диаметр витков и вала;

$t = (0,5 \div 1) \cdot D$ - шаг винта;

b - толщина витков;

$\varphi = 0,3 - 0,8$ - коэффициент заполнения полостей винта;

$k = (0,3 \div 1)$ - коэффициент проскальзывания материала в полостях винта, n - частота вращения вала винта.

Мощность, затрачиваемая на перемещение и подъем материала, на преодоление трения о винт и корпус, в подшипниках и передачах определяется по формуле:

$$N = V \cdot \rho_i \cdot g \cdot L (\sin \alpha + k) \quad (2.4.2)$$

где

ρ - насыпная плотность материала;

L - длина его подачи, α - угол подъема оси винта;

k - коэффициент потерь на трение в шнеке.

Шнековые (винтовые) конвейеры часто используются для объёмного дозирования сыпучих материалов. Основной проблемой такой эксплуатации, является сложность в достижении точного дозирования, вызванная волнообразностью подачи материала.

Для повышения равномерности подачи продукта, на разгрузочном конце шнека устанавливают специальное приспособление – дозирующий винт, который имеет многозаходную спираль с малым шагом.

2.4.3 Питатели ленточные



Рис. 2.4.3. Ленточный питатель

Питатели ленточные применяются для подачи из бункеров всех видов материалов от пылевидных до среднекусковых. В большинстве случаев они обеспечивают равномерную непрерывную подачу материала с одновременной объемной дозировкой отдельных компонентов.

По принципу работы и конструкции ленточный питатель представляет собой транспортер с продольными бортами, в отдельных случаях с шиберными заслонками и другими конструктивными особенностями.

Ленточные питатели отличаются широким диапазоном производительности, которая может варьироваться скоростью ленты и условной площадью сечения выходного отверстия материала.

Производительность ленточного питателя ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется по формуле:

$$V = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot b \cdot h \quad (2.4.3)$$

где

D - диаметр (м) барабана транспортера;

n - частота вращения (с^{-1});

b и h - ширина и толщина (м) слоя материала на ленте (пластинах).

Обычно производительность ленточных питателей составляет до $180 \text{ м}^3/\text{ч}$, пластинчатых - $650 \text{ м}^3/\text{ч}$. Мощность электродвигателя, как правило, до 20 кВт.

2.4.4 Шлюзовые (секторные) питатели

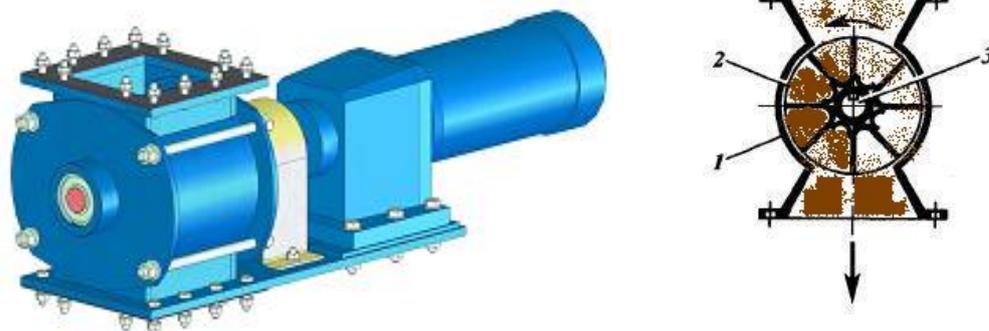


Рис. 2.4.4. Схема шлюзового (секторного) питателя:
1 — корпус; 2 — ротор с ячейками; 3 — приводной вал.

Данный тип питателей применяют для подачи маловлажных хорошо сыпучих материалов с размером частиц до 10 мм.

Рабочий орган питателя - вращающийся ротор, к валу которого прикреплены ячейки, изготовленные из листовой стали. Проходя зону загрузочного штуцера, ячейки заполняются материалом, а в нижней части корпуса - разгружаются. Это самая простая и самая распространенная конструкция питателя.

Производительность шлюзового питателя регулируют изменением частоты вращения ротора.

Производительность определяют по формуле:

$$V = V_n \cdot n \cdot \varphi \quad (2.4.4)$$

где

V_n - объем ячеек ротора;

$\varphi=0.8\div 0.9$ - коэффициент их заполнения материалом;

n - частота вращения ротора.

Питатель шлюзовый (секторный) предназначен для непрерывной и равномерной подачи сыпучего материала с влажностью до 8%.

Область применения – комплектование технологических линий с заданной дозировкой материала.

Питатель крепится на фланец разгрузочного отверстия бункеров циклонов, пылеуловителей и рукавных фильтров.

За счет плотного прилегания лопастей ротора к корпусу, обеспечивается герметичность, необходимая для работы циклонов, пылеуловителей и фильтров.

2.4.5 Тарельчатые (дисковые) питатели

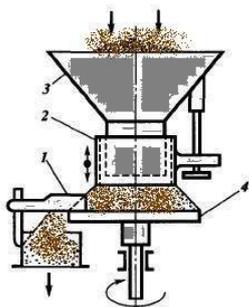


Рис. 2.4.4. Схема тарельчатого питателя:

1 - сбрасывающий поворотный нож; 2 - манжета; 3 - приемный бункер; 4 –тарель.

Тарельчатые (дисковые) питатели предназначены для подачи хорошо сыпучих материалов с малой влажностью и размерами частиц до 3 мм.

Материал свободно высыпается из бункера через штуцер подачи и стакан на вращающуюся тарель и сбрасывается ножом с ее периферии в штуцер отвода.

Частота вращения тарелки n выбирается такой, чтобы действующие на частицы материала центробежные силы не превышали сил трения,

$$n < \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{g \cdot \operatorname{tg} \varphi}{0.5 \cdot D - \delta}} \quad (2.4.5)$$

где

φ - угол внешнего трения материала;

D - диаметр тарели;

$\delta = 0,01-0,02$ м - рекомендуемая ширина ее незасыпаемого края тарели.

Производительность питателя до 15 м³/ч.

Мощность электродвигателя 0,5-0,8 кВт.

2.4.6 Плунжерный питатель

Плунжерный питатель состоит из конусной загрузочной воронки, горизонтального конуса для перемещения дозированного материала и плунжера 1, соединенного с эксцентриком 2 при помощи тяги 3.

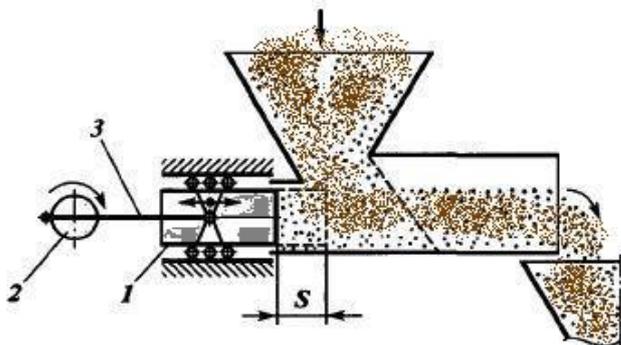


Рис. 2.4.5. Схема плунжерного питателя:
1 - плунжер; 2 - эксцентрик; 3 -тяга; S - ход плунжера

При вращении эксцентрика плунжер перемещается на расстояние S , вытесняя порцию дозированного материала из корпуса.

2.4.7 Цепные питатели

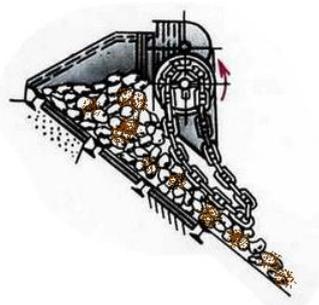


Рис. 2.4.5. Цепной питатель

Цепные питатели предназначены для крупнокусковых грузов и имеют так называемый цепной занавес, который перекрывает выпускное отверстие бункера. При вращении приводного барабана цепи прижимают к лотку слой груза, регулируя скорость его скольжения.

2.4.8 Вибрационные питатели

Вибрационные питатели состоят из грузонесущего органа (желоба, лотка), свободно опирающегося или подвешенного на упругих опорах к несущей конструкции, и вибровозбудителя, сообщаящего ему направленные колебания

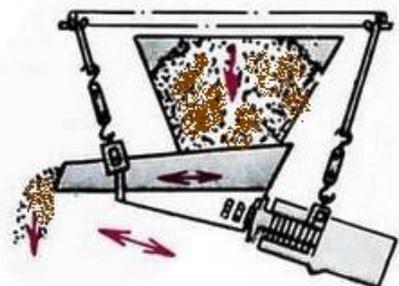


Рис. 2.4.6. Вибрационный питатель

для обеспечения перемещения материала.

Наибольшее распространены электромагнитные и инерционные вибровозбудители.

Движущиеся органы при подаче пылящих и токсичных материалов герметизируются.

Производительность питателя до 2000 т/ч. Мощность электродвигателя до 16 кВт.

2.4.9 Дозаторы твердых сыпучих материалов

В отличие от питателей, непрерывно подающих сыпучий материал, дозаторы обеспечивают автоматическое отмеривание его заданной массы или объема. Соответственно различают объемные и весовые дозаторы.

Объемные дозаторы просты по конструкции и удобны в эксплуатации, однако их применение сдерживается невысокой точностью дозирования. Наиболее распространенные дозаторы периодического действия - механические и камерные.

Принцип работы механического дозатора аналогичен шлюзовому питателю. За один оборот полого вращающегося цилиндра отмеривается объем материала.

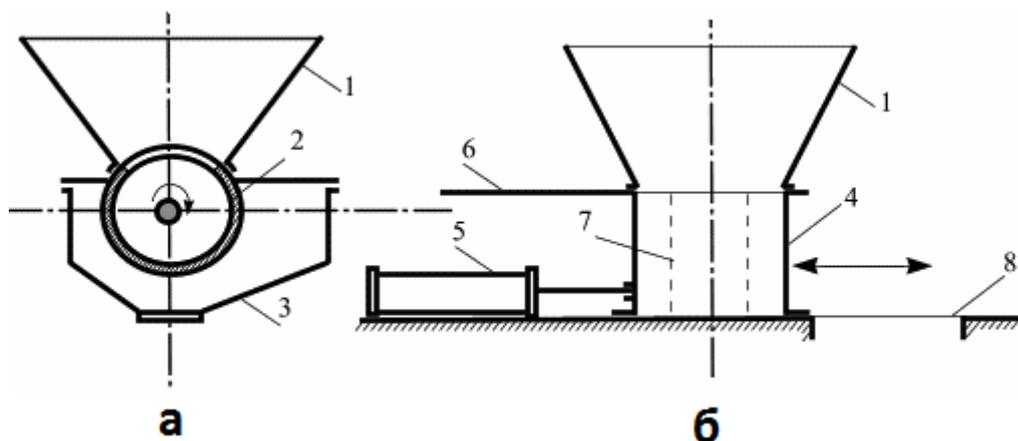


Рис. 2.4.7. Объёмные дозаторы периодического действия а- механический, в – камерный:
1-питающая воронка, 2- полый цилиндр, 3- приёмный бункер, 4- подвижная камера, 5- пневмоцилиндр, 6- затвор, 7- вкладыш, 8 - разгрузочное устройство.

Барабанный дозатор с лопастной мешалкой обеспечивает непрерывную подачу материала в объёме, который захватывается лопастью мешалки.

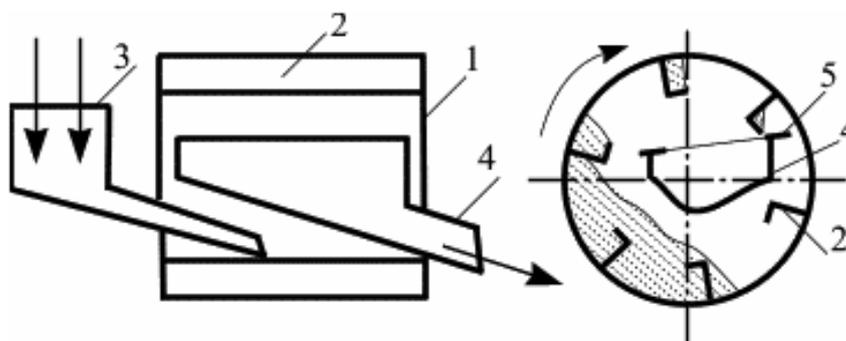


Рис. 2.4.8. Барабанный дозатор с лопастной мешалкой:
1- барабанный накопитель, 2- лопасть, 3- бункер подачи, 4- приёмный лоток, 5- крышка

Весовой дозатор - это аппарат для автоматического дозирования заданной массы твёрдых сыпучих материалов, паст или жидкостей. Данный вид весоизмерительной техники широко используется в различных отраслях промышленности: в химической, пищевой и фармацевтической индустрии, производстве пластмасс, строительных материалов и т.д. Весовые дозаторы отличаются большим разнообразием конструктивных схем и исполнений.



Рис. 2.4.9 Дозатор фасовочный для мешков "Big-Bag"

Дозаторы периодического действия отмеривают вещество отдельными порциями определенного веса. У них загружаемая или выгружаемая ёмкость установлена на тензометрических электронных весах, с помощью которых контролируется вес этой емкости. При достижении заданного веса подача вещества прекращается.

В дозаторах непрерывного действия вещество непрерывным потоком поступает через питатель на весоизмерительный транспортер, который измеряет вес поступающего вещества и выдает управляющие сигналы на привод питателя: увеличить или уменьшить расход вещества.

Если провести аналогию с другими видами весоизмерительной техники, то дискретные дозаторы напоминают автомобильные весы для взвешивания в статике, а непрерывные - для взвешивания в движении.

2.4.10 Транспорт твёрдых материалов

К машинам непрерывного транспорта относятся:

- конвейеры;
- установки гидро- и пневмотранспорта (для перемещения грузов в несущей среде).

Основное назначение машин непрерывного транспорта - перемещение грузов по заданной трассе. Одновременно с этим они могут распределять грузы по заданным пунктам, складировать их, накапливая в определённых местах, перемещать по технологическим операциям, обеспечивать необходимый темп производственного процесса.

Конвейеры используются людьми с древнейших времен, их прототипы существовали в Индии, Китае, Месопотамии и Египте за несколько тысячелетий до н.э. Систематическое использование конвейеров началось в конце 18 века, и постепенно, благодаря простоте и производительности, конвейеры стали использоваться практически во всех областях промышленности. С 1880-х изготовление конвейеров в промышленно развитых странах постепенно выделялось в отдельную область машиностроения. Основой системы массового поточного производства в начале XX в. стал сборочный конвейер, создателем которого принято считать американского промышленника, одного из основателей автомобильной промышленности США Генри Форда (1863–1947 гг.).

В современных типах конвейеров сохранились основные конструктивные элементы, которые совершенствовались в соответствии с достижениями науки и техники.

Классификация машин непрерывного транспорта:

- по области применения,
- по способу передачи перемещаемому грузу движущей силы,
- по характеру приложения движущей силы конструкции,
- по роду перемещаемых грузов,
- по назначению и положению на производственной площадке.

В зависимости от области применения различают машины общего назначения и специальные. Машины общего назначения применяют во многих отраслях (например, ленточные конвейеры общего назначения), а специальные - в какой-либо одной отрасли (например, подземные скребковые конвейеры в горной сланцевой промышленности).

По способу передачи движущей силы перемещаемому грузу различают:

- машины, действующие при помощи механического привода (электрического, гидравлического, пневматического);
- самотечные (гравитационные) устройства, в которых груз перемещается под действием собственной силы тяжести;
- устройства пневматического и гидравлического транспорта, в которых движущей силой являются соответственно поток воздуха или струя воды.

По характеру приложения движущей силы и конструкции машины непрерывного транспорта разделяют на:

- машины с тяговым элементом (лентой, цепью, канатом и др.) для передачи движущей силы и без него. Тяговый элемент имеют ленточные, пластинчатые, скребковые, ковшовые, ленточные конвейеры и элеваторы.
- машины без тягового элемента. К ним относятся винтовые, инерционные, роликовые и шаговые конвейеры, а также транспортирующие вращающиеся трубы.

По роду перемещаемых грузов различают машины:

- для транспортирования насыпных материалов (ленточные, пластинчатые, ковшовые, скребковые, винтовые конвейеры, ковшовые элеваторы, транспортирующие трубы);
- для транспортирования штучных грузов (ленточные, пластинчатые, тележечные, люлечные, подвесные, роликовые, шаговые конвейеры, люлечные и полочные элеваторы);
- для транспортирования пассажиров (ленточные и пластинчатые конвейеры, эскалаторы).

По назначению и положению на производственной площадке различают машины: стационарные, подвижные-распределительные, с собственным попеременно возвратным точно фиксированным движением («челноковые»), переставные (переставляемые по мере изменения места выработки в шахте или карьере), переносные и передвижные.

Переносные и передвижные конвейеры относятся к погрузочным машинам, которые включают также заборный элемент - питатель, позволяющий

непосредственно брать насыпной груз из штабеля без применения физического труда рабочих.

Погрузочные машины предназначены для механизации операций погрузки насыпных и штучных грузов в средства железнодорожного, автомобильного, водного и воздушного транспорта, для разгрузочных операций. Передвижные конвейеры отличаются от переносных наличием ходовых колес или гусениц,

Переносные ленточные конвейеры аналогичны стационарным, но по конструктивному исполнению отличаются от них облегченными сборочными единицами, уменьшенными диаметрами барабанов и роликов. Для работы в трюмах судов со штучными грузами применяют переносные пластинчатые конвейеры, составленные из секций длиной 3 ... 6 м. Для создания сложных трасс можно использовать криволинейные секции с углами поворота 45, 60 и 90°.

Современное развитие всех отраслей промышленности, задачи повышения производительности труда и снижения стоимости продукции определяют следующие основные направления развития машин непрерывного транспорта:

- 1) создание конвейеров для бесперегрузочного транспортирования грузов по трассам большой протяженности;
- 2) повышение производительности конвейеров;
- 3) повышение надежности машин и упрощение обслуживания в тяжелых условиях эксплуатации;
- 4) автоматизация управления машинами и создание роботизированных комплексов;
- 5) снижение металлоемкости, массы и уменьшение габаритных размеров машин;
- 6) создание машин, основанных на перспективных методах транспорта (на магнитном и воздушном подвесе грузонесущего элемента);
- 7) улучшение условий труда персонала и производственных рабочих, исключение возможности потерь транспортируемого груза, полная герметизация транспортирующих устройств и изоляция от окружающей среды пылевидных, горючих и химически агрессивных грузов; снижение шума при работе машины.

Свойства сыпучих материалов

В технологических расчетах процессов и аппаратов используют следующие свойства сыпучих материалов:

- гранулометрический состав,
- удельная поверхность,
- порозность.
- пористость.

При проектировании оборудования используются такие свойства материалов как:

- сыпучесть
- абразивность.
- хрупкость,
- самовозгораемость,
- взрывоопасность
- гигроскопичность,
- слеживаемость,
- смерзаемость,
- ядовитость.

Кусковатость (гранулометрический состав) – это количественное распределение частиц груза по крупности.

Однородность размеров частиц насыпного груза определяется коэффициентом k_0 :

$$k_0 = \frac{a_{\max}}{a_{\min}} \quad (2.4.6)$$

где a_{\max} – размер максимальной частицы транспортируемого груза, мм;

a_{\min} – размер минимальной частицы транспортируемого груза, мм.

В зависимости от размеров частиц a_{\max} насыпной груз подразделяется на следующие группы:

- пылевидный (цемент): до 0,05 мм
- порошкообразный (мелкий песок): 0,05–0,49 мм
- зернистый (зерно): 0,5–9 мм
- мелкокусовой (щебень): 10–60 мм
- среднекусовой (уголь): 61–199 мм
- крупнокусовой (руда): 200–500 мм
- особо крупнокусовой (камни, валуны): более 500 мм

Таблица 2.4.1. Распределение насыпных грузов по плотности

Группы грузов	Плотность, т/м ³
Легкие (торф, кокс, мука, древесные опилки)	До 0,6
Средние (зерно, каменный уголь, шлак)	0,6–1,6
Тяжелые (порода, гравий, щебень, песок)	1,6–2,0
Особо тяжелые (руда, камень)	2,0–4,0

Угол естественного откоса груза φ_0 – это угол между образующей конуса из свободно насыпанного груза и горизонтальной плоскостью.

Различают углы естественного откоса груза в покое и в движении $\varphi=0,35 \varphi_0$

Слеживаемость – способность насыпного груза (глина, соль, цемент) терять подвижность при длительном хранении.

Липкость – способность насыпного груза (глина, мел) прилипнуть к твердым телам (особенно во влажном состоянии).

Таблица 2.4.2. Группы подвижности частиц грузов

Подвижность частиц груза	Насыпные грузы	Угол естественного откоса груза в покое φ_0 , град	Расчетный угол естественного откоса груза в движении φ , град
Легкая	Апатит, сухой песок, сухая галька, пылеуголь	30–35	10
Средняя	Влажный песок, каменный уголь, камень, щебень, торф	40–45	15
Малая	Сырая глина, гашеная известь	50–56	20

2.4.11 Виды конвейеров

Ленточный конвейер

Ленточный конвейер - (английски belt conveyor) транспортирующее устройство непрерывного действия с рабочим органом в виде ленты

Первые ленточные транспортеры в истории зафиксированы 1 апреля 1913 года на заводе Генри Форда в Детройте, где каучуковую ленту использовали для сборки автомобилей, за ней закрепилось название «конвейер» (от английского convey – «переправлять»). Эта система обмена деталями уже скоро была задействована на заводах всего мира. А в шахтах на большинстве подземных выработок транспортеры заменили тяжкий труд тысяч рабочих-коногонов и горняков.

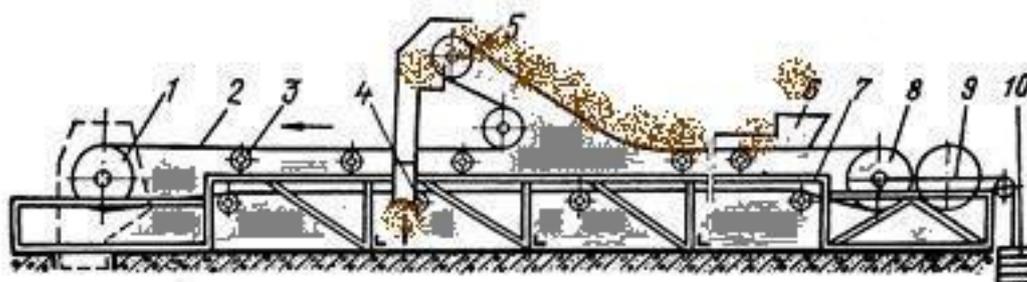


Рис. 2.4.10. Ленточный конвейер:

1 - приводной барабан; 2 - рабочая ветвь ленты; 3 - желобчатая роликовая опора; 4 - прямая роликовая опора; 5 - разгрузочная тележка; 6 - загрузочное устройство; 7 - станина; 8 — натяжной барабан; 9 — стальной трос; 10 — груз

В ленточных конвейерах несущей и тяговыми элементами является гибкая лента. Эти машины применяют для транспортирования материалов на короткие, средние и дальние расстояния (до 30 м). Основное достоинство - высокая производительность до 30 тыс.т/ч. При значительных скоростях движения ленты (до 8 м/с) конвейеры могут иметь сложные трассы с горизонтальными и наклонными (до 20°) участками, а также изгибами в горизонтальной плоскости.

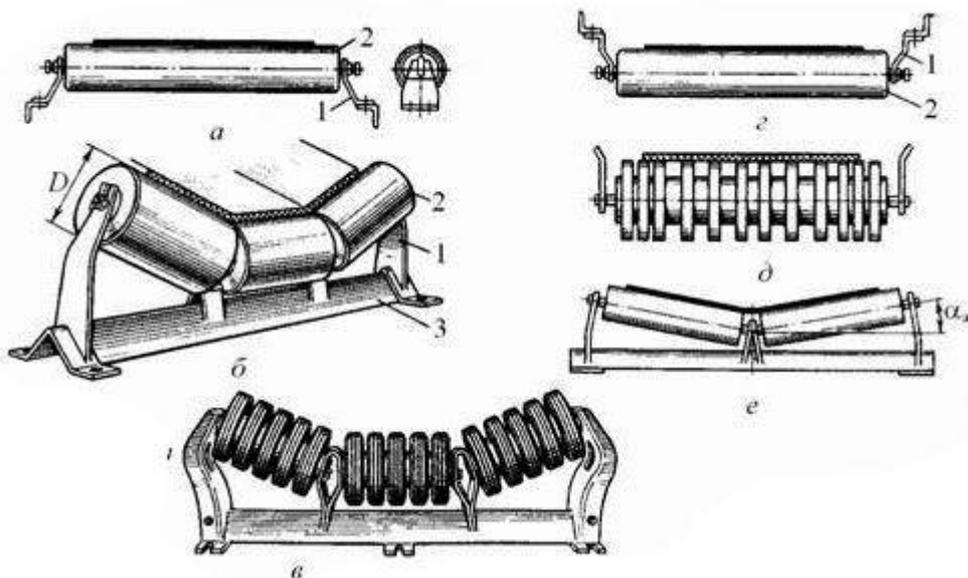


Рис. 2.4.11. Роликоопоры ленточного конвейера:
а, б, в – для верхней ветви: прямая, рядовая, желобчатая, амортизирующая;
г, д, е – для нижней ветви: прямая, дисковая, очистная, желобчатая.

Лента опирается верхней рабочей и нижней холостой ветвями на опорные ролики. На концах лента огибает приводной и натяжной барабаны, необходимое начальное натяжение создается натяжным устройством. Движение передается ленте фрикционным способом от приводящего барабана. Изменение движения ленты обеспечивают отклоняющие барабаны. Сыпучий материал подается через загрузочный бункер, а выгружается в приемный. У приводного барабана снизу устанавливают вращающиеся щетки, для очистки рабочей стороны ленты. Привод конвейера состоит: электродвигатель, редуктор и муфты, для соединения элементов привода с барабанами и между собой. Все элементы монтируются на конструкциях, устанавливаемых на фундамент или без него.

Ленточные конвейеры на воздушной подушке (Рис. 2.4.12). Рабочая ветвь ленты 1 при своем движении опирается на опорное устройство 2, выполненное в виде желоба и снабженное по всей длине прорезью. Холостая ветвь ленты 3 при движении опирается на плоское перфорированное металлическое дно 4, под которым расположена воздухораспределительная коробка 5. В нее нагнетается воздух, который затем проходит через перфорированное дно. Перепад давления под лентой и над ней приподнимает ее, позволяя воздуху двигать дальше через

образовавшийся зазор. То же самое происходит с рабочей ветвью ленты, а воздух, пройдя второй зазор, выходит в атмосферу. При такой схеме трение скольжения ленты желоб заменяется трением ее о воздух. Поэтому создается возможность значительно повысить скорость ленты, не увеличивая при этом ее износ. Увеличение скорости приводит к повышению производительности

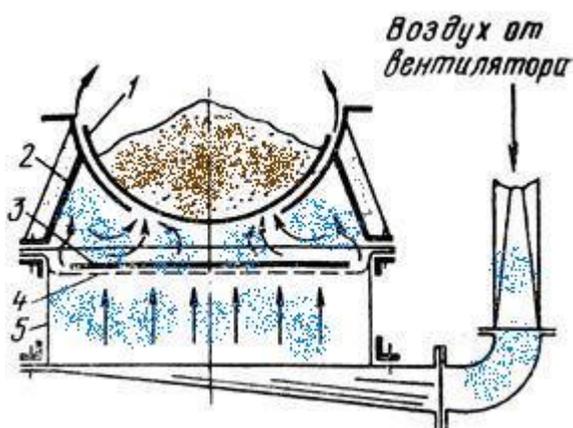


Рис. 2.4.12. Ленточный конвейер на воздушной подушке

конвейера при одновременном уменьшении затрат энергии на собственно транспортирование. Проектный расчет ленточного конвейера сводят к выбору типа ленты и роликовых опор, расчету мощности электродвигателя, выбору элементов приводного устройства, расчету натяжного устройства. При движении ленты по прямым роликовым опорам площадь поперечного сечения груза определяется как площадь равнобедренного треугольника с основанием $b = 0,8 B$ и углами φ_1 при основании. Если бы груз лежал на неподвижной ленте, то угол при основании был бы равен углу естественного откоса, т.е. $\varphi_1 = \varphi$. Однако при движении из-за неизбежных колебаний ленты груз как бы «растекается», его сечение на ленте уменьшается. Практикой установлено, что для определения сечения груза на движущейся ленте следует принимать $\varphi \approx 10,35\varphi$.

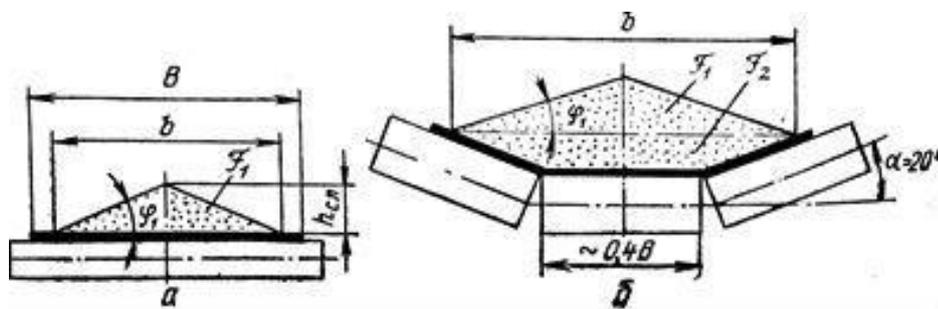


Рис. 2.4.13. Сечение сыпучего груза на ленточном конвейере. а - при прямых роликовых опорах; б - при желобчатых опорах.

При наличии в месте загрузки наклонного участка коэффициент C_n , учитывает уменьшение площади поперечного сечения слоя груза в результате рассыпания и уменьшения его расчетной высоты.

Принимают следующие значения коэффициента C_n в зависимости от углов наклона трассы:

Угол наклона, град	0-10	10-15	15-20	20-25
Коэффициент C_n	1,00	0,95	0,90	0,85

Пластинчатые конвейеры

Пластинчатые конвейеры предназначены для перемещения в горизонтальной плоскости или с небольшим наклоном (до 35°) тяжелых (500 кг и более) штучных грузов, крупнокусковых, в том числе острокромчатых материалов, а также грузов, нагретых до высокой температуры. Пластинчатые конвейеры, стационарные или передвижные, имеют те же основные узлы, что и ленточные.

Горизонтальный пластинчатый конвейер (рис. 2.4.14.) состоит из двух тяговых пластинчатых цепей 2, к которым крепят металлические пластины 3 настила, снабженные бортами. Цепи с закрепленным на них настилом снабжены ходовыми катками 4, которые перемещаются по продольным направляющим шинам 5. Они опираются на станину 6 и жестко с ней связаны.

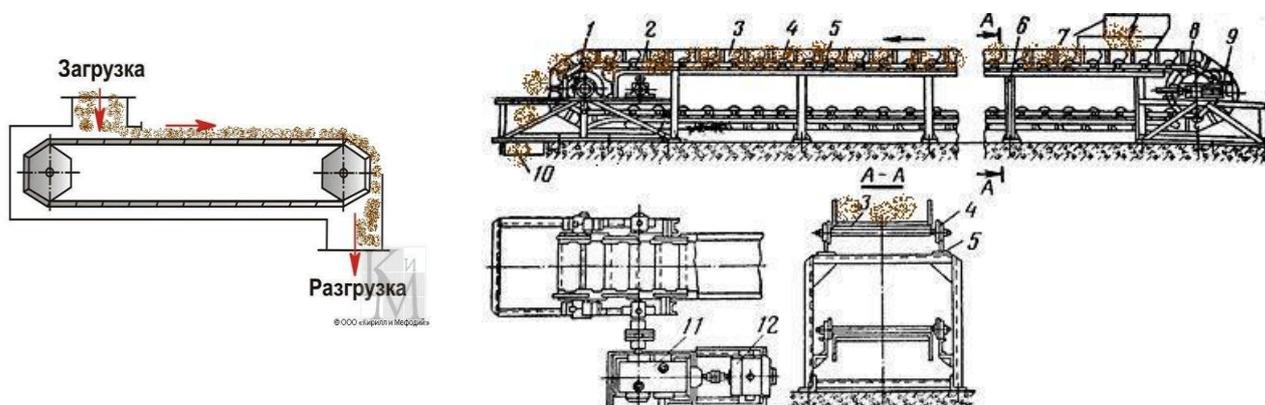


Рис. 2.4.14. Горизонтальный пластинчатый конвейер:

- 1 - приводная звездочка; 2 - цепь; 3 - пластина; 4 - каток; 5 - направляющая шина; 6 - станина; 7 - загрузочная воронка; 8 - натяжная звездочка; 9 - натяжное устройство; 10 - разгрузочная воронка; 11 - редуктор; 12 - электродвигатель.

На концах станины закреплены приводные звездочки 1, соединенные муфтами с редуктором 11 и электродвигателем 12, и натяжные звездочки 8 с винтовым натяжным устройством 9. Конвейер загружают через воронку 7, а разгружают через концевую звездочку и воронку 10.

Грузонесущий орган - металлический, пластмассовый настил-полотно, состоящий из отдельных пластин, прикрепленных к одной или двум тяговым цепям (втулочно-роликовым). Настил может быть плоским, волнистым или коробчатого сечения, без бортов или с бортами. Различают пластинчатые конвейеры общего назначения (основной тип) и специальные (конвейер с пространственной трассой, пассажирские эскалаторы и др.).

Пластинчатые транспортеры применяются для перемещения материала на расстояние до 150 м. Если на пластинах поставлены поперечные перегородки, то угол наклона ленты к горизонту может достигать 30—45°. Скорость движения ленты принимается в пределах 0,2—0,6 м/сек.

Пластинчатые транспортеры дороже ленточных и применяются при перемещении крупнокусковых материалов или материалов, имеющих высокую температуру, а

также при перемещении под большим углом, то есть в тех случаях, когда ленточные транспортеры неприменимы.

Роликовые конвейеры

Роликовые конвейеры служат для перемещения штучных грузов с плоской, ребристой или цилиндрической поверхностью. На неподвижных осях рамы конвейеров в подшипниках вращаются ролики.

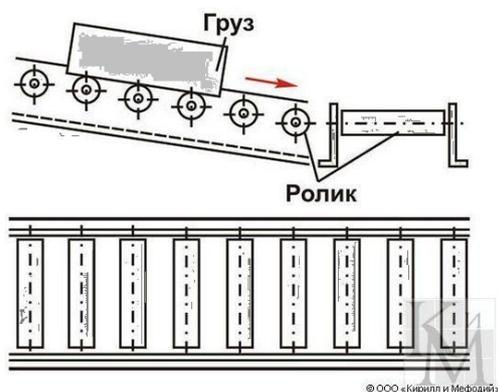


Рис. 2.4.15. Роликовый конвейер

Длина ролика должна быть несколько больше ширины или диаметра груза, а расстояние между роликами несколько меньше половины длины груза. Мелкие грузы со сложной конфигурацией перемещают на таком конвейере в ящиках или на поддонах.

Роликовые конвейеры бывают двух типов: гравитационные и приводные.

В гравитационных конвейерах, устанавливаемых с уклоном в $2\text{—}5^\circ$, ролики свободно вращаются под действием силы тяжести перемещаемого груза. В приводных конвейерах ролики имеют групповой привод от двигателя.

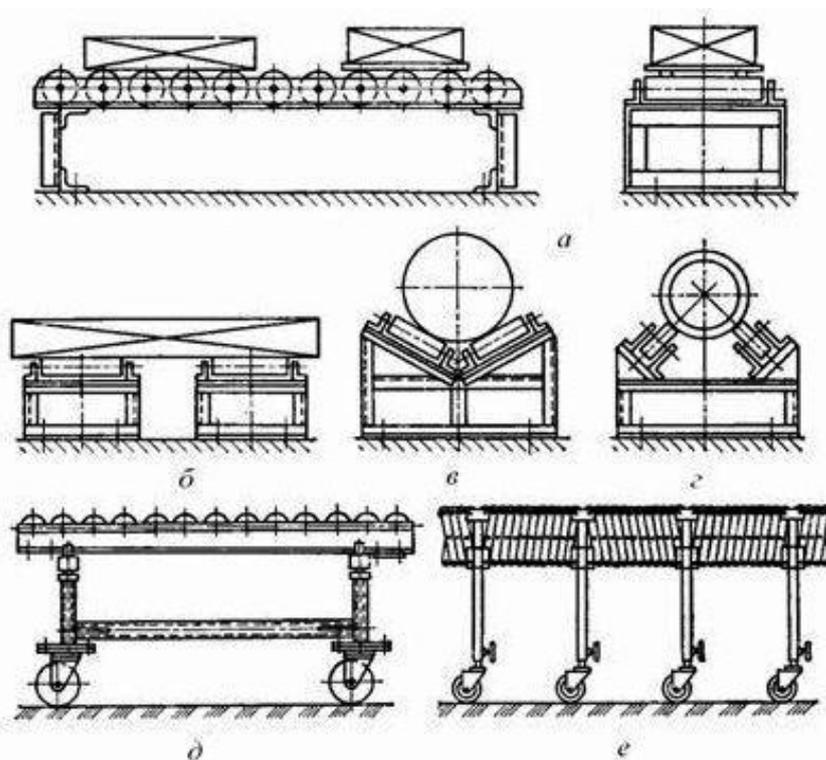


Рис. 2.4.16. Неприводные роликовые конвейеры: А - стационарный однорядный; б - стационарный раздельный сдвоенный; в – сдвоенный с наклонными роликами для цилиндрических грузов; г - с наклонными роликами (дисками) для труб; д - передвижной; е - передвижной раздвигающийся.

Такие конвейеры применяют, когда нужно обеспечить постоянную скорость движения грузов, перемещать их в строго горизонтальной плоскости или поднимать под некоторым углом.

К недостаткам рольгангов относятся: невысокая производительность, нестабильность скорости движения, возможность остановки и самопроизвольного сбрасывания грузов, необходимость восстановления потерянной на наклонной трассе высоты.

Скребковые конвейеры

Конвейеры со сплошными высокими скребками

Такие конвейеры состоят из тягового элемента 2 с прикрепленными к нему скребками 3. Груз, подаваемый в желоб 7, захватывается скребками и перемещается к разгрузочным устройствам 6 (их может быть несколько, если необходима разгрузка в промежуточных точках).

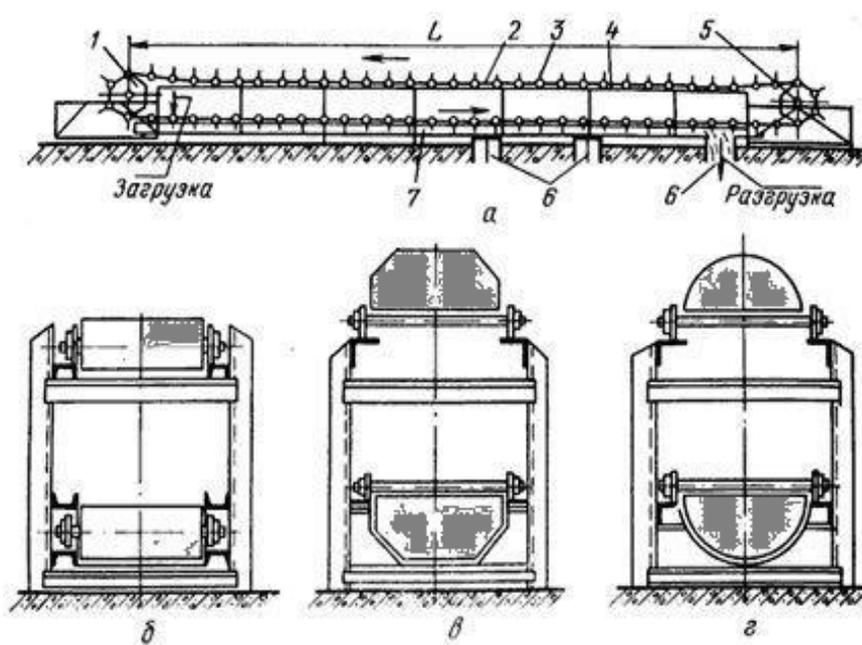


Рис. 2.4.17. Конвейер с высокими сплошными скребками:
 а - общий вид: 1 - натяжное устройство; 2 - тяговый элемент; 3 - скребок; 4 - направляющая шина; 5 - приводное устройство; 6 - разгрузочные устройства; 7 - желоб;
 б - разрез конвейера со скребками прямоугольной формы;
 в - то же, трапециевидальной формы; г - то же, полукруглой формы.

Тяговый элемент перемещается на ходовых роликах по направляющим шинам 4 и огибает приводные и натяжные звездочки. Рабочей является нижняя ветвь тягового элемента. Однако в зависимости от схемы и назначения конвейера рабочей могут быть и верхняя ветвь тягового элемента или сразу обе ветви. Скребковый конвейер с высокими скребками может перемещать груз в горизонтальном, наклонном, наклонно-горизонтальном и горизонтально-наклонном направлениях. Угол наклона обычно не превышает 35° .

Основное отличие рассматриваемых конвейеров от скребковых других типов — это размеры и форма скребка. Она может быть прямоугольной, трапециевидальной и полукруглой. Тяговым элементом обычно служат пластинчатые катковые цепи. Желоб сварной или штампованный, из листовой стали толщиной 4...5 мм. В поперечном сечении он повторяет форму скребка, причем зазоры между скребками и желобом не превышают 3...5 мм. Для натяжения тягового элемента используют винтовые или пружинно-винтовые устройства. Скребковые конвейеры по сравнению с пластинчатыми имеют меньшую массу, могут загружаться и разгружаться в любой точке по всей длине желоба.

Конвейер со сплошными низкими скребками

Основное отличие от конвейера со сплошными высокими скребками заключается в форме скребков 1, а также в форме поперечного сечения желоба 2, который обычно полностью закрывает и нижнюю (рабочую), и верхнюю (холостую) ветви тягового элемента. Нижняя рабочая ветвь, скользя по дну желоба, увлекает за собой весь слой груза.

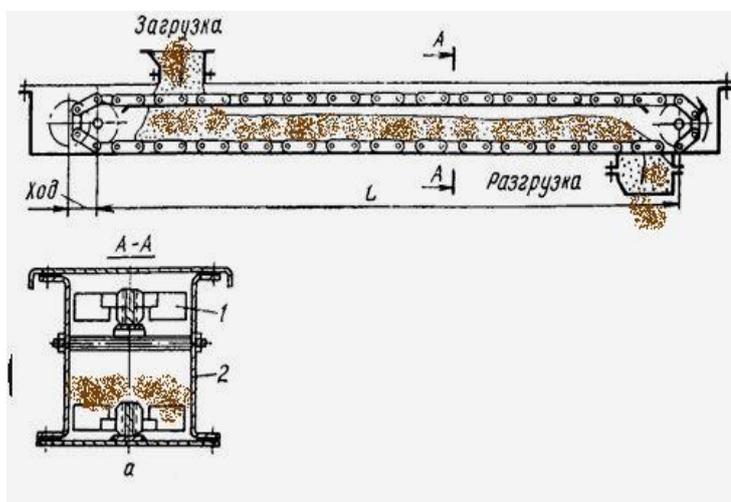


Рис. 2.4.18. Конвейер со сплошными низкими скребками

Применение скребковых конвейеров ограничено из-за измельчения грузов и быстрого износа желоба, особенно при перемещении абразивных материалов. Кроме того, для скребковых конвейеров характерен большой расход энергии, затрачиваемой на преодоление вредных сопротивлений. Разновидности скребковых конвейеров - трубчатые и с погруженными скребками.

Винтовые конвейеры

Винтовые конвейеры служат для перемещения пылевидных и мелкокусковых грузов в горизонтальной или наклонной (до 20°) плоскостях, реже в вертикальной плоскости (конвейеры с быстро вращающимися винтами). Конвейер имеет металлический закрытый желоб, внутри которого вращается вал с лопастями, расположенными по винтовой линии.

Лопасты могут быть сплошными (для легкосыпучих грузов), ленточными (для влажных и кусковых грузов) и в виде отдельно укрепленных на валу лопаток (для липких и слеживающихся грузов). При вращении винта лопасти проталкивают груз вдоль желоба

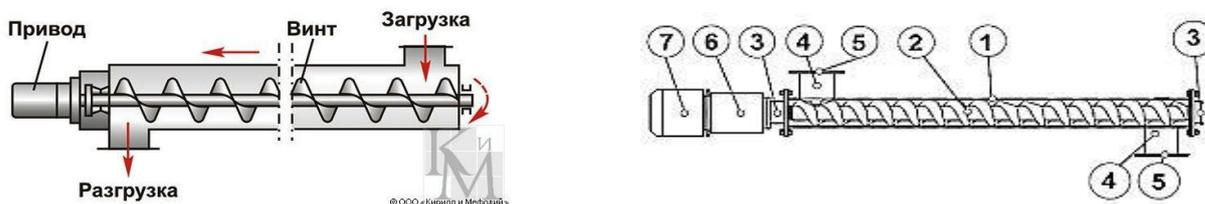


Рис. 2.4.19. Схема винтового конвейера
1-корпус , 2-винт, 3-подшипниковые опоры , 4- загрузочное и разгрузочное отверстие , 5 - присоединительные фланцы , 6- редуктор, 7- приводной электродвигатель.

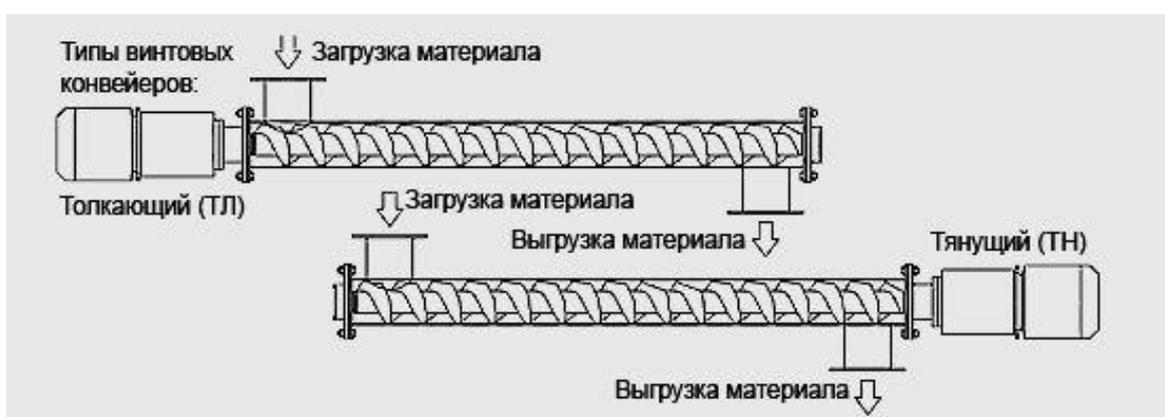


Рис. 2.4.20. Типы винтовых конвейеров

В зависимости от требований установки винтового конвейера (шнека) в составе технологических линий привод подающего винта может быть выполнен как по толкающей, так и по тянущей схеме.

Винтовые конвейеры просты по конструкции, удобны в эксплуатации, особенно при транспортировке пылящих грузов. Однако лопасти и желоб сравнительно быстро изнашиваются, груз измельчается и истирается, кроме того, требуется повышенный расход энергии.

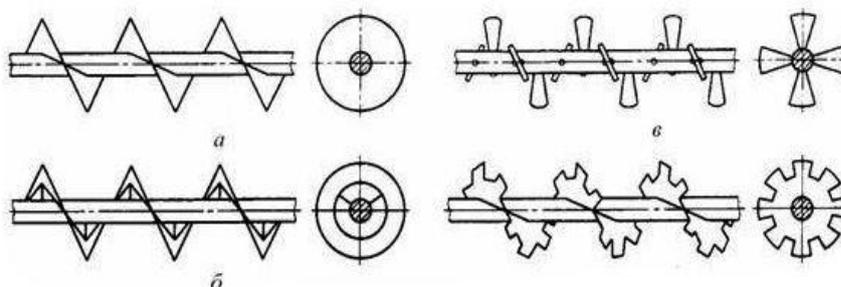


Рис. 2.4.21. Конструктивное исполнение винта:
а – сплошной полнотенный; б – ленточный; в – лопастный; г – фасонный

Винтовые транспортеры изготавливаются с диаметром винта 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400, 500 и 600 мм. Шаг винта s принимается в пределах 0,5— 1,0 диаметра

винта D, причем меньшие значения берутся для тяжелых, крупных и истирающих материалов, а большие - для сыпучих и легкоподвижных.

Недостатками винтовых транспортеров являются: высокий расход энергии, значительный износ стенок желоба и поверхности винта, истирание перемещаемого материала.

К достоинствам винтовых транспортеров относятся: компактность, простота и дешевизна устройства и обслуживания, герметичность. Последнее особенно важно при перемещении токсичных и пылящих материалов.

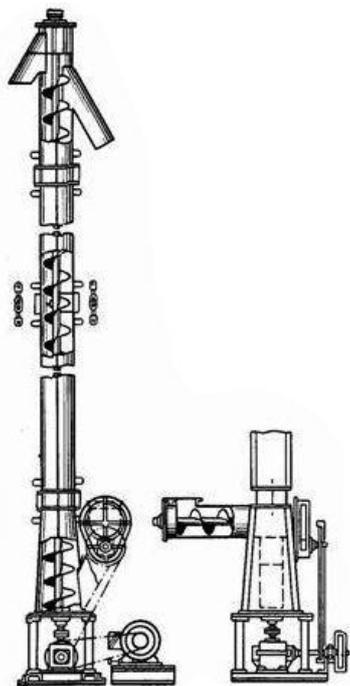


Рис. 2.4.22. Вертикальные винтовые конвейеры

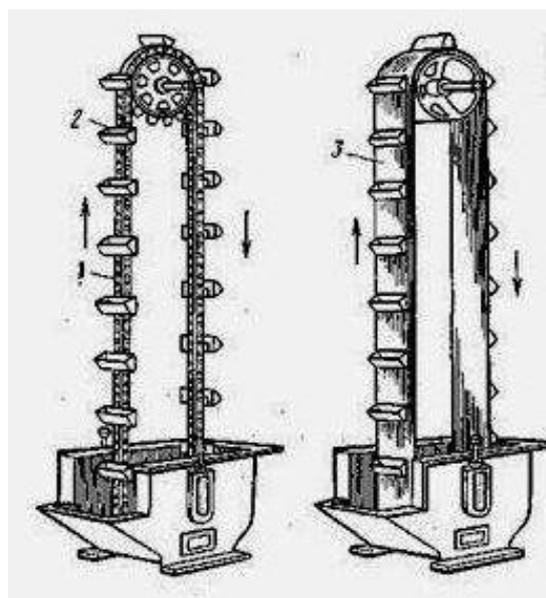


Рис. 2.4.23. Элеваторы: 1 - цепь, 2 - ковш, 3 - лента

Элеваторы

Элеваторы - это конвейеры для транспортирования грузов в ковшах, жестко прикрепленных к тяговому элементу, в вертикальном или крутонаклонном направлении. Элеваторы состоят из вертикального короба, внутри которого перемещается бесконечная цепь или лента с равномерно закрепленными на ней грузовыми ковшами или грузоприемными площадками. Элеваторы способны поднимать грузы на высоту до 50 м при производительности до 400 м³/ч. Преимуществами ковшовых элеваторов являются: малые габаритные размеры в плане; большая высота подачи груза (60–75 м); большой диапазон производительности (5–500 м³/час); широкий ассортимент транспортируемых грузов. К недостаткам ковшовых элеваторов относятся: возможность отрыва ковшей при перегрузках; необходимость равномерной подачи груза.

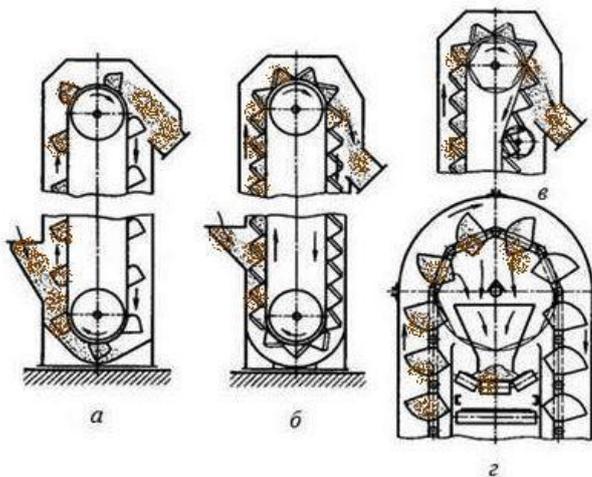


Рис. 2.4.24. Схемы загрузки и разгрузки ковшовых элеваторов:
 а - загрузка зачерпыванием, разгрузка под действием центробежной силы; б - загрузка засыпанием в ковши, разгрузка самотечная направленная; в - самотечная свободная разгрузка; г - центральная разгрузка.

Основными параметрами ковшовых элеваторов являются:

- производительность Q ;
- ширина ковша 100–1000 мм;
- шаг ковшей 160–800 мм;
- скорость 0,4–2,5 м/с;
- высота подъема;
- мощность приводного двигателя (кВт).

Качающиеся конвейеры

Качающимися называют конвейеры, в которых вследствие возвратно-поступательного (колебательного) движения желоба находящийся в нем груз совершает по дну следующие друг за другом короткие перемещения вперед с определенной скоростью. Колебательное движение желобу сообщается вибратором.

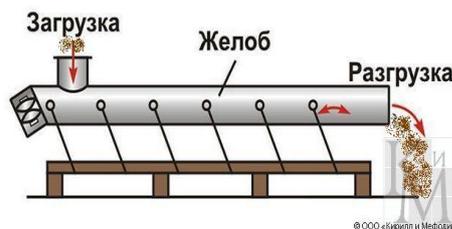


Рис. 2.4.25. Качающийся конвейер

В простейшем качающемся конвейере желоб находится на упругих стойках, жестко закрепленных на опорной раме под некоторым углом к вертикали. Кривошипный механизм с приводом от электродвигателя сообщает желобу переменные по направлению движения. Желоб при движении вперед немного поднимается, а при движении назад опускается (качается). При этом меняется давление груза на желоб. При движении желоба назад груз скользит по нему вперед, продвигаясь на некоторое расстояние.

Наиболее оптимальная область применения — герметичное транспортирование пылящих, горячих (температура не более 500), ядовитых и химически агрессивных насыпных грузов.

Пылевидные грузы транспортируют в трубах прямоугольного сечения, зернистые и кусковые — в желобах (ширина 125 ... 1600 мм, высота 80 ... 400 мм) и трубах.

Пневматический транспорт

Пневматический транспорт (англ. Pneumatic transport) - вид транспорта, предназначенный для перемещения различных сыпучих материалов и штучных грузов по транспортным коммуникациям (трубопроводы, пневматические желоба и лотки) за счёт использования энергии газообразной несущей среды (воздух, пар, различные газы). Пневмотранспорт является одним из прогрессивных способов механизации и автоматизации перемещения насыпных грузов. Этот вид транспорта нашел применение практически во всех отраслях промышленности, например, в угольной и горнорудной - для транспортирования в шахты крупнокусковых материалов, а также для доставки полезных ископаемых из карьеров на обогатительных фабрики.

Работа установок пневматического транспорта складывается из трех основных последовательно протекающих процессов:

- всасывание сыпучих материалов;
- транспортирования по трубопроводам;
- отделение сыпучих материалов от воздуха.

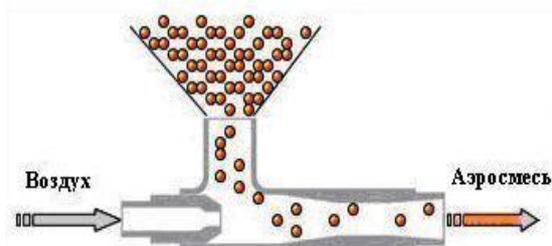


Рис. 2.4.25 Схема пневмотранспорта

Все эти процессы должны быть взаимосвязаны расчетным путем. Применение пневмотранспортных установок для погрузки, разгрузки и перемещения таких твердых сыпучих материалов позволяет значительно повысить производительность труда, ликвидировать запыление и загрязнение материалов в пути, полностью механизировать процесс загрузки и выгрузки, создать условия для автоматизации транспортных процессов.

Установки пневматического транспортирования выгодно отличаются:

- отсутствием движущихся частей, возможностью применения труб небольшого диаметра, прокладываемых по любой пространственной трассе на значительные расстояния при высокой производительности;
- низкой металлоемкостью и простотой в эксплуатации;
- высоким уровнем автоматизации процесса транспортировки; созданием комфортных условий в помещениях из-за герметичности и бесшумности системы.

Недостатками пневматического транспорта являются большой удельный расход воздуха и высокая энергоемкость процесса (1...5 кВт-ч/т), а также повышенный

износ элементов оборудования при транспортировании абразивных материалов. Однако повышенная энергоемкость пневмотранспортных установок в значительной степени компенсируется перечисленными преимуществами. По принципу действия пневмотранспортные установки для сыпучих продуктов делятся на:

- транспортирующие груз в потоке воздуха по трубам во взвешенном состоянии;
- транспортирующие груз методом аэрации, то есть насыщения воздухом сыпучего продукта, приобретающего при этом свойства жидкости (псевдооживление) и текущего по наклонному желобу под действием гравитационных сил (аэрожелоб);
- транспортирующие груз по методу флюидизации, когда насыщенный воздухом сыпучий материал приобретает высокую подвижность, обеспечивающую возможность перемещения продукта по трубам под действием давления сжатого воздуха (пневматический подъемник — аэролифт).

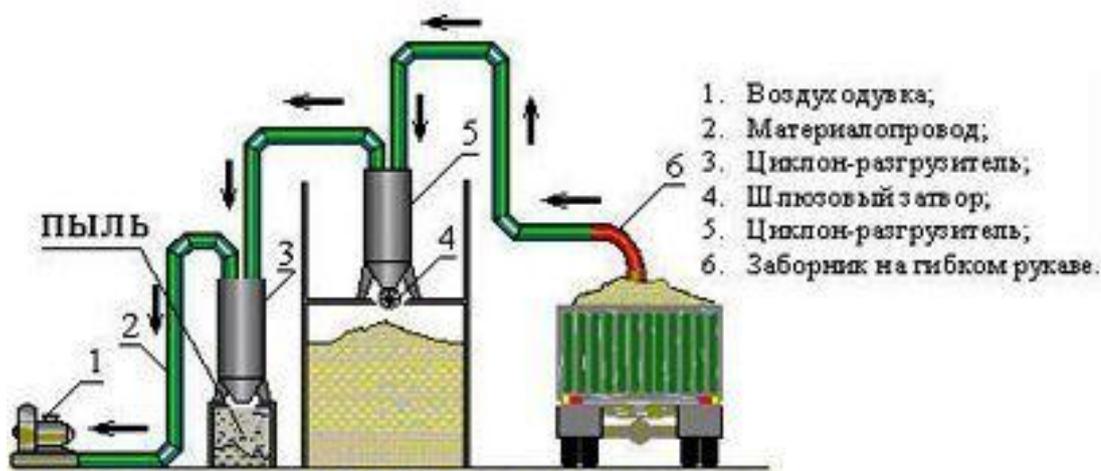


Рис. 2.4.26. Всасывающая пневмотранспортная установка

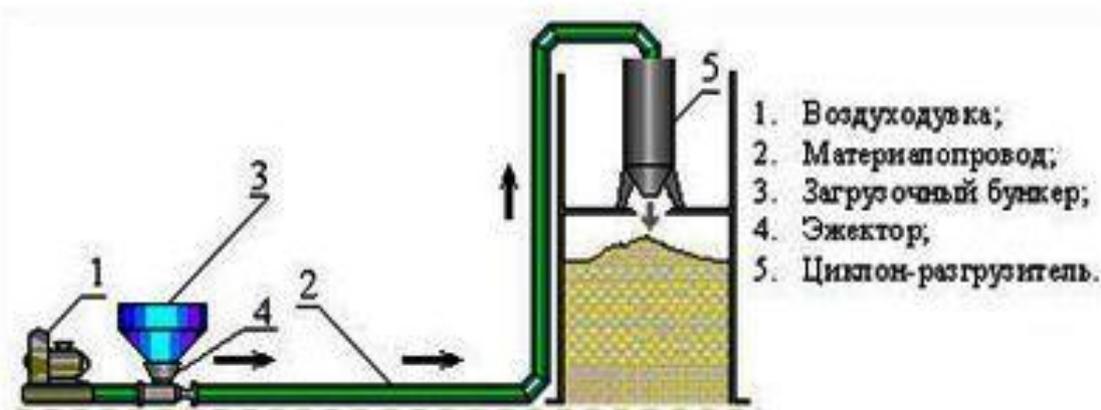


Рис. 2.4.27 Нагнетательная пневмотранспортная установка

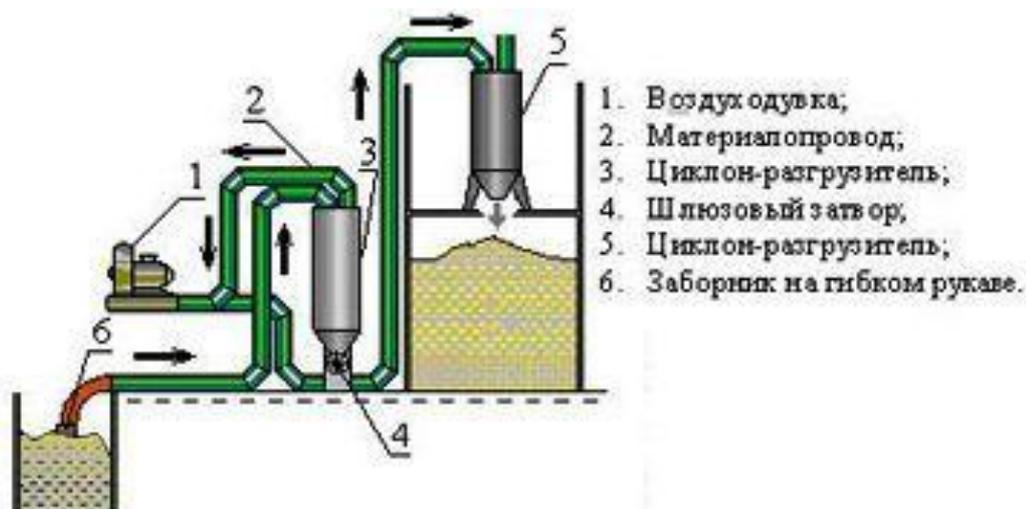


Рис. 2.4.28. Комбинированная пневмотранспортная установка

В зависимости от разрежения в конце транспортной системы всасывающие установки подразделяют на установки с низким остаточным давлением (до 0,01 МПа), средним (до 0,03 МПа) и высоким (до 0,09 МПа).

Нагнетающие установки различают по величине давления в начале транспортной сети: установки низкого давления (до 0,11 МПа), установки среднего (до 0,2 МПа) и высокого (до 0,9 МПа) давления. Нагнетательные установки удобны тогда, когда материал из одного пункта перемещается в несколько приемных пунктов.

Всасывающие установки удобны тем, что они работают без пылевыделения и способны забирать сыпучий материал из нескольких пунктов и передавать его в единый сборник-накопитель. В них используется вакуум (40-90 кПа). Всасывающе-нагнетательные установки сочетают основные преимущества нагнетательных и всасывающих установок.

Каждая пневмотранспортная установка включает в себя следующие основные узлы: **питатель** - устройство для ввода материала или аэроsmеси в трубопроводы, системы воздухопроводов и материалопроводов, **разгрузители с фильтром для воздуха, воздуходвигательную машину и приемник материала.**

Конструкции питателей нагнетающих и всасывающих пневматических установок различны. Питатель всасывающей установки выполняет функцию загрузочного устройства для подачи материала в движущуюся струю воздуха, а питатель нагнетающей установки предназначен для создания аэроsmеси надлежащей концентрации.

Загрузочные устройства для всасывающих установок делятся на две группы: всасывающие сопла и питатели тройники.

Питатели нагнетающих пневмотранспортных установок имеют более разнообразные конструкции. Шлюзовые и шахтные затворы применяют в установках низкого давления; шлюзовые питатели - в установках среднего давления, камерные пневмонасосы и винтовые (шнековые) питатели - в

установках высокого давления. Винтовые питатели используются так же в установках среднего давления.

Разгрузочные устройства предназначены для выделения материала и пыли из пневмопотока и направления его для дальнейшего транспортирования или переработки.

Надежность и эффективность работы пневмотранспортной установки в значительной мере зависит от правильного выбора материалопроводов. Материалопроводы должны быть герметичны, износоустойчивы, иметь по возможности максимально гладкую внутреннюю поверхность для обеспечения минимального сопротивления движению аэросмеси.

В пневмотранспортных установках низкого давления материалопроводы, как и воздухопроводы систем аспирации, изготавливают из тонколистовой черной, оцинкованной и нержавеющей стали и дюрала или из тонкостенных труб; в установках среднего и высокого давления используют в основном остальные бесшовные трубы.

Возможно применение материалопроводов из винипласта и полиэтилена, органического и неорганического стекла ограничена, поскольку использование неметаллических материалов влечет за собой конструктивное усложнение системы в целом: при перемещении по ним аэросмеси возникают значительные по величине электрические заряды, и поэтому требуется специальная сложная система заземления.

В пневмотранспортных установках применяют разнообразные воздуходувные машины - от центробежных вентиляторов до двухступенчатых поршневых компрессоров.

Выбор того или иного типа воздуходувной машины зависит от количества транспортирующего и требуемого по гидравлическому расчету давления:

- для всасывающих установок с низким вакуумом целесообразно применять центробежные вентиляторы, со средним вакуумом - воздуходувки, с высоким - водокольцевые вакуум-насосы;
- для нагнетающих установок низкого давления следует устанавливать центробежные вентиляторы или воздуходувки, для установок среднего давления воздуходувки или вакуум-насосы, для установок высокого давления - компрессоры.

Окончательно тип и серию воздуходувной машины выбирают, сопоставляя рабочие характеристики этих машин с характеристиками сети при оптимальных для этой транспортной системы параметрах работы машины.

2.4.12 Контрольные вопросы по теме «Оборудование для транспортировки твердых материалов»

- Перечислить основные классификационные признаки транспортных машин.
- Назвать основные способы перемещения грузов на транспортных машинах.
- Перечислить и дать определение основным свойствам сыпучих и штучных грузов.
- На какие группы классифицируется насыпной груз?
- Назначение ленточных конвейеров, области их применения, устройство и принцип действия.
- Общее устройство и области применения пластинчатых конвейеров, их достоинства и недостатки
- Устройство, особенности конструкции и области применения специальных пластинчатых конвейеров.
- Основные типы роликовых конвейеров, способы перемещения грузов на неприводных и приводных роликовых конвейерах.
- Устройство, назначение и основные параметры скребковых конвейеров.
- Основные типы и области применения винтовых конвейеров, их преимущества и недостатки.
- Общее устройство, классификация, назначение и области применения элеваторов.

2.5 Мешалки

Процесс перемешивания широко применяется в химической технологии для получения суспензий, эмульсий и смесей твердых компонентов, а также для интенсификации тепло- и массообмена в различных технологических процессах. Перемешивание используется также в реакторах для проведения химических реакций в гомогенных и в гетерогенных средах. К последним можно отнести огромное многообразие процессов — газо-жидкостные и химические реакции на твердых катализаторах, в экстракторах, абсорберах, кристаллизаторах.

При изучении темы следует обратить внимание на конструкции мешалок используемых в химической технологии, определение мощности на перемешивание и оптимального числа оборотов мешалки, соответствующего эффективному перемешиванию.

Перемешивание - процесс придания однородности путём смещения слоев относительно друг другу перемешиваемых компонентов. Перемешивание - гидромеханический процесс перемещения частиц в жидкой среде с целью их равномерного распределения во всем объеме под действием импульса, передаваемого среде механическим устройством, струей жидкости или газа. Движущая сила процесса обусловлена разностью плотностей компонентов. Для перемешивания применяются механический, пневматический и гидравлический способы. Наибольшее распространение получил способ перемешивания с применением механических мешалок.

Механическое перемешивание производится в аппаратах, носящих общее название аппаратов с мешалками.

Перемешивание способствует:

- увеличению скоростей в пристенных слоях жидкости, и, следовательно, интенсификации теплообмена, взвешиванию частиц твердой фазы с дна аппарата и устранению различных отложений на его стенках;
- росту скоростей сдвига в жидкости и, следовательно, улучшению условий диспергирования газа или несмешивающейся со сплошной фазой жидкости;
- увеличению межфазной площади поверхности и интенсивности массообмена между сплошной и дисперсной фазами;
- росту циркуляционных потоков и, как следствие, выравниванию концентраций растворенного вещества или дисперсной фазы во всем объеме аппарата.

Наибольшее распространение химической промышленности получило перемешивание с введением в перемешивающую среду механической энергии из внешнего источника.

Механическое перемешивание осуществляется с помощью мешалок, которым

сообщается вращательное движение либо непосредственно от электрического двигателя, либо через редуктор или клиноременную передачу.

Традиционный вид аппаратов с перемешивающими устройствами вертикальный цилиндрический сосуд, ось симметрии которого совпадает с осью вращения мешалки.

Мешалки устанавливают в сосудах прямоугольной или цилиндрической формы с плоским, коническим или эллиптическим дном.

Иногда мешалкой называют весь сосуд, который может быть как открытый, так и закрытый с устройствами для обогрева или охлаждения или без них.

Конструкция перемешивающего устройства должна отвечать следующим условиям:

- высота установки мешалки над дном аппарата при $D/d_m > 1,5$ должна быть в пределах $(0,4 \div 1,0) d_m$, но не выше $H / 2$;
- при $D/d_m \leq 1,5$ - в пределах $(0,5 \div 5,0)(D - d_m)$, но не выше $D / 4$.

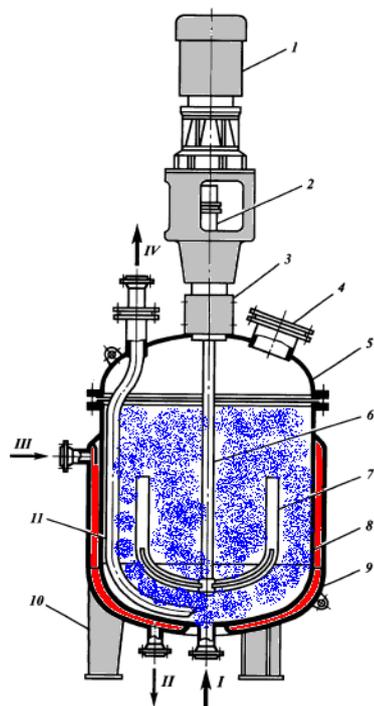


Рис. 2.5.1. Конструкция реактора с якорной мешалкой: 1 - мотор-редуктор; 2 - муфта; 3 - уплотнение; 4 - люк; 5 - крышка; 6 - вал; 7 - якорное перемешивающее устройство; 8 - корпус; 9 - рубашка; 10 - опора; 11 - труба передавливания.

Потоки: I - вход сырья; II - выход теплоносителя (хладагента); III - вход теплоносителя (хладагента); IV - выход продукта.

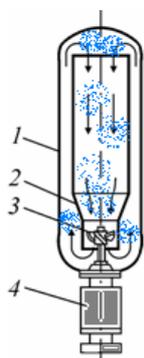


Рис. 2.5.2. Схема аппарата с циркуляционной трубой и экранированным электродвигателем: 1 - корпус; 2-циркуляционная труба; 3- мешалка; 4 - экранированный электродвигатель

Приводы мешалок обычно устанавливают на крышках аппаратов. Если на крышке сосуда или над ней места недостаточно, то привод располагают под сосудом. При перемешивании токсичных, взрыво- и пожароопасных веществ при повышенных давлениях в качестве привода используются экранированные электродвигатели. Корпус аппарата обычно имеет вытянутую форму, внутри корпуса устанавливается направляющая циркуляционная труба.

Мешалка является рабочим элементом устройства, закрепляемым на вертикальном, горизонтальном или наклонном валу. По типу создаваемого мешалкой потока жидкости в аппарате различают мешалки, обеспечивающие преимущественно **тангенциальное, радиальное и осевое течения**.

При **тангенциальном течении** жидкость в аппарате движется преимущественно по концентрическим окружностям, параллельным плоскости вращения мешалки. Перемешивание происходит за счет вихрей, возникающих на краях мешалки. Качество перемешивания будет наихудшим, когда скорость вращения жидкости равна скорости вращения мешалки.

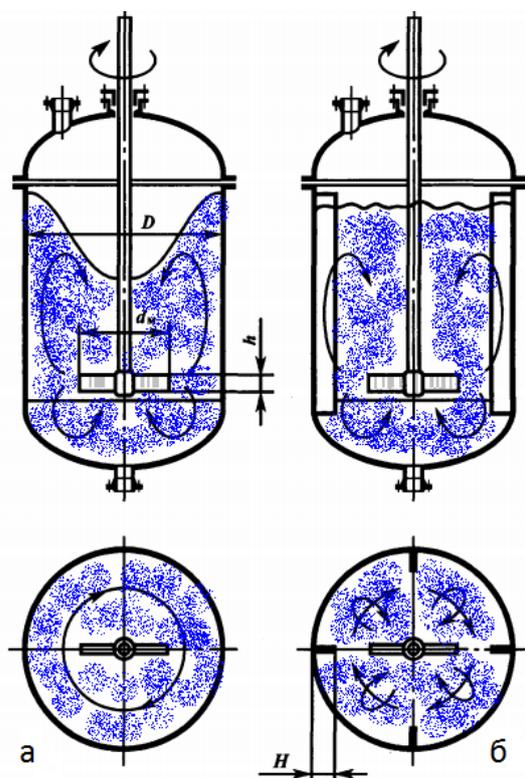


Радиальное течение характеризуется направленным движением жидкости от мешалки к стенкам аппарата перпендикулярно оси вращения мешалки.

Осевое течение жидкости направлено параллельно оси вращения мешалки.

Рис. 2.5.3. Течения жидкостей, создаваемые мешалками.

В промышленных аппаратах с мешалками возможны различные сочетания этих основных типов течения. Тип создаваемого потока, а также конструктивные особенности мешалок определяют области их применения. При высоких скоростях вращения мешалок перемешиваемая жидкость вовлекается в круговое движение и вокруг вала образуется воронка, глубина которой увеличивается с возрастанием числа оборотов и уменьшением плотности и вязкости среды.



Для предотвращения образования воронки в аппарате помещают отражательные перегородки, которые, кроме того, способствуют возникновению вихрей и увеличению турбулентности системы. Образование воронки можно предотвратить и при полном заполнении жидкостью аппарата, т. е. при отсутствии воздушной прослойки между перемешиваемой жидкостью и крышкой аппарата, а также при установке вала мешалки эксцентрично к оси аппарата или применении аппарата прямоугольного сечения.

Рис. 2.5.4. Схема потоков жидкости в аппарате с мешалкой:

а - без отражательных перегородок; б - с отражательными перегородками

применении аппарата прямоугольного сечения.

Помимо этого, отражательные перегородки устанавливают во всех случаях при перемешивании в системах газ—жидкость.

Процесс перемешивания в гидродинамическом отношении сводится к внешнему обтеканию твердых тел потоком набегающей жидкости.

Лопастные мешалки при вращении выполняют работу, связанную с преодолением сопротивления сил инерции и сил трения перемешиваемой жидкости.

Удельное значение этих сил различно в пусковой и рабочей периоды работы мешалки. При пуске мешалки ее лопасти встречают особенно большое сопротивление со стороны жидкости, инерцию массы которой необходимо преодолеть. По мере приведения жидкости в движение работа мешалки все больше затрачивается на преодоление внутренних сопротивлений в жидкости (трения, вихревых движений, ударов жидкости о стенки и т. д.), поэтому пусковая мощность всегда превышает рабочую.

Эффективность перемешивания обеспечивается выбором параметров аппарата, перемешивающего устройства, числа оборотов мешалки, обеспечивающих равномерность концентрации смеси в аппарате с заданной интенсивностью (т.е. за заданное время).

Классификация мешалок по скорости вращения:

- **Быстроходные** - окружная скорость ~ 10 м/с. Работают в турбулентном режиме. Это лопастные, пропеллерные, турбинные мешалки.
- **Тихоходные** – окружная скорость ~ 1 м/с. Работают в ламинарном режиме. Это якорные, рамные мешалки.

2.5.1 Лопастные мешалки

Лопастными мешалками называются устройства, состоящие из двух или большего числа лопастей прямоугольного сечения, закрепленных на вращающемся вертикальном или наклонном валу. К лопастным мешалкам относятся также и некоторые мешалки специального назначения: якорные, рамные и листовые.

Лопастные мешалки создают в аппаратах тангенциальные и радиальные потоки, применяются для перемешивания взаимнорастворимых маловязких жидкостей (< 0.5 Па*с), суспензирования легких осадков, медленного растворения кристаллических веществ. Основные параметры: $d = 80-2500$ мм, $h/d = 0.1$, критерий гидродинамического подобия $D/d = 1.5-2.5$, частота вращения $n = 15-80$ 1/мин, коэффициент гидравлического сопротивления $\xi = 0.88$.

К их достоинствам можно отнести простоту и низкую стоимость, надежность в работе, к недостаткам - малую интенсивность перемешивания густых и вязких жидкостей, непригодность для перемешивания легко расслаивающихся веществ.

Не пригодны для быстрого растворения, тонкого диспергирования и получения суспензий, содержащих твердую фазу с большим удельным весом.

Вследствие незначительности осевого потока лопастные мешалки перемешивают только те слои жидкости, которые находятся в непосредственной близости от лопастей мешалки. Развитие турбулентности в объеме перемешиваемой жидкости происходит медленно, циркуляция жидкости невелика.

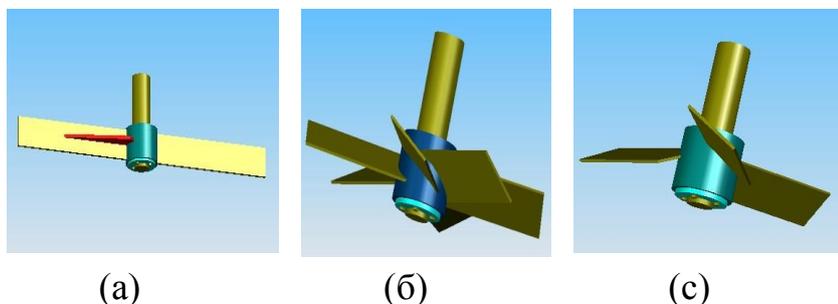
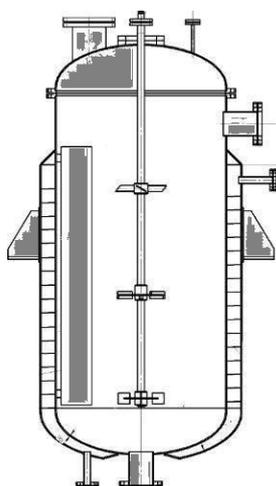


Рис. 2.5.5. Лопастные мешалки: а – с вертикальными лопастями; б, с – с наклонными лопастями

Мешалки с наклонными лопастями сообщают жидкости кроме вращательного значительное вертикальное перемещение: угол наклона лопастей 45° ; полная длина (размах) лопастей $0,6 - 0,7D$.



С целью увеличения турбулентности среды при перемешивании лопастными мешалками в аппаратах с большим отношением высоты к диаметру используют многорядные двухлопастные мешалки с установкой на валу нескольких рядов мешалок, повернутых друг относительно друга на 90° .

Рис. 2.5.6. Аппарат с многорядной лопастной мешалкой

2.5.2 Якорные и рамные мешалки

К лопастным мешалкам относятся также и некоторые мешалки специального назначения: якорные, рамные. Они имеют форму, соответствующую внутренней форме аппарата, и диаметр, близкий к внутреннему диаметру аппарата или змеевика. При вращении эти мешалки очищают стенки и дно аппарата от налипающих загрязнений. Рамные и якорные мешалки применяются для перемешивания вязких и тяжелых жидкостей ($0,25 < \mu < 10 \text{ Па}\cdot\text{с}$), суспензирования в вязких средах. Их использование для интенсификации теплообмена в аппаратах с рубашками или змеевиками предотвращает загрязнение теплопередающих поверхностей. Для рамных и якорных мешалок $n = 10-60 \text{ 1/мин}$, $d = 200-2500 \text{ мм}$, $\xi = 1,28$. Параметры рамных мешалок: $\Gamma = 1,1-1,3$, $h/d = 0,8-1$, $s/d = 0,07$, якорных: $\Gamma = 1,15-1,5$, $h/d = 0,7$, $s/d = 0,1$.

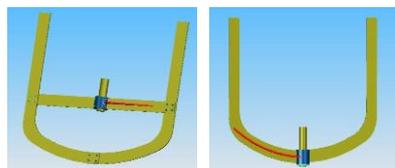
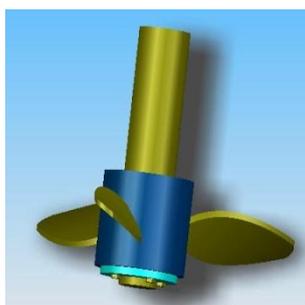


Рис. 2.5.7. Рамные мешалки

Их применяют для обработки вязких, загрязненных и застывающих жидкостей. Профиль мешалки повторяет поверхность аппарата: зазор между стенкой и мешалкой минимальный. Лопасти создают интенсивное перемешивание около стенок и очищают их от налипающих осадков. Минусами являются плохое перемешивание по вертикали и значительная пусковая мощность (больше рабочей в 3-4 раза). Не пригодны для взмучивания тяжелых осадков и для работы с расслаивающимися жидкостями

2.5.3 Пропеллерные мешалки

Рабочей частью **пропеллерной мешалки** является пропеллер - устройство с несколькими фасонными лопастями, изогнутыми по профилю гребного винта.



Наибольшее распространение получили трехлопастные пропеллеры. На валу мешалки, который может быть расположен вертикально, горизонтально или наклонно, в зависимости от высоты слоя жидкости устанавливают один или несколько пропеллеров. Вследствие более обтекаемой формы пропеллерные мешалки при одинаковом числе Рейнольдса потребляют меньшую мощность, чем мешалки прочих типов

Рис. 2.5.8. Пропеллерная мешалка

Пропеллерные мешалки создают в аппарате преимущественно осевые потоки и применяются для интенсивного перемешивания маловязких жидкостей, взмучивания осадков (до 10% твердой фазы, размеры частиц до 0.15 мм), для приготовления суспензий и эмульсий. Основные параметры: $d = 80-2500$ мм, $n = 100-1000$ 1/мин.

Для улучшения циркуляции жидкости мешалку иногда устанавливают внутри диффузора. Достоинства пропеллерных мешалок: высокая интенсивность перемешивания при умеренном расходе энергии, невысокая стоимость. Недостатки: малая эффективность перемешивания вязких жидкостей ($\mu > 0.6$ Па·с), ограниченный объем интенсивно перемешиваемой жидкости, непригодность для смешивания жидкостей с твердыми веществами большой плотности.

Применяются для интенсивного перемешивания маловязких жидкостей; взмучивания осадков; приготовления суспензий и эмульсий.

Не пригодны для совершенного смешивания жидкостей значительной вязкости [более 0,06 кг/(м·с)] или жидкостей, включающих твердую фазу большого удельного веса.

Создают значительные осевые потоки жидкости. Для улучшения циркуляции жидкости мешалки помещают в направляющие патрубки – диффузоры. Для обеспечения одинаковой осевой скорости во всех точках сечения лопасть

изгибают таким образом, чтобы угол наклона уменьшался по мере увеличения радиуса лопасти. Работают в интервале от 100 до 1000 об/мин. Диаметр $0,3 - 0,4D$

2.5.4 Турбинные мешалки

Работают по принципу центробежного насоса: всасывают жидкость в середину и за счет центробежной силы отбрасывают её к периферии.

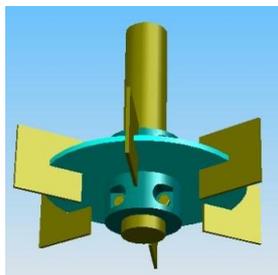


Рис. 2.5.9. Турбинная мешалка

Бывают открытыми и закрытыми, одностороннего и двустороннего всасывания. Открытая турбинная мешалка состоит из цилиндрической втулки с кольцевым диском, на окружности которого расположены, как правило, 6 плоских лопастей. Скорость вращения от 100 до 1000 об/мин. В отличие от лопастной создает значительные радиальные потоки. Диаметр мешалки $0,3 - 0,4 D$.

В аппаратах с турбинными мешалками создаются преимущественно радиальные потоки жидкости. При работе турбинных мешалок с большим числом оборотов наряду с радиальным потоком возможно возникновение тангенциального (кругового) течения содержимого аппарата и образование воронки. В этом случае в аппарате устанавливают отражательные перегородки. Закрытые турбинные мешалки в отличие от открытых создают более четко выраженный радиальный поток. Закрытые мешалки имеют два диска с отверстиями в центре для прохода жидкости; диски сверху и снизу привариваются к плоским лопастям. Жидкость поступает в мешалку параллельно оси вала, выбрасывается мешалкой в радиальном направлении и достигает наиболее удаленных точек аппарата.

Применяют для интенсивного перемешивания и смешения жидкостей с вязкостью до $1,0 \text{ кг/(м·с)}$ для мешалок открытого типа и до $5,0 \text{ кг/(м·с)}$ для мешалок закрытого типа; тонкого диспергирования; взмучивания осадков в жидкостях, содержащих до 60% твердой фазы (мешалки открытого типа) и более (мешалки закрытого типа); причем максимальные размеры твердых частиц до $1,5 \text{ мм}$ для мешалок открытого типа и до $2,5 \text{ мм}$ для мешалок закрытого типа.

2.5.5 Специальные мешалки

Специальные мешалки применяют в случаях, когда непригодны лопастные, пропеллерные и турбинные. Для перемешивания очень вязких жидкостей ($50-100 \text{ Па·с}$) и пастообразных материалов используют ленточные мешалки (Рис. 2.5.10., а), которые при вращении очищают стенки реактора от налипающей реакционной массы.

Для проведения реакций между газом и жидкостью **применяют мешалки барабанного типа** (Рис. 2.5.10., б) с лопастным барабаном, имеющим форму беличьего колеса.

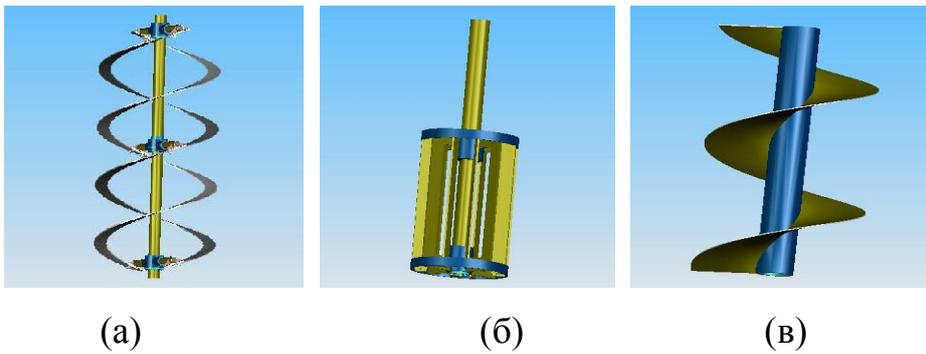


Рис. 2.5.10 Специальные мешалки: а – ленточная мешалка; б- мешалка барабанного типа; в – шнековая мешалка

Шнековые мешалки (Рис. 2.5.10, в) для перемешивания неньютоновских жидкостей. Шнековые машины нашли применение и используются в химической промышленности для дозирования, транспортировки продуктов.

2.5.6 Контрольные вопросы по теме «Мешалки»

- Какие виды течения жидкостей, создаваемые мешалками, вы знаете?
- Как классифицируются мешалки по скорости вращения?
- В чем преимущества и недостатки лопастных мешалок?
- Для перемешивания каких сред используются рамные мешалки?
- Какие виды специальных мешалок вы знаете?

2.6 Тепловые процессы и аппараты

Теплообменным называют процесс переноса тепла, происходящий между телами, имеющими разную температуру. Тела, которые участвуют в теплообмене, называются **теплоносителями**. Теплоноситель с более низкой температурой называется **холодным**, с более высокой температурой – **горячим теплоносителем**. **Движущей силой теплообменных процессов** является наличие **разности температур теплоносителей** (Δt).

2.6.1 Способы передачи теплоты

Различают три способа передачи теплоты (теплопередачи): **теплопроводность, конвекция, лучеиспускание** (теплопередача излучением).

Теплопроводность – процесс передачи теплоты внутри тела от одних частиц к другим вследствие их движения и взаимного соприкосновения. Передача тепла только при помощи теплопроводности может происходить лишь в твердых телах и тонких пленках. Например, наружная поверхность стакана с горячей жидкостью становится горячей за счет протекания процесса теплопроводности внутри стенки стакана.

Конвекция – процесс распространения теплоты в результате движения и перемещения частиц жидкостей и газов. Перенос теплоты возможен в условиях естественной конвекции (разная плотность частиц) и принудительной конвекции при перемещении всей массы газа или жидкости. Примером передачи тепла конвекцией может служить обогрев комнаты с помощью радиаторных батарей. Процесс обогрева можно сделать более интенсивным с помощью вентилятора.

Лучеиспускание – процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн, обусловленный **только температурой** и **оптическими свойствами** излучающего тела. При этом внутренняя энергия тела переходит в энергию излучения. Люди, животные, растения на Земле существуют только благодаря теплоте, получаемой от Солнца.

В реальных процессах обычно все три способа теплообмена обычно сопутствуют друг другу.

В большинстве случаев **передача теплоты** от одного теплоносителя к другому происходит в теплообменных аппаратах, и теплоносители разделены **стенкой**.

Перенос теплоты от поверхности твердого тела к жидкости или газу (или наоборот) называется **теплоотдачей**.

Уравнение теплового баланса

Для того, чтобы найти количество тепла, переданное в теплообменном аппарате, нужно составить уравнение теплового баланса. В теплообменном аппарате количество теплоты Q_1 , отдаваемое в единицу времени горячим теплоносителем, затрачивается на нагрев холодного теплоносителя Q_2 . Часть теплоты Q_n

рассеивается в окружающую среду, т.е. теряется. Таким образом, уравнение теплового баланса можно записать следующим образом:

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{п}} \quad (2.6.1.)$$

Количество теплоты, переносимое в единицу времени, называется **тепловым потоком**.

Если в процессе теплообмена теплоносители не меняют своего агрегатного состояния, т.е. не происходит их испарения или конденсации, то уравнение теплового баланса имеет вид:

$$G_1 c_1 (T_{1\text{н}} - T_{1\text{к}}) = G_2 c_2 (T_{2\text{к}} - T_{2\text{н}}) + Q_{\text{п}} \quad (2.6.2.)$$

где G_1, G_2 – массовые расходы веществ, участвующих в процессе теплообмена, кг/с;

c_1, c_2 – удельные теплоемкости этих веществ, Дж/ (кг · К);

$T_{1\text{н}}, T_{1\text{к}}$ – начальная и конечная температуры горячего теплоносителя, К;

$T_{2\text{н}}, T_{2\text{к}}$ – начальная и конечная температура холодного теплоносителя, К;

$Q_{\text{п}}$ – тепловые потери, Вт

Удельная теплоёмкость (c) – это количество теплоты, сообщаемой 1кг вещества для того, чтобы изменить его температуру на 1К.

Если при теплообмене происходит изменение фазового состояния веществ, т.е. происходит фазовый переход (кипение, конденсация), то в уравнении теплового баланса необходимо учитывать теплоту этого фазового перехода. Например, при написании уравнения теплового баланса для конденсатора, где происходит конденсация паров горячего теплоносителя вследствие нагревания холодного теплоносителя. Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$G_1 r_1 = G_2 \cdot c_2 \cdot (T_{2\text{к}} - T_{2\text{н}}) + Q_{\text{п}} \quad (2.6.3.)$$

где r_1 – удельная теплота конденсации горячего теплоносителя, Дж/кг.

Удельная теплота конденсации – это количество теплоты, которое выделяется при конденсации 1кг теплоносителя.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду аппараты и трубопроводы покрывают теплоизоляционными материалами с низкой теплопроводностью. В качестве теплоизоляционных материалов используют стекловату, асбест, пробковые плиты, совелит, фаолит, алюминиевую фольгу и др. Изоляция должна быть термостойка, негигроскопична, дешева и долговечна.

Обычно, потери тепла для аппаратов разных типов составляют от 2 до 10%. Для снижения потерь теплоты в окружающую среду необходимо совершенствовать:

- конструкцию аппарата с целью уменьшения его габаритов (уменьшается **F**);
- тепловую изоляцию с целью уменьшения величины коэффициента теплопередачи, **K**, т.е. увеличения термического сопротивления стенки, равного $1/K$.

Передача тепла теплопроводностью

Твёрдые тела имеют упорядоченную молекулярную структуру. Теплота в них распространяется преимущественно теплопроводностью. Основным закон теплопроводности – закон Фурье.

Закон Фурье читается следующим образом: количество теплоты **Q**, передаваемое путем теплопроводности в единицу времени через плоскую стенку, прямо пропорционально её площади **F** и разности температур ($T_{ст1} - T_{ст2}$) её поверхностей и обратно пропорционально толщине стенки δ :

$$Q = (\lambda / \delta) \cdot F \cdot (T_{ст1} - T_{ст2}) \quad (2.6.4.)$$

где λ – коэффициент пропорциональности или коэффициент теплопроводности, Вт / (м²·К)

Коэффициент теплопроводности показывает, какое количество теплоты проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через стенку толщиной 1 м, площадью 1 м² при разности температур её поверхности 1 К. λ зависит от природы вещества и его температуры.

Передача тепла конвекцией

Различают естественную и принудительную конвекцию. При естественной конвекции движение частиц обусловлено разностью плотностей жидкости или газа в различных точках объема вследствие разности их температур в этих точках. При принудительной конвекции перемещение жидкости (газа) проводят с помощью специальных устройств – мешалок, вентиляторов, насосов.

Основным законом конвекции является закон Ньютона. Согласно закону Ньютона количество теплоты **Q**, отдаваемое твердой стенкой жидкости (газу) в единицу времени прямо пропорционально площади **F** поверхности стенки и разности температур $T_{ст} - T_{ж}$ стенки и жидкости:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (T_{ст} - T_{ж}) \quad (3.6.5.)$$

где α – коэффициент пропорциональности или коэффициент теплоотдачи, Вт / (м²·К)

Коэффициент теплоотдачи показывает, какое количество теплоты передается от 1 м² поверхности стенки к жидкости (или от жидкости к стенке) в течение 1с при разности температур стенки и жидкости (газа) 1 К. Коэффициент теплоотдачи α не является величиной постоянной для данного вещества, а зависит от скорости

перемещения жидкости вдоль поверхности теплообмена, размеров и формы поверхности теплообмена, плотности, вязкости, теплопроводности, удельной теплоёмкости, а также коэффициента объёмного расширения движущейся жидкости. Эта зависимость является очень сложной и не устанавливается теоретическим путем. Поэтому для определения α используют опытные данные, обработанные методом теории подобия, получив при этом зависимости, которые справедливы для данного вида явлений.

Передача тепла излучением

Лучеиспускание свойственно всем телам.

Носители лучистой энергии – фотоны, обладающие количеством движения и электромагнитной массой. Тепловое излучение характеризуется длиной волны от 0,4 мкм до 800 мкм.

Твердые и жидкие тела излучают энергию сплошным спектром различных длин волн от **ультрафиолетовых** до **инфракрасных**. Интенсивность теплового излучения твердых тел возрастает с повышением температуры. При температуре более 600°C тепловое излучение в них доминирует над другими способами передачи теплоты

Газы излучают и поглощают энергию лишь в определенных интервалах длин волн. Такое излучение называют селективным. Излучение и поглощение энергии в газах объемное.

При попадании на тела лучистая энергия частично поглощается, отражается, проходит сквозь них. Поглощенная энергия превращается в теплоту.

Физические тела пропускают, отражают и поглощают тепловую энергию. В зависимости от способности тел пропускать, отражать и поглощать тепловую энергию различают **абсолютно прозрачные**, **абсолютно белые** и **абсолютно чёрные** тела. Абсолютно прозрачные тела пропускают всю поступающую энергию теплового излучения. Абсолютно белые тела полностью отражают, а абсолютно черные тела поглощают всю подводимую энергию. В природе практически нет тел, обладающих такими идеальными свойствами. Реальные тела способны лишь частично пропускать. Отражать и поглощать подводимую энергию. Такие тела называют серыми.

Законом лучеиспускания является закон Стефана-Больцмана.

Закон Стефана - Больцмана описывает зависимость между лучеиспускательной способностью тела и температурой.

$$Q_{\text{л}} = C_{1-2} \varphi F [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (2.6.6.)$$

где F – площадь поверхности излучения, м²

C_{1-2} – коэффициент взаимного излучения, зависит от взаимного расположения тел, Вт/м²·К⁴

T_2 – абсолютная температура менее нагретого тела, К

T_1 – абсолютная температура поверхности более нагретого тела, К

φ - угловой коэффициент, определяется формой, размерами, взаимным расположением в пространстве, расстоянием между участвующими в теплообмене поверхностями. Значения углового коэффициента берут в справочнике.

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием $\alpha_{\text{л}}$ – это количество теплоты, отдаваемое или воспринимаемое стенкой площадью 1 м² за счет излучения в течение 1 с при разности температур 1 К. Размерность $\alpha_{\text{л}}$ Вт/(м²·К).

Для того, чтобы защитить от нагрева или попадания излучения какое-либо тело, между ним и излучателем необходимо установить экран, изготовленный из материала с хорошими отражательными свойствами. Для снижения лучистого теплообмена между телами необходимо уменьшать температуру излучающего тела и приведенную степень черноты. Если это практически невозможно, устанавливают экран между телами. Например, если лучистый теплообмен происходит между двумя плоскими параллельными поверхностями, то установка между ними тонкостенного плоского экрана (параллельно поверхностям) из металлического листа с такой же, как у рассматриваемых поверхностей, степенью черноты уменьшает лучистый теплообмен между поверхностями в 2 раза.

Установка двух экранов снижает лучистый теплообмен в 3 раза, установка n экранов снижает теплообмен в $(n + 1)$ раз.

Метод применяют для снижения лучистого теплообмена между излучающим телом и корпусом установки в высокотемпературных вакуумных аппаратах, где конвективный теплообмен отсутствует.

Совместная теплоотдача лучеиспусканием и конвекцией

Потери теплоты от стенок аппарата в окружающую среду излучением и конвекцией равны:

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} = \alpha_{\text{привед}} \cdot F \cdot (T_{\text{пов}} - T_0) \quad (2.6.7.)$$

$T_{\text{пов}}$, T_0 - соответственно температуры наружной поверхности аппарата и окружающей среды, °С

$\alpha_{\text{привед}}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К

Для расчета тепловых потерь аппаратов, находящихся в закрытых помещениях, при температуре поверхности аппарата до 150 °С используют уравнение:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \Delta T \quad (2.6.8.)$$

α - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием, Вт/м² · К

ΔT – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха, К

Основное уравнение теплопередачи

Теплопередачей называется процесс теплообмена через поверхность раздела. Например, в трубчатых теплообменниках теплота передается через стенку трубы и два слоя загрязнения: снаружи и внутри.

Количество теплоты, передаваемой в единицу времени, определяется **основным уравнением теплопередачи**:

$$Q = K \cdot F (T_1 - T_2) \quad (2.6.9.)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт / (м²·К)

F – поверхность теплообмена, м²

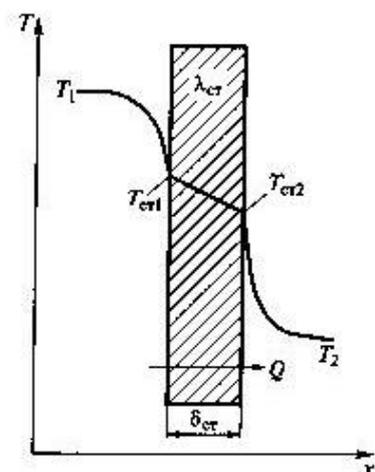


Рис. 2.6.1. Характер изменения температуры при теплопередаче через плоскую стенку:

T_1 – температура горячего теплоносителя; T_2 – температура холодного теплоносителя; $T_{ст1}$ – температура стенки со стороны горячего теплоносителя; $T_{ст2}$ – температура стенки со стороны холодного теплоносителя; $\delta_{ст}$ – толщина стенки; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки; Q – количество теплоты, передаваемое в единицу времени от горячего теплоносителя к холодному

Коэффициент теплопередачи – это количество теплоты, которое передается от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку площадью 1 м² в течение 1 с при разности температур теплоносителей 1 К.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{з1}}{\lambda_{з1}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_{з2}}{\lambda_{з2}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.6.10)$$

где

$\delta_{з1}$ и $\lambda_{з1}$ – толщина загрязнения и коэффициент его теплопроводности с внешней стороны трубы;

$\delta_{з2}$ и $\lambda_{з2}$ – толщина загрязнения и коэффициент его теплопроводности с внутренней стороны трубы;

$\delta_{ст}$ и $\lambda_{ст}$ – толщина стенки и коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлена труба;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется **термическим сопротивлением стенки**, а величина $\delta_{ст} / \lambda_{ст}$ – термическим сопротивлением стенки.

- Ориентировочные значения **коэффициентов теплопередачи K** , Вт/м²·К:
- От конденсирующегося пара к воде (конденсаторы, подогреватели) – 800-3500;
- От конденсирующегося пара к органическим жидкостям (подогреватели) – 120 – 340;
- От конденсирующегося пара органических веществ к воде (конденсаторы) – 300 – 800;
- От газа к газу при $p = 0,1$ МПа при вынужденном движении – 10-40;
- От газа к жидкости (газовые холодильники) – 10 – 60 и т.д.

Основное внимание при выборе типа и конструкции тепловой изоляции нужно обращать на получение возможно большего термического сопротивления стенки **1/ К**. Величину **K** рассчитывают по уравнениям в зависимости от профиля поверхности стенки.

По уравнению теплопроводности рассчитывают изменения температуры в стенке и температуру наружной поверхности стенки $T_{ст}$, которая должна быть по возможности меньше.

Коэффициенты теплопроводности теплоизоляторов при 50 – 100°C должны быть менее 0,25 Вт/м·К.

Движущая сила тепловых процессов

Движущая сила процесса теплопередачи – разность температур между горячим и холодным теплоносителями. В тепловых расчетах используют среднюю разность температур $\Delta T_{ср}$, т.к. температуры теплоносителей изменяются вдоль поверхности разделяющей их стенки.

Количество теплоты, передаваемое в единицу времени через поверхность при теплообмене, пропорционально средней разности температур. Таким образом, основное уравнение теплопередачи имеет вид:

$$Q = K \cdot F \Delta T_{ср} \quad (2.6.11.)$$

Теплопередача при переменных температурах зависит от взаимного направления движения теплоносителей вдоль разделяющей их стенки. Различают три типа движения холодного и горячего теплоносителей в теплообменниках: прямоток, противоток и смешанный ток.

Параллельный ток, или **прямоток** – теплоносители движутся в одном направлении.

Противоток – теплоносители движутся в противоположных направлениях.

Смешанный ток – один из теплоносителей движется в одном направлении, а другой – попеременно, то прямотоком, то противотоком к первому.

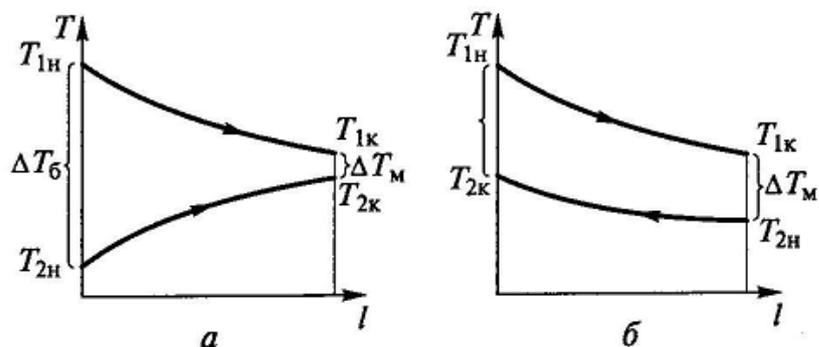


Рис. 2.6.2. Характер изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при их прямоточном (а) и противоточном (б) движении: $T_{1н}$, $T_{1к}$ – начальная и конечная температуры горячего теплоносителя; $T_{2н}$, $T_{2к}$ – начальная и конечная температуры холодного теплоносителя; ΔT_6 , ΔT_m – большая и меньшая разности температур теплоносителей

При прямотоке один из теплоносителей охлаждается от температуры $T_{1н}$ до $T_{1к}$, другой нагревается от $T_{2н}$ до $T_{2к}$. При прямотоке разность температур теплоносителей на входе в теплообменник $\Delta T_6 = T_{1н} - T_{2н}$, а на выходе из теплообменника $\Delta T_m = T_{1к} - T_{2к}$.

При противотоке: $\Delta T_6 = T_{1н} - T_{2к}$ и $\Delta T_m = T_{1к} - T_{2н}$.

При $\Delta T_6 / \Delta T_m < 2$ средняя разность температур определяется как

При $\Delta T_6 / \Delta T_m > 2$ средняя разность температур определяется как среднеарифметическая величина:

$$\Delta T_{ср} = (\Delta T_6 - \Delta T_m) / \ln(\Delta T_6 / \Delta T_m)$$

При перекрестном токе теплоносителей и смешанном токе в многоходовых теплообменниках:

$$\Delta T_{ср} = \epsilon_T \cdot \Delta T_{ср}^{\text{противоток}}$$

где ϵ_T – поправочный коэффициент к средней разности температур $\Delta T_{ср}^{\text{противоток}}$, рассчитанной для случая противоточного движения теплоносителей. Значения поправочного коэффициента берут из графиков.

Помышленные способы подвода и отвода теплоты

Различают прямые источники тепла и промежуточные теплоносители.

Прямыми источниками тепла являются:

- Топочные (дымовые) газы
- Электроэнергия

Вещества (среды), передающие от этих источников теплоту нагреваемой среде, называются **промежуточными теплоносителями** – водяной пар, горячая вода, перегретая вода, высококипящие органические жидкости и их пары, минеральные масла, жидкие металлы и т.д.

Требования к выбору теплоносителя:

- Обеспечение высокой интенсивности теплопередачи
- Высокие значения теплоемкости, теплоты парообразования
- Низкая вязкость при высоких значениях плотности
- Низкая токсичность, негорючесть, термостойкость, низкое корродирующее действие на материал аппарата
- Температурный интервал нагревания, необходимость его регулирования

Необходимый расход теплоносителя определяют из уравнения теплового баланса. Тепловые процессы нагревания и охлаждения жидкостей и газов, конденсации паров в промышленности проводят в аппаратах, которые называют теплообменниками. Теплоносители, отдающие тепло, называют **нагревающими агентами**, теплоносители, воспринимающие теплоту – **охлаждающими агентами**.

2.6.2 Нагревающие агенты и способы нагревания

Нагревание водяным паром

Одним из наиболее распространенных теплоносителей является водяной пар. Достоинства **насыщенного водяного пара** как теплоносителя:

- Высокий коэффициент теплоотдачи 5000-15000 Вт/м². К
- Большое количество тепла, выделяющегося при конденсации 1 кг пара – 2260 -1990 кДж при давлении P = 0,1 -1,2 МПа
- Равномерность обогрева, т.к. при конденсации температура пара остается постоянной
- Возможность тонкого регулирования температуры нагревания путем изменения давления пара
- Возможность транспортировки пара по трубопроводам на большие расстояния

- Основной недостаток насыщенного пара – это значительное увеличение давления с повышением температуры.

Так при температуре 180 °С его давление составляет около 1МПа. При таком давлении необходимо использовать прочную толстостенную, дорогую аппаратуру. Обычно применяют водяной пар, имеющий температуру до 180 – 190 °С. **Перегретый пар** получают на специальных установках – пароперегревателях. В качестве теплоносителя его применяют редко, так как по теплосодержанию он почти не отличается от насыщенного пара, но имеет меньший коэффициент теплоотдачи.

Различают **«глухой»** и **«острый»** водяной пар.

«Острый» пар вводится через специальные устройства - барботёры в нагреваемую среду и смешивается с ней. Способ применяется в том случае, когда допустимо смешение нагреваемой среды с паровым конденсатом.

При нагревании **«глухим» паром** нагреваемая жидкость не соприкасается с паром и отделена от него стенкой теплообменного аппарата. Такой нагрев применяется очень часто, так как в этом случае продукт не разбавляется конденсатом и не изменяет своего состава. Схема обогрева «глухим» паром представлена на рис.2.6.3.

При неполной конденсации пара в теплообменнике часть его будет уходить с конденсатом, расход пара повышается. Для отвода парового конденсата без выпуска пара применяют специальные устройства – конденсатоотводчики, работающие непрерывно или периодически (с открытым или закрытым поплавком).

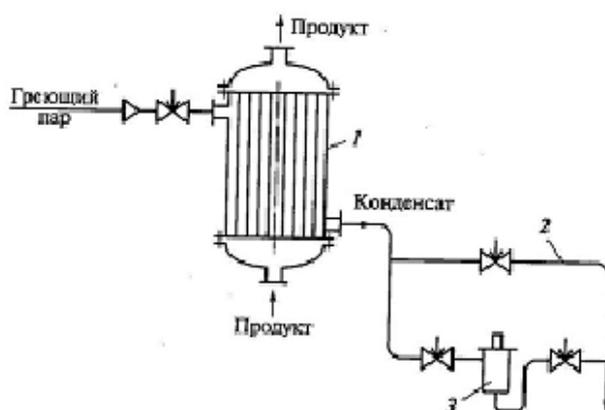


Рис. 2.6.3. Схема обогрева глухим насыщенным паром: 1 – теплообменник; 2 – обводная линия; 3 - конденсатоотводчик

Нагревание горячей водой

Вода является самым доступным теплоносителем. Её можно использовать для нагрева рабочей среды до температуры 100°С. Горячую воду получают в паровых

и электрических нагревателях – бойлерах и водогрейных котлах с применением топочных газов.

Недостатком горячей воды как теплоносителя является во много раз более низкий коэффициент теплоотдачи, чем при использовании конденсирующегося пара. Кроме того нагревание горячей водой сопровождается снижением ее температуры вдоль теплообменной поверхности, что затрудняет регулирование температуры и ухудшает равномерность обогрева. Использование перегретой воды для нагревания до 350 °С связано с высоким давлением, что неэкономично.

В теплообменных установках при обогреве обычно используют циркуляцию теплоносителя. Различают схемы циркуляционного обогрева жидкими нагревающими агентами с **естественной** и **принудительной циркуляцией**.

При **естественной циркуляции** теплоноситель циркулирует за счет разности его плотностей в нагретом (после нагревательной печи) и охлажденном (после теплообменника) виде. При циркуляции горячей воды со скоростью 0,2 м/с высота расположения теплообменника относительно печи должна составлять не более 4 – 5 м.

При **принудительной циркуляции** жидкость перекачивается по замкнутому циклу с помощью насоса, за счет чего увеличивается скорость циркуляции (до 2,5 м/с) и, соответственно, интенсивность теплообмена.

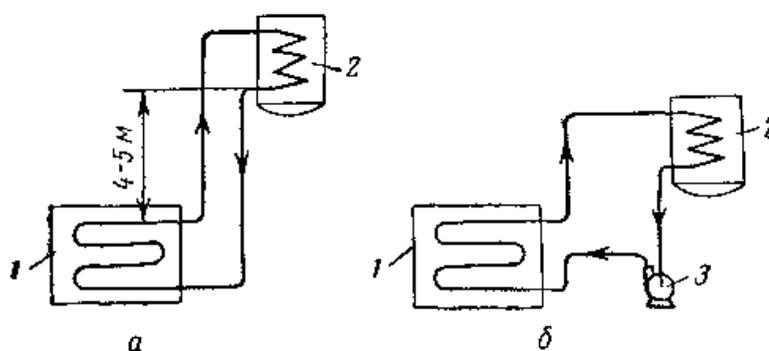


Рис.2.6.4. Схема циркуляционного обогрева жидким нагревающим агентом: а - обогрев с естественной циркуляцией; б – обогрев с принудительной циркуляцией; 1 – печь; 2 – теплообменник; 3 – насос

Нагревание высокотемпературными органическими теплоносителями

Для нагрева до высоких температур в промышленности используют высококипящие органические жидкости: минеральные масла, глицерин, нафталин, этиленгликоль, дифенил, дифениловый эфир, дитоллилметан, арохлоры, многокомпонентные высококипящие органические теплоносители (ВОТ), кремнийорганические жидкости и др.

Пары высококипящих жидкостей применяют для нагрева химических продуктов до температур выше 150-170°С, когда использование водяного пара становится

экономически невыгодным из-за необходимости высоких давлений. Наибольшее распространение для этих случаев получила дифенильная смесь.

Дифенильная смесь (Даутерм А) состоит из 26,5% дифенила и 73,5% дифенилоксида.

Достоинства:

- возможность получения высоких температур без применения высоких давлений ($t_{кип} = 258^{\circ}\text{C}$, $r = 220$ кДж/кг при $p = 0,1$ МПа ; $t_{кип} = 380^{\circ}\text{C}$, $r = 220$ кДж/кг при $p = 0,8$ МПа)
- использование для обогрева в жидком (до 250°C) и парообразном (до 380°C) состояниях. Коэффициент теплоотдачи при конденсации ее паров α равен $1200-1700$ Вт/м² К
- большая термическая стойкость, низкая температура плавления (12°C)
- практически взрывобезопасность и слабая токсичность
- не вызывает коррозии металлов

Глицерин – применяют при нагревании до температуры $220 - 250^{\circ}\text{C}$. Он не ядовит и невзрывоопасен, обеспечивает равномерный обогрев аппаратов, дешевле дифенильной смеси.

Минеральные масла - используют при нагревания различных продуктов до температуры 300°C . Различают ароматизированные и обычные минеральные масла. В качестве нагревающего агента обычно используют масла с высокой температурой вспышки: цилиндровые и компрессорные масла. Распространенными марками являются АТМ-300, Мобильтерм – 600. Масла относятся к недорогим теплоносителям, но имеют относительно низкие значения коэффициента теплоотдачи и легко разлагаются, образуя на стенках отложения, ухудшающие теплообмен.

Силиконовые теплоносители (кремнийорганические соединения, полиорганосилоксаны) используют тогда, когда нужно нагреть химические продукты до температуры 300°C . Эти теплоносители обладают высокой химической и термической стойкостью, низкой температурой плавления, хорошей теплоотдачей, высокой химической инертностью.

Дитолилметан (ДТМ) – используют до 300°C . Имеет $t_{пл} = -30^{\circ}\text{C}$, $t_{кип} = 296^{\circ}\text{C}$.

Моноизопропилдифенил (МИПД) – используют до 400°C . Имеет $t_{пл} = -27^{\circ}\text{C}$, $t_{кип} = 290^{\circ}\text{C}$.

Нагревание расплавами неорганических солей и жидкими металлами

Нитрит - нитратная смесь содержит 40% нитрита натрия, 7% нитрата натрия, 53% нитрата калия. Имеет температуру плавления 142°C . Такую смесь

используют при нагревании до 550 °С. Установки, на которых применяют расплавы солей, должны быть герметичны и защищены инертным газом. Смесь применяют при обогреве с принудительной циркуляцией. Нитрит-нитратная смесь – сильный окисляющий агент, не должна соприкасаться с воздухом.

Жидкие металлы: литий, натрий, калий, ртуть, свинец, некоторые сплавы используют для нагревания до 300 - 800 °С. Эффективным теплоносителем является сплав свинца и висмута Pb + Bi. Он имеет высокий коэффициент теплоотдачи, в обращении безопасен. Ртуть, свинец и его сплавы используют в химических реакторах для отвода реакционной теплоты. Жидкие металлы, в основном, применяют на атомных электростанциях.

Нагревание топочными газами

Топочные газы образуются при сжигании жидкого, газообразного топлива в специальных топках. Непосредственное нагревание топочными газами осуществляется в трубчатых печах, в печах для реакционных котлов или автоклавов. Нагревание топочными газами используют до 1000 -1100°С.

Для снижения температуры до 500-800°С их смешивают с воздухом. После этого они направляются в теплообменный аппарат, охлаждаются, отдавая тепло нагреваемым продуктам. Из теплообменника они дымососом отводятся в атмосферу.

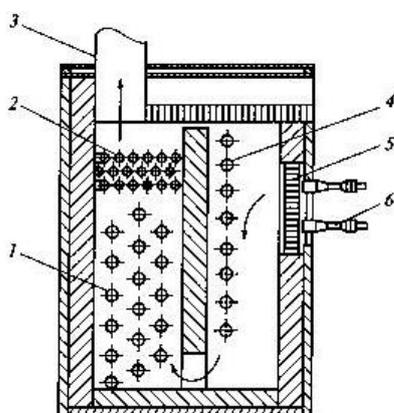


Рис. 2.6.5. Трубчатая печь для нагревания жидких продуктов: 1 – конвективная теплообменная поверхность; 2 – змеевик-подогреватель; 3 – дымовая труба; 4 – радиационная нагреваемая поверхность; 5 – излучающая панель; 6 – газовая горелка

Недостатками обогрева топочными газами являются: неравномерность нагрева, обусловленная охлаждением газа в процессе теплообмена; низкие коэффициенты теплоотдачи ($\alpha = 35-60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$), требующие увеличения поверхности теплообмена; инерционность; загрязненность.

На рис.2.6.5. показана трубчатая печь, работающая на газообразном топливе, для нагревания жидких продуктов. Из сопла горелки 6 выходит горючий газ, который смешивается с необходимым количеством воздуха и поступает на пористую излучающую панель 5, изготовленную из керамического материала. При горении газа пламя отсутствует. Поэтому горелки такого типа называют беспламенными. Поверхность

панели раскаляется и испускает большой поток теплового излучения. Образовавшиеся высокотемпературные топочные газы поступают в первую по ходу радиационную часть печи. В ней теплота передается к радиационной нагреваемой поверхности 4 змеевика за счет излучения. В конвективной части

печи теплота от частично охлажденных топочных газов передается к теплообменной поверхности 1 змеевика за счет конвекции.

Для максимального использования теплоты на пути отходящих газов часто устанавливают дополнительно змеевик-подогреватель 2. Газы удаляются через дымовую трубу 3.

Кроме топочных газов, получаемых в специальной топке, часто используют отработанные газы (от печей, котлов) с температурой 300 -500°С.

При расчете обогрева топочными газами определяют теплотворную способность топлива, расход воздуха на сжигание, количество и состав газообразных продуктов сгорания, а также температуру, развиваемую при сгорании топлива.

Нагревание электрическим током

По способу превращения электрической энергии в теплоту различают нагревание:

- сопротивлением
- электрической дугой
- индукционное
- высокочастотное

Нагревание **электрическим сопротивлением** – это наиболее распространенный способ, осуществляемый в электрических печах(рис. 2.6.6.). Он позволяет достигать температуры 1000-1100°С. Нагреваемый аппарат – котел 2 имеет вертикальные нагревательные секции 1 и донную секцию 3, которые изготавливают из жаропрочных сталей в виде проволочных спиралей или лент с большим омическим сопротивлением.

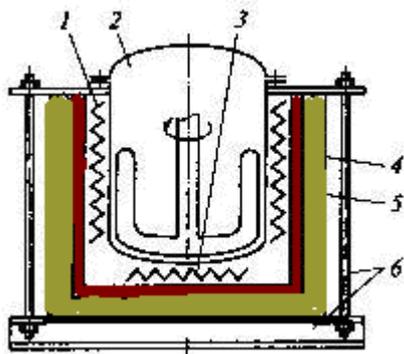


Рис. 2.6.6. Электрическая печь сопротивления: вертикальная секция; 2 – котел; 3 – донная секция; 4 – огнеупорная кладка; 5 – тепловая изоляция; 6 – опускное устройство печи

Эти элементы укреплены на изолирующих шамотных роликах или втулках, расположенных на стальном каркасе. Тепло от раскаленных спиралей и лент передается стенкам нагреваемого котла.

Печь футеруют огнеупорным кирпичом 4 и покрывают снаружи слоем тепловой изоляции 5.

Для периодического осмотра состояния нагревателей печь снабжена опускным устройством 6.

Индукционное нагревание основано на использовании теплового эффекта, вызванного вихревыми токами Фуко, возникающими непосредственно в стенках стального нагреваемого аппарата.

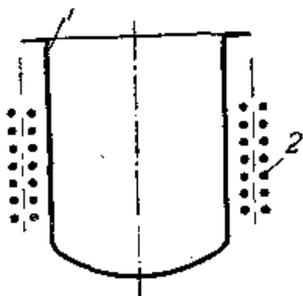


Рис. 2.6.7. Схема индукционного нагрева: 1- аппарат; 2- обмотка соленоида

Через соленоид, внутри которого помещен нагреваемый материал (проводник первого рода), пропускают переменный ток (рис. 2.6.7.).

Вокруг соленоида образуется переменное магнитное поле, которое индуцирует в нагреваемом теле электродвижущую силу индукции или вторичный ток, выделяющие тепло.

Аппарат с индукционным нагреванием можно сравнить с трансформатором, у которого первичной обмоткой служат катушки индуктивности, а магнитопроводом и вторичной катушкой – стенки аппарата.

Недостатком этого способа нагревания является высокая стоимость. Для удешевления обогрева массу в аппарате предварительно нагревают насыщенным водяным паром до 180 °С, затем включают индукционный нагрев до 400 °С.

Нагревание электрической дугой проводят в так называемых дуговых печах, в которых электрическая энергия превращается в тепло дуги, горящей в газообразной среде. Электрическая дуга дает возможность сосредоточить большую мощность в небольшом объеме и, следовательно, получить весьма высокую температуру.

Различают печи с **открытой** и **закрытой дугой**.

В печах с **открытой дугой** пламя дуги образуется между электродами, расположенными над нагреваемым материалом, и тепло передается путем лучеиспускания.

В печах с **закрытой дугой** пламя дуги образуется между электродом и самим нагреваемым материалом.

Недостатком такого нагрева является возникновение в дуговой печи больших перепадов температур. Поэтому равномерный нагрев и точное регулирование температур здесь невозможны.

Дуговые печи применяют для плавки металлов.

Высокочастотное нагревание применяется для диэлектриков – материалов, не проводящих электрический ток, например, пластмасс. Таким способом достигается равномерное нагревание материала. Однако он требует сложной аппаратуры для преобразования переменного тока частотой 50 Гц в ток высокой частоты (10 – 100 МГц). Установка имеет низкий КПД и неэкономична в эксплуатации.

2.6.3 Охлаждающие агенты и способы охлаждения

Охлаждающими агентами в технологических процессах могут быть:

- Вода
- Атмосферный воздух
- Рассолы
- Жидкий аммиак

Вода – используется для охлаждения в поверхностных и смесительных теплообменниках.

Достоинствами воды как охлаждающего агента являются: высокая теплоемкость (4,19 кДж/кг·К), большой коэффициент теплоотдачи, доступность. Используют артезианскую (8 -15°C) и оборотную воду из теплообменных устройств, охлаждаемую в градирнях – башнях с размещенным внутри слоем насадки, по которой стекает вода. За счет частичного испарения вода охлаждается в потоке движущегося противотоком воздуха и снова используется в качестве охлаждающего агента. Обратная вода имеет высокую температуру (летом около 30°C). Конечная температура воды после теплообменного аппарата должна быть не выше 40-50°C. В противном случае на поверхности аппарата образуется накипь.

Если температура охлаждаемой среды выше 100°C, применяют испарительное охлаждение, при котором часть воды испаряется. Расход воды снижается, пар утилизируется.

Атмосферный воздух в качестве охлаждающего агента используют в градирнях и в теплообменных аппаратах с увеличенной поверхностью теплообмена, например, имеющих ребра. В этих аппаратах осуществляется принудительная циркуляция воздуха с помощью вентиляторов. Преимущества воздуха обусловлены его доступностью и тем, что он практически не загрязняет наружную поверхность охлаждения

Недостатками его по сравнению с водой являются: низкий коэффициент теплоотдачи (до 58 Вт/м²·К) и небольшая удельная теплоемкость (1кДж/кг·К). Поэтому массовый расход воздуха для охлаждения в 4 раза больше, чем воды.

Низкотемпературные агенты используют для создания температур рабочей среды ниже 5 – 20°C. В качестве таких агентов применяют лед, охлаждающие смеси (лед + различные соли), рассолы (растворы CaCl₂, NaCl), пары жидкостей, кипящих при низких температурах.

- Лед + 29% NaCl (– 21,2°C)

- Лед + 30% CaCl₂ (– 55°C)
- Жидкий аммиак (– 15°C)

2.6.4 Теплообменная аппаратура. Классификация и конструкции теплообменников

Теплообменники – это аппараты, в которых осуществляется теплообмен между греющей и нагреваемой средами. Греющие и нагреваемые среды называют **теплоносителями**. В теплообменных аппаратах могут происходить различные тепловые процессы: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, кипение и другие.

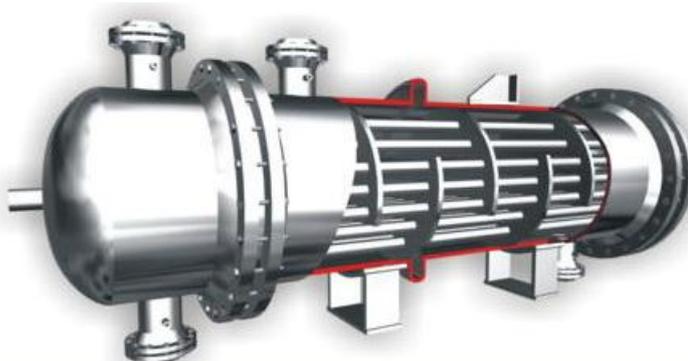


Рис.2.6.8. Теплообменный аппарат

В зависимости от **назначения** различают: подогреватели, испарители, конденсаторы, регенераторы, парообразователи, кипятильники.

По **принципу действия** теплообменные аппараты подразделяют на поверхностные, смесительные и регенеративные.

В **поверхностных теплообменниках** теплообмен между средами может осуществляться через трубчатую, плоскую или иную поверхность (кожухотрубчатые, пластинчатые и другие).

В **смесительных теплообменниках** теплоноситель смешивается непосредственно с рабочей средой. К таким теплообменникам относятся градирни, конденсаторы смешения и аппараты с барботажом газа.

В регенеративных теплообменниках проводят нагревание керамических твердых тел, размещенных в аппарате, которые затем применяют для нагревания рабочей среды.

2.6.5 Поверхностные теплообменники

Кожухотрубчатые теплообменники. Эти аппараты наиболее широко используются в химической и нефтехимической промышленности. Применяются в качестве жидкостных и газовых подогревателей, конденсаторов и испарителей. Работают при условном давлении до 6,4 МПа и температурах от - 30°C. Площадь теплообмена находится в интервале 1-2000 м². Различают трубное и межтрубное пространства. Обычно пар (горячий теплоноситель) вводится в межтрубное

пространство, а нагреваемая жидкость протекает по трубам. Загрязненные потоки направляют в трубы, а не в межтрубное пространство, так как трубки можно легче очищать. На рис. 2.6.9. показан кожухотрубчатый теплообменник жесткой конструкции. Теплообменник имеет корпус (кожух) и приваренные к нему трубные решетки с пучком труб. К выступающим из корпуса частям решетки, являющимися одновременно фланцами, крепятся сферические днища. В таком теплообменнике одна среда движется внутри труб, другая – в межтрубном пространстве. При этом среды

двигаются противотоком относительно друг друга.

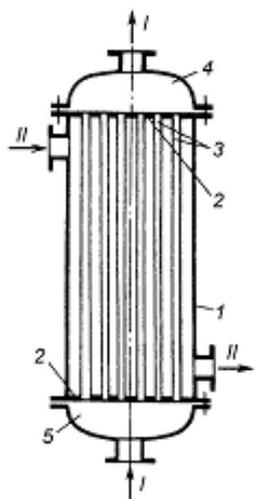


Рис. 2.6.9. Кожухотрубчатый теплообменник: - корпус (кожух); 2- трубные решетки; 3- трубы; 4- крышка; 5- днище; I, II – потоки теплоносителей

Трубы в трубных решетках размещают по периметрам правильных шестиугольников, что обеспечивает компактность их расположения, или по концентрическим окружностям. Для облегчения очистки наружных поверхностей труб иногда применяют коридорное расположение – по сторонам квадратов (рис. 2.6.10.).

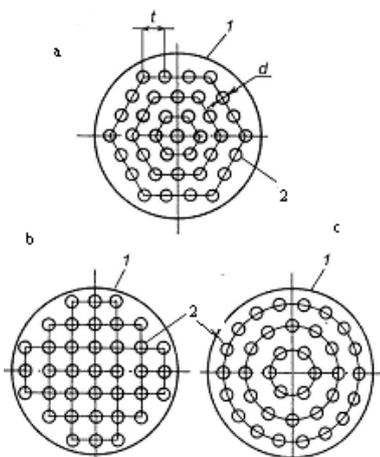


Рис. 2.6.10. Способы размещения труб в трубных решетках: а - размещение по периметрам правильных шестиугольников; б – по вершинам квадратов; с – по концентрическим окружностям (t – шаг труб; d – диаметр трубы); 1- кожух; 2- трубы

Трубное и межтрубное пространства разделены поверхностью теплообмена. Каждое из них может быть поделено перегородками на несколько ходов. Цель установки перегородок: увеличить скорость движения теплоносителей, интенсивность теплообмена. В межтрубном пространстве перегородки могут быть продольными и поперечными (сегментными, секторными и кольцевыми). В горизонтальных теплообменниках эти перегородки одновременно являются опорами для труб. Такие теплообменники называют многоходовыми. В многоходовом теплообменнике по сравнению с одноходовым теплообменником с той же поверхностью теплообмена скорость и коэффициент теплоотдачи возрастают.

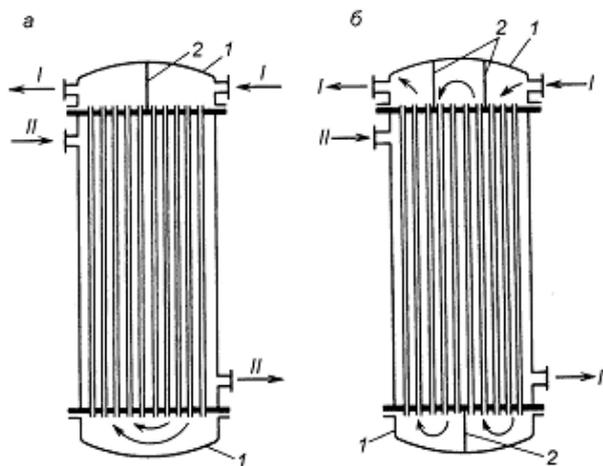


Рис.2.6.11. Многоходовые (по трубному пространству) кожухотрубчатые теплообменники: а – двухходовой теплообменник; б - четырехходовой теплообменник; 1- крышка; 2- перегородки в крышках; I и II – теплоносители

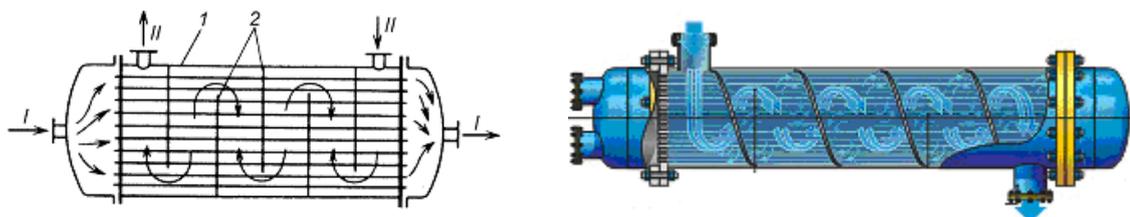


Рис. 2.6.12. Многоходовой (по межтрубному пространству) кожухотрубчатый теплообменник: 1- кожух; 2- перегородки; I и II – теплоносители

При разности температур между теплоносителями больше 50°C вследствие неодинакового теплового удлинения элементов конструкции аппарата в сварных швах возникают температурные напряжения, которые могут превысить предел прочности материала; нарушается герметичность. Для предотвращения разрушения аппарата создают конструкции теплообменников с различного вида компенсаторами: теплообменники с линзовыми компенсаторами, с плавающей головкой, с U – образными трубками, с сальниковыми устройствами (рис. 2.6.13.).

Аппараты с линзовыми компенсаторами (рис. 2.6.13., а) применяют, когда температурные деформации менее 10 – 15 мм, а давление в межтрубном пространстве не превышает 0,5 МПа.

Теплообменники с плавающей головкой (рис. 2.6.13., б) используют в пределах рабочих температур от -30°C до $+450^{\circ}\text{C}$ и условного давления от 1,6 до 6,4 МПа в трубном или межтрубном пространстве. Подвижная трубная решетка позволяет трубному пучку свободно перемещаться независимо от корпуса. Трубные пучки легко вынимаются для ремонта, чистки или замены.

Теплообменники с U – образными трубами (рис. 2.6.13., в) являются двухходовыми, имеют лишь одну трубную решетку. Корпус теплообменника не связан жестко с трубами. Каждый элемент может удлиняться, не вызывая термических напряжений в местах присоединения.

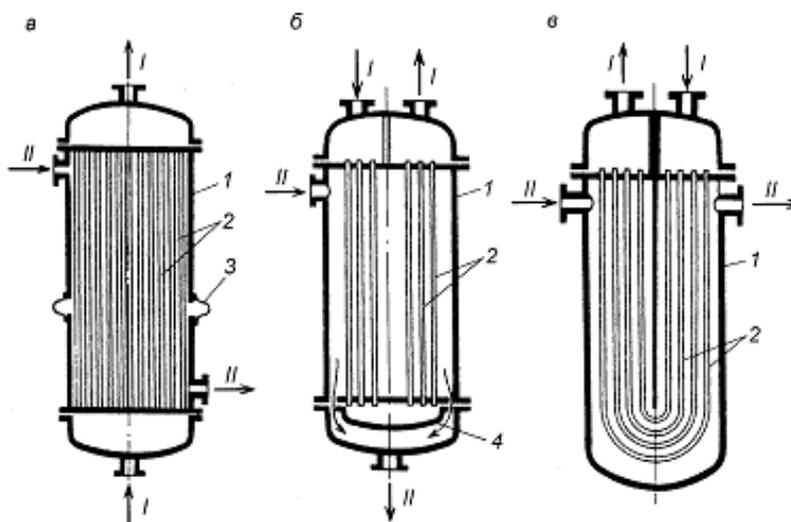


Рис. 2.6.13. Кожухотрубчатые теплообменники с компенсирующими устройствами:

а - с линзовым компенсатором; б - с плавающей головкой; в - с U-образными трубами 1- кожух; 2- трубы; 3- линзовый компенсатор; 4 – плавающая головка; I и II - теплоносители

Трубы в трубной решетке укрепляют разными способами: развальцовкой, сваркой, пайкой, склеиванием. Иногда их крепят с помощью разъемных сальниковых устройств. При необходимости трубы можно будет легко заменить. Выбор способа крепления зависит от свойств материалов, из которых изготовлены решетка и трубы, а также от давления в аппарате.

Преимуществами кожухотрубчатых теплообменников являются компактность, небольшой расход металла, легкость очистки труб изнутри. Исключение составляют теплообменники с U – образными трубами.

Недостатки: сложности пропускания теплоносителей с большими скоростями в одноходовых теплообменниках, трудность очистки межтрубного пространства и малая доступность его для осмотра и ремонта. Кроме того есть определенные сложности изготовления теплообменников из материалов, не допускающих развальцовки и сварки (чугун).

Двухтрубные теплообменники «труба в трубе» (рис. 2.6.14.). Применяют для нагрева и охлаждения жидкостей и газов при небольших расходах теплоносителей при поверхности теплообмена не более $30 - 40\text{ м}^2$.

Преимущества: высокий коэффициент теплопередачи вследствие большой скорости обоих теплоносителей; простота изготовления.

Недостатки: громоздкость; высокая стоимость ввиду большого расхода металла на наружные трубы, не участвующие в теплообмене; трудность очистки межтрубного пространства.

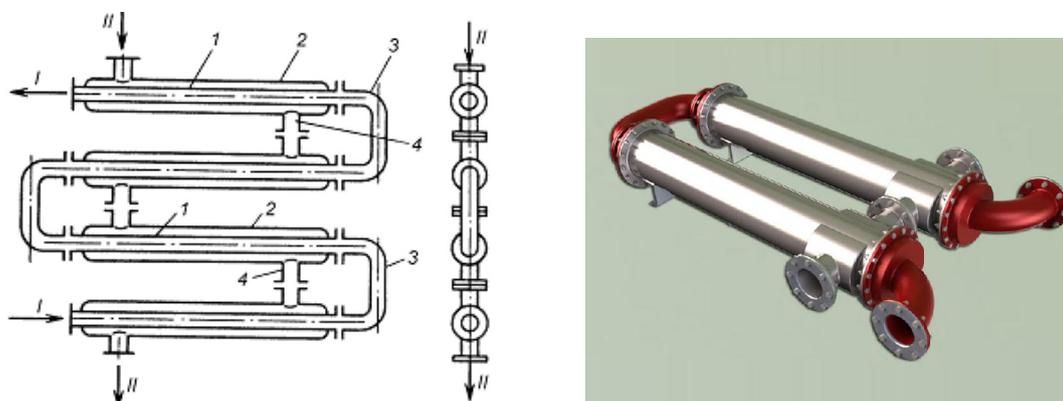
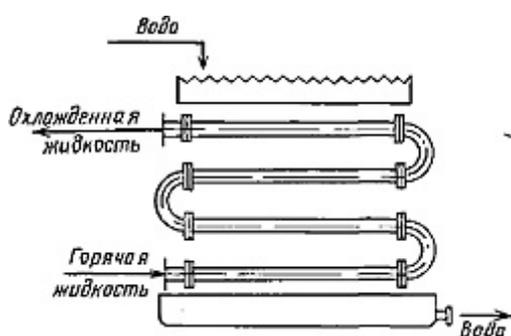


Рис. 2.6.14. Теплообменник «труба в трубе»: 1 - внутренняя труба; 2 - наружная труба; 3 - соединение «калач».

Оросительные трубчатые теплообменники. Используют для охлаждения жидкостей, обладающих агрессивными или термолабильными свойствами.

Достоинства: пониженный расход охлаждающей воды; простота устройства; легкость монтажа очистки (соединения труб фланцами);



Недостатки: громоздкость; сильное испарение воды; низкий коэффициент теплопередачи; чувствительность к изменениям температуры окружающей среды; чувствительность к колебаниям подачи воды (при недостатке воды нижние трубы не смачиваются и почти не участвуют в теплообмене).

Рис. 2.6.15. Оросительный теплообменник

Погружные теплообменники. Наиболее часто применяют в качестве элементов ректификационных колонн и подогревателей. Представляют собой спиральный змеевик, заключенный в корпус.

Для увеличения скорости потока среды, омывающей наружную поверхность змеевика, в корпусе устанавливают внутренний стакан. Змеевик, по которому движется один теплоноситель, погружают в другой теплоноситель, находящийся в корпусе. Часто используют змеевики из нескольких параллельных секций, расположенных концентрически.

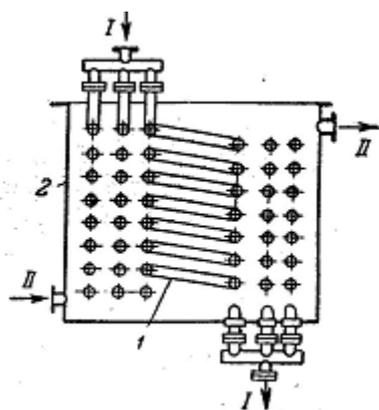


Рис. 2.6.16. Погружной теплообменник с цилиндрическим змеевиком: 1 - змеевик; 2- сосуд

Преимущества: простота изготовления; доступность поверхности теплообмена для ремонта и осмотра; малая чувствительность к изменениям режима из-за наличия большого объема жидкости в сосуде.

Недостатки: низкие значения коэффициентов теплопередачи из-за свободной конвекции у поверхности труб; трудность внутренней очистки труб; громоздкость.

При установке мешалок направление их движения должно быть противоположно движению теплоносителя в змеевике.

Для нагрева жидких и вязких сред в открытых емкостях и резервуарах с низким или переменным уровнем жидкости специально разработаны **съёмные погружные нагреватели**. Эти нагреватели изготавливают под требуемые условия эксплуатации по габаритам, форме, кислотоупорности, классу взрывозащиты, а также по характеристикам удельной поверхностной мощности и абсолютной мощности нагревателя. Съёмные погружаемые нагреватели могут быть как вертикальными для обогрева у стенок емкости, так и горизонтальными для подогрева резервуаров снизу.

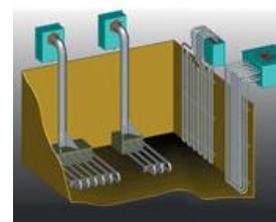


Рис.2.6.17. Погружной нагреватель



Для охлаждения и нагрева высококонцентрированных неорганических кислот и других агрессивных сред изготавливают специально **пластмассовые теплообменники**.

Рис.2.6.18. Пластмассовый теплообменник

Пластинчатые теплообменники (рис. 2.6.19.) относятся к классу рекуперативных теплообменников и представляют собой аппараты, теплообменная поверхность которых образована набором тонких штампованных металлических пластин с гофрированной поверхностью. Пластины, собранные в единый пакет, образуют между собой каналы, по которым протекают теплоносители, обменивающиеся тепловой энергией. Каналы между пластинами сгруппированы в две системы: по одной движется горячий теплоноситель, по другой - холодный. Каналы с теплоносителями А и В чередуются между собой.

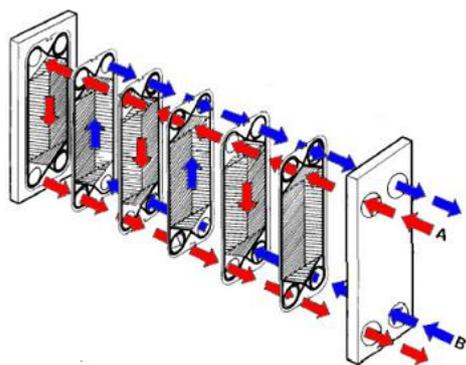


Рис. 2.6.19. Пластинчатый теплообменник: А и В – горячий и холодный теплоносители

Применяют в качестве холодильников, подогревателей, конденсаторов. Пластинчатые разборные теплообменники имеют площадь поверхности теплообмена от 3 до 600м², собраны из пластин с площадью поверхности 0,2 – 1,3м². Работают при давлении 0,6 –1 МПа и температурах среды от –30 до +180°С.

Наиболее широко применяют разборные пластинчатые теплообменники, в которых пластины отделены одна от другой резиновыми уплотнениями. Монтаж и демонтаж этих аппаратов осуществляют достаточно быстро, очистка теплообменных поверхностей требует незначительных затрат труда. Принципиальная схема пластинчатого теплообменника представлена на рис. 2.6.20.

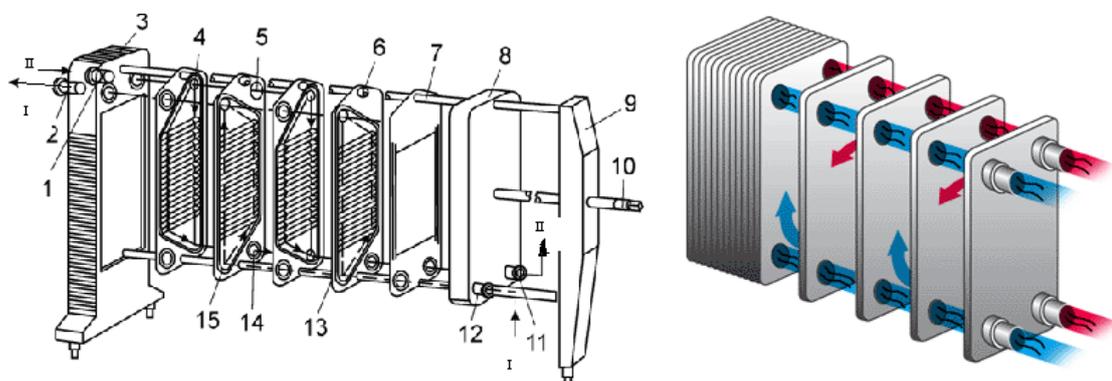


Рис. 2.6.20. Принципиальная схема пластинчатого аппарата: 1, 2, 11, 12 – штуцера; 3 – неподвижная плита; 4 – верхнее угловое отверстие; 5 – кольцевая резиновая прокладка; 6 – граничная пластина; 7 – штанга; 8 – нажимная плита; 9 – задняя стойка; 10 – винт; 13 – большая резиновая прокладка; 14 – нижнее угловое отверстие; 15 – теплообменная пластина; I и II – теплоносители

Теплоноситель I поступает в аппарат через штуцер 12, движется по нечетным каналам и уходит через штуцер 2. Теплоноситель II поступает через штуцер 1, протекает по четным каналам и выходит через штуцер 2. Пакет пластин зажимается между двумя плитами, одна из которых является подвижной.

Преимущества: пластинчатые теплообменники достаточно просты в изготовлении, их легко разбирать и демонтировать; в таких теплообменниках большие скорости движения теплоносителей, высокие коэффициенты теплопередачи; теплоносители можно пропускать противотоком, прямотоком и по смешанной схеме.

Недостатки: диапазон рабочих температур и сред ограничен термической и химической стойкостью прокладочных материалов; герметизация пластин

представляет большую проблему. Поэтому их нельзя применять при высоких давлениях.

Спиральные теплообменники (рис. 2.6.21.). Используют для нагрева и охлаждения жидкостей и газов при давлении до 1 МПа, при температуре от -20 до $+200^{\circ}\text{C}$. Имеют поверхность теплообмена от 10 до 100m^2 .

Теплообменник состоит из двух спиральных каналов прямоугольного сечения, по которым движутся теплоносители. Каналы образуются тонкими металлическими листами, которые служат поверхностью теплообмена. Перегородка в центре теплообменника разделяет полости входа и выхода теплоносителей. Для герметизации между крышками и листами помещают прокладку из резины, паронита. Бывают вертикальными и горизонтальными. **Вертикальные теплообменники** используют в качестве конденсаторов и паровых подогревателей для жидкостей (пар – жидкость), **горизонтальные** – для теплообмена жидкость – жидкость.

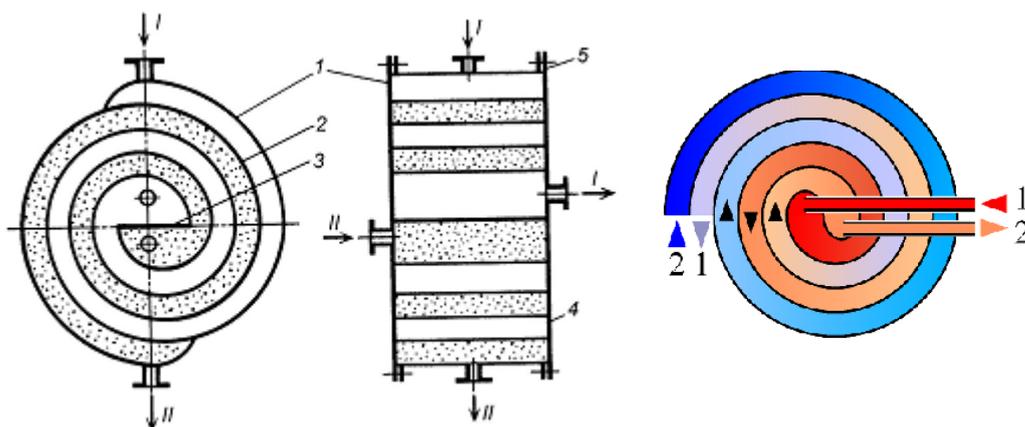


Рис. 2.6.21. Горизонтальный спиральный теплообменник: 1,2 – металлические листы; 3 – разделительная пластина-перегородка; 4 – крышка; 5- фланцы; I и II - теплоносители

Преимущества: компактность; большой коэффициент теплопередачи – высокие скорости движения теплоносителей; гидравлическое сопротивление меньше, чем в многоходовых кожухотрубчатых теплообменниках.

Недостатком является сложность изготовления.



Теплообменники с оребренными трубами (рис. 2.6.22.). Применяют в тех случаях, когда условия теплоотдачи по обеим сторонам стенки различные. Бывают с поперечными и продольными ребрами. Поперечные ребра выполняют в виде круглых или прямоугольных металлических шайб, насаженных на трубу. Пример: пластинчатые калориферы для подогрева воздуха, движущегося с наружной стороны труб паром или горячей водой, идущей по трубам. Продольные ребра используют при движении теплоносителя вдоль трубы и применяют для наружного оребрения труб в теплообменниках с U – образными трубами или «труба в трубе». Иногда оребрение делают с двух сторон в так называемых игольчатых теплообменниках.

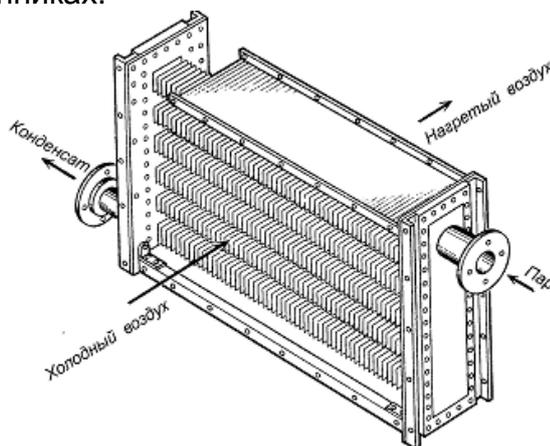


Рис. 2.6.22. Пластинчатый калорифер для подогрева воздуха

2.6.6 Смесительные теплообменники

В этих аппаратах теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей и сопровождается массообменом. Применяются в качестве конденсаторов смешения для создания разряжения в установках, работающих под вакуумом (выпарные аппараты, вакуум-сушилки, вакуум-фильтры); для воздушного охлаждения в градирнях больших количеств циркуляционной воды; осушки и увлажнения воздуха в кондиционерах; очистки воздуха и газа от пыли, смолы путем промывки водой в скрубберах; нагрева растворов погружными горелками в выпарных аппаратах.

Барометрический конденсатор обычно используют при проведении процесса конденсации водяного пара при низком давлении. Охлаждающая вода поступает в верхнюю часть аппарата и стекает по полкам, образуя завесу из капель, брызг и струй. Пар подается в нижнюю часть корпуса. Поднимаясь вверх, он соприкасается со стекающей водой и конденсируется. Вода, смешанная с конденсатом, выводится через барометрическую трубу, образующую барометрический затвор. Несконденсированные газы удаляются из верхней части аппарата вакуумным насосом.

Противоточный барометрический конденсатор используют для конденсации пара и создания вакуума в дистилляционных и выпарных установках большой производительности

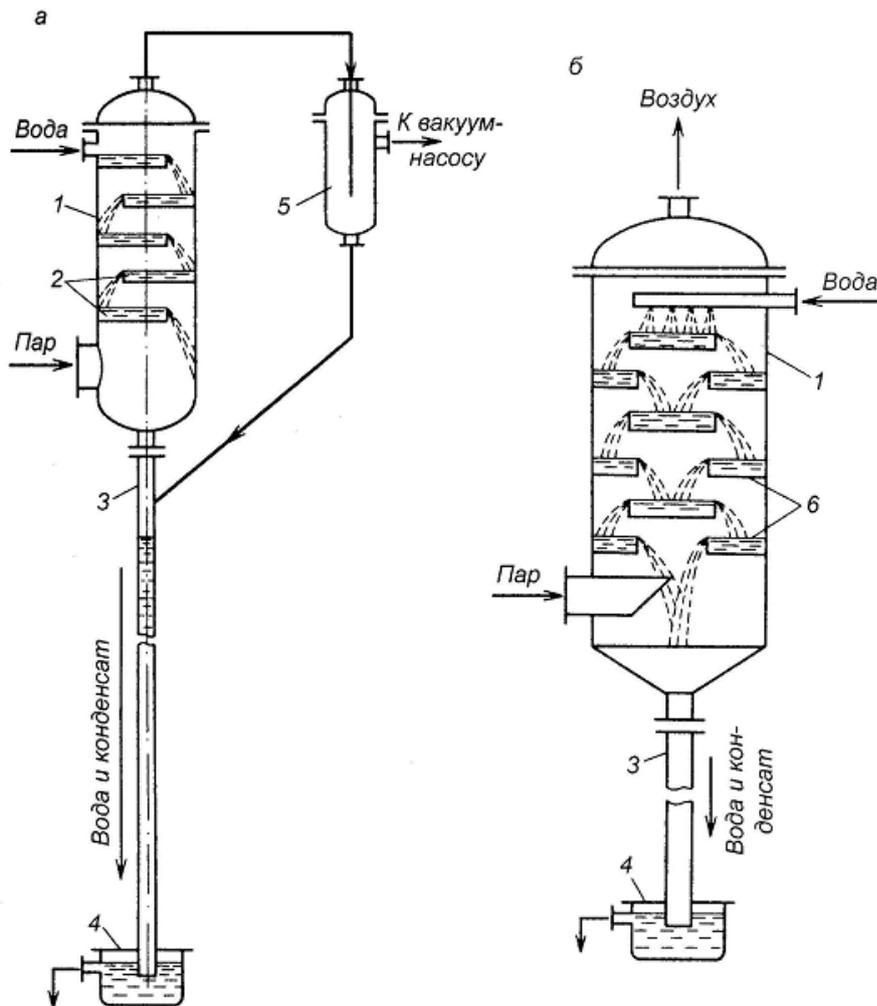
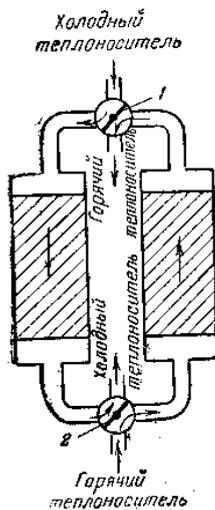


Рис. 2.6.23. Барометрические конденсаторы с полками: а – противоточный полочный барометрический конденсатор; б - противоточный барометрический конденсатор с кольцевыми полками; 1 - корпус; 2 - полки; 3 –барометрическая труба; 4 - емкость; 5 - ловушка; 6- кольцевые полки

2.6.7 Регенеративные теплообменники

Регенеративные теплообменники с неподвижной насадкой (рис. 2.6.24.).

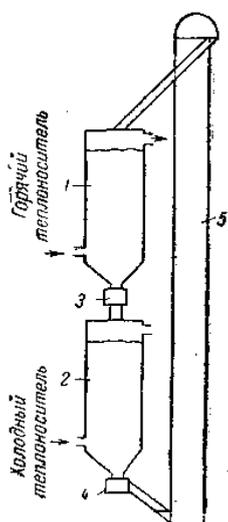


В качестве насадки используют: огнеупорные кирпичи, металлические пластины, шары, гофрированную ленту. В период нагревания насадки через аппарат пропускают горячий теплоноситель. Тепло нагревает насадку и в ней аккумулируется. В период охлаждения насадки через аппарат пропускают холодный теплоноситель, который нагревается за счет тепла, аккумулированного насадкой. Оба периода продолжаются от нескольких минут до нескольких часов. Переключение регенераторов автоматически.

Рис. 2.6.24. Схема регенератора с неподвижной насадкой: 1,2-клапаны

Регенеративный теплообменник с движущейся насадкой

Движущаяся насадка представляет собой твердые частицы и шарики из каолина, оксида алюминия, магния, циркония, диабазы и других жаростойких материалов размером 8-12 мм. Тепло передается от горячего теплоносителя к холодному при помощи насадки, непрерывно циркулирующей через оба регенератора. Переключение регенераторов не нужно.



Недостатки регенеративных теплообменников: необходимость переключения регенераторов или транспортирования насадки; невозможность избежать смешения теплоносителей.

Достоинства: возможность нагрева до высоких температур (более 500°C), глубокого охлаждения (до -200°C).

Рис. 2.6.25. Схема регенератора с движущейся насадкой: 1,2-регенераторы; 3,4 –затворы; 5 –элеватор

Теплообмен в кипящем (псевдооживленном) слое

Складывается из конвективного переноса теплоты от сжижающего агента к твердым частицам и переноса теплоты внутри самих частиц. Благодаря интенсивному перемешиванию твердых частиц, в кипящем слое выравнивается поле температур, что исключает местные перегревы.

Теплообмен осуществляется:

- между частицами твердого материала и газовым потоком,
- между кипящим слоем и поверхностью теплообмена, расположенной в слое или вне аппарата.

Теплообмен между частицами твердого материала и газовым потоком зависит от состояния слоя.

При теплообмене между кипящим слоем и стенкой теплообменная поверхность помещается внутри слоя в виде змеевиков, труб или теплота передается через стенки аппарата. Коэффициент теплоотдачи между взвешенным слоем и поверхностью теплообмена увеличивается с повышением скорости газа до определенного максимального значения. При дальнейшем повышении скорости газа уменьшается объемная концентрация частиц, увеличивается порозность слоя и уменьшается коэффициент теплоотдачи. Коэффициенты теплоотдачи к погруженной в слой поверхности составляют $100-1100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Теплообменные аппараты с псевдооживленным слоем бывают непрерывного и периодического действия. Из периодически действующих аппаратов твердые частицы не выводятся до своей полной отработки. В аппаратах непрерывного действия осуществляют постоянный вывод отработанных твердых частиц и замена их свежим зернистым материалом.

Для получения противотока дисперсных частиц и газа в аппаратах непрерывного действия применяют последовательное секционирование псевдооживленных слоев. Секционирование применяют также для увеличения равномерности времени пребывания материала.

2.6.8 Выпарные аппараты

Выпаривание – это процесс концентрирования растворов различных веществ путем частичного удаления растворителя при кипении раствора. Сущность выпаривания заключается в переводе растворителя в парообразное состояние и отводе полученного пара.



Рис.2.6.26. Выпарные установки

Выпаривание применяют для:

- концентрирования растворов нелетучих веществ;
- выделения из раствора чистого растворителя (дистилляция);
- кристаллизации растворенных веществ, т.е. выделения нелетучих веществ в твердом виде;
- концентрирования водных растворов щелочей (едкое кали и едкий натр), солей ($NaCl$, NH_4NO_3 , Na_2SO_4);

- регенерации различных растворов с целью возврата их в технологический цикл;
- термического обезвреживания промышленных стоков.

Выпарные аппараты и установки являются важнейшим оборудованием в химической, пищевой, витаминной и других отраслях промышленности. Они снабжают завод греющим паром, а также обеспечивают котельные установки горячими конденсационными водами.

Различают три основных способа выпаривания:

- простое (однокорпусное), которое проводят в непрерывном или периодическом режиме;
- многократное (многокорпусное), проводимое только в непрерывном режиме;
- с применением теплового насоса

Классификация выпарных аппаратов

Выпарные аппараты бывают периодического и непрерывного действия.

Их классифицируют по следующим признакам:

- роду теплоносителей или методу обогрева;
- расположению и виду поверхности теплообмена (компоновке и конструкции поверхности нагрева);
- расположению рабочих сред;
- режиму и кратности циркуляции раствора.

По **методу обогрева** выпарные аппараты бывают: с газовым обогревом; с обогревом жидким теплоносителем (даутерм, кремнийорганические жидкости и др.); с паровым обогревом; с непосредственным обогревом теплоносителем (за счет барботажа или погружного горения); с электрообогревом.

Наибольшее применение получили аппараты с паровым обогревом, потому что водяной пар обладает высокой скрытой теплотой конденсации, высоким коэффициентом теплоотдачи. Паровой обогрев характеризуется гибкостью регулирования.

По **расположению поверхности теплообмена** выпарные аппараты могут быть вертикальными, горизонтальными и реже наклонными. Поверхность теплообмена может быть конструктивно оформлена в виде пучка труб, змеевика или в виде паровой рубашки.

По **расположению рабочих сред** выпарные аппараты подразделяют на аппараты с подачей греющего пара в трубки (кипение раствора в большом

объеме корпуса) и подачей греющего пара в межтрубное пространство (кипение раствора в трубках).

По **режиму движения кипящей жидкости** выпарные аппараты бывают со свободной, естественной, принудительной циркуляцией и пленочные.

По **кратности циркуляции** выпарные аппараты бывают с однократной и многократной циркуляцией кипящего раствора.

Существует большое разнообразие конструкций выпарных аппаратов. В настоящее время есть тенденция к сокращению количества типов и конструктивных разновидностей аппаратов за счет унификации узлов и деталей.

Способы выпаривания

Для нагревания выпариваемых растворов до кипения используют топочные газы, электрообогрев и высокотемпературные теплоносители. Наибольшее применение находит водяной пар, характеризующийся высокой удельной теплотой конденсации и высоким коэффициентом теплоотдачи. Пар, используемый для обогрева аппарата, называют **первичным**, а пар, образующийся при кипении раствора, - **вторичным**.

Нагревание выпариваемого раствора в большинстве аппаратов осуществляется путем передачи теплоты через стенку и только при обогреве топочными газами – путем непосредственного соприкосновения их с нагреваемым раствором.

Выпаривание ведут **под вакуумом, при атмосферном и повышенном давлении**.

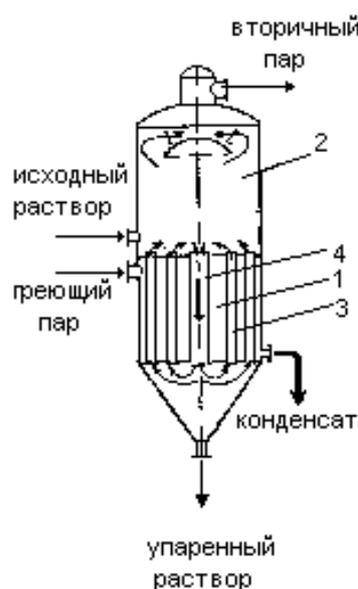
При выпаривании под **вакуумом** снижается температура кипения раствора, что дает возможность использовать для обогрева аппарата пар низкого давления. Этот способ применим при выпаривании растворов, чувствительных к высокой температуре. Кроме того, в этом случае снижаются потери теплоты в окружающую среду, увеличивается полезная разность температур греющего пара и кипящего раствора. Это позволяет сократить поверхность теплообмена и габариты аппарата. Вакуум в аппаратах создаётся конденсацией вторичного пара и отсасыванием не сконденсировавшейся паровоздушной смеси вакуум-насосом. Применение вакуума дает возможность использовать в качестве греющего агента, кроме первичного пара, вторичный пар самой выпарной установки, что снижает расход первичного греющего пара. Однако применение вакуума увеличивает стоимость выпарной установки, поскольку требуются дополнительные затраты на устройства для создания вакуума (конденсаторы, ловушки, вакуум-насосы) и их эксплуатацию.

При выпаривании под **атмосферным давлением**, образующийся вторичный пар обычно не используется и выбрасывается в **атмосферу**. Такой способ выпаривания является наиболее простым, но наименее экономичным.

Выпаривание **под повышенным** давлением вызывает увеличение температуры кипения раствора и дает возможность использования вторичного пара для обогрева других корпусов выпарной установки с меньшим давлением. Кроме того, вторичный пар может быть использован для других технологических целей. Вторичный пар, отбираемый на сторону, называют **экстра-паром**. Отбор экстра-пара при выпаривании под избыточным давлением позволяет лучше использовать тепло, чем при выпаривании под вакуумом. Однако выпаривание под избыточным давлением сопряжено с повышением температуры кипения раствора. Поэтому данный способ применяют лишь для выпаривания термически стойких веществ. Кроме того, для выпаривания под давлением необходимы греющие агенты с более высокой температурой.

2.6.9 Простое выпаривание. Однокорпусные выпарные установки

Процесс осуществляют на установках небольшой производительности. Проведение процессов выпаривания в однокорпусных установках под вакуумом позволяют осуществлять процессы при более низких температурах. Однако для обеспечения более высокой производительности в этом случае требуется повышенное энергопотребление. В однокорпусных аппаратах расход греющего пара составляет 1,20 —1,25 кг на испарение 1 кг воды. Схема однокорпусной выпарной установки непрерывного действия с внутренней центральной циркуляционной трубой представлена на рис. 2.6.27.



Аппарат состоит из теплообменного устройства — нагревательной (греющей) камеры 1 и сепаратора 2. Камера и сепаратор могут быть объединены в одном аппарате, или камера может быть вынесена и соединена с сепаратором трубами. Камера обогревается обычно насыщенным водяным паром, поступающим в ее межтрубное пространство. Конденсат отводят снизу камеры. Поднимаясь по трубам 3, выпариваемый раствор нагревается и кипит с образованием вторичного пара.

Рис.2.6.27. Схема однокорпусной выпарной установки непрерывного действия: 1- греющая камера, 2- сепаратор, 3 - трубы греющей камеры, 4 – циркуляционная труба

Отделение пара от жидкости происходит в сепараторе 2. Освобожденный от брызг и капель вторичный пар удаляется из верхней части сепаратора. Часть жидкости опускается по циркуляционной трубе 4 под нижнюю трубную решётку греющей камеры. Вследствие разности плотностей раствора в трубе 4 и парожидкостной эмульсии в трубах 3 жидкость циркулирует по замкнутому контуру. Упаренный раствор удаляется через штуцер в днище аппарата.

Если выпаривание производится под вакуумом, то вторичный пар отсасывается в конденсатор паров, соединенный с вакуум-насосом. Упаренный раствор удаляется из конического днища аппарата.

Материальный баланс простого выпаривания может быть выражен двумя способами:

- общий материальный баланс:

$$G_n = G_k + W \quad (2.6.12.)$$

G_n, G_k – массовый расход соответственно исходного и упаренного растворов, кг/с;

W – массовый расход вторичного пара или выпариваемой воды, кг/с

- материальный баланс по сухому веществу, находящемуся в растворе:

$$G_n \cdot a_n = G_k \cdot a_k \quad (2.6.13.)$$

a_n и a_k – массовые доли растворенного вещества соответственно в исходном и упаренном растворах

Уравнение **теплового баланса** имеет вид:

$$G_{gp} I_{gp} + G_n c_n T_n = G_k c_k T_k + W I_{вт} + G_{gp} I_{конд} + Q_n \quad (2.6.14.)$$

G_{gp} – массовый расход греющего пара, кг/с; $I_{gp}, I_{вт}, I_{конд}$ – удельная энтальпия греющего пара, вторичного пара и конденсата, Дж/кг; c_n, c_k – удельная теплоемкость исходного и конечного растворов, Дж/(кг · К); T_n, T_k – температура исходного раствора на входе в аппарат и конечного на выходе из него, К; Q_n – потери теплоты в окружающую среду, Вт

Под **энтальпией (теплосодержанием)** понимают сумму внутренней энергии и потенциальной энергии давления.

2.6.10 Многократное выпаривание. Многокорпусные выпарные установки

Сущность этого способа состоит в том, что выпаривание проводят в нескольких последовательно соединенных аппаратах. Давление в аппаратах поддерживается на таком уровне, чтобы вторичный пар предыдущего аппарата мог быть использован как греющий пар в последующем аппарате. Установки для многократного выпаривания всегда имеют несколько корпусов и поэтому называются многокорпусными. Многокорпусные выпарные установки могут быть прямоточными, противоточными и комбинированными.

С целью снижения энергозатрат (в виде расхода греющего или первичного пара) используют многокорпусные выпарные установки. В таких установках раствор и образующийся пар параллельно перемещаются из корпуса в корпус. При этом происходит непрерывное концентрирование раствора. Вторичный пар из предыдущего корпуса направляется в последующий корпус в качестве греющего пара. За счет использования вторичного пара происходит экономия первичного.

Так, например, использование двухкорпусной установки дает экономию пара в два раза, использование трехкорпусной – в три раза и т.д. Однако при этом процессы выпаривания в первых корпусах по ходу движения раствора осуществляются при более высоких температурах, чем в последующих.

На практике число корпусов редко бывает больше пяти, так как дальше полезная разность температур становится очень малой. Расход греющего пара на испарение 1кг выпариваемой воды составляет для трёхкорпусной установки 0,4кг, а для пятикорпусной 0,25—0,28 кг. Многокорпусные выпарные установки широко применяются в производствах, потребляющих большое количество греющего пара (например, производство сахара).

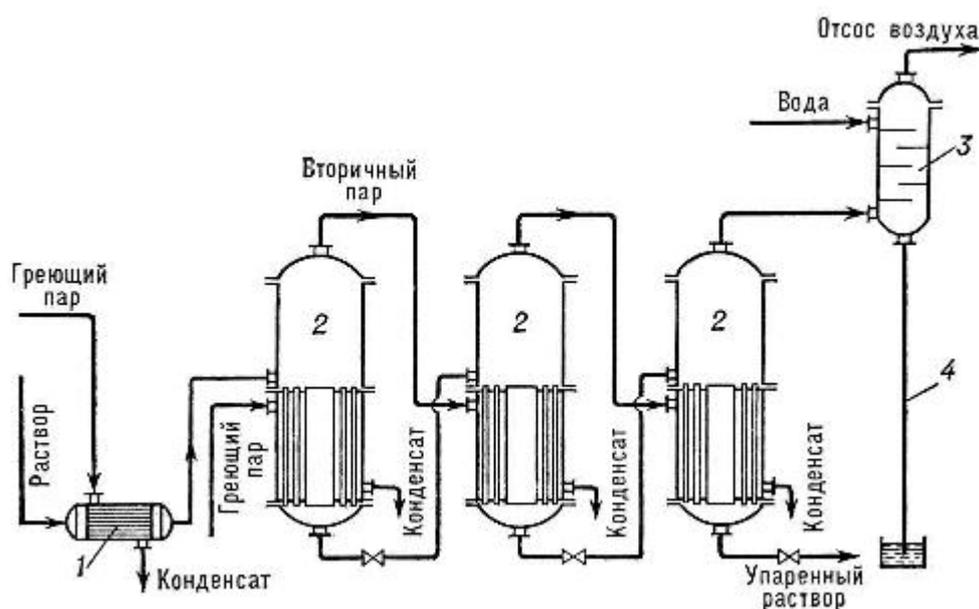


Рис. 2.6.28 Многокорпусная прямоточная выпарная установка: 1-подогреватель; 2 — выпарные аппараты; 3 — конденсатор; 4 — барометрическая труба

Значительно экономнее многокорпусные выпарные установки, из которых наиболее распространены **прямоточные** (рис.2.6.28.). В таких установках раствор с низкой концентрацией вещества и греющий пар движется в одном направлении, последовательно поступая в выпарные аппараты. В последнем аппарате, присоединённом к барометрическому конденсатору и вакуум-насосу, создаётся разрежение. Вследствие этого давление и температура кипения раствора постепенно понижаются от первого корпуса к последнему. Благодаря этому осуществляется переток раствора и его испарение при обогреве вторичными парами.

В **противоточных** установках раствор и греющий пар движется навстречу друг другу, при параллельном питании слабый раствор подаётся одновременно во все корпуса.

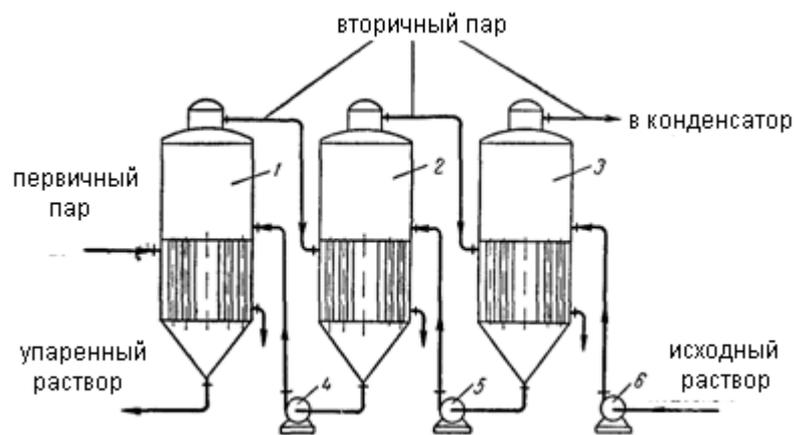


Рис. 2.6.29. Многокорпусная противоточная выпарная установка: 1,2,3 – выпарные аппараты; 4,5,6 – насосы

В **многокорпусных противоточных установках** (рис.2.6.29.) в первом корпусе наиболее концентрированный раствор выпаривается за счет тепла пара наиболее высоких параметров. В последнем корпусе исходный раствор самой низкой концентрации получает тепло от вторичного пара, имеющего наиболее низкие давление и температуру. Поэтому при противотоке коэффициенты теплопередачи значительно меньше изменяются по корпусам, чем при прямотоке. Однако необходимость перекачивания выпариваемого раствора из корпусов, где давление меньше, в корпуса с более высокий давлением является серьезным недостатком противоточной схемы, так как применение промежуточных циркуляционных насосов (насосы 4 и 5 на рис.2.6.29.) связано со значительным возрастанием эксплуатационных расходов.

Противоточные выпарные установки используют при выпаривании растворов до высоких конечных концентраций, когда в последнем корпусе (по ходу раствора) возможно нежелательное выпадение твердого вещества. Кроме того, по такой схеме выпаривают растворы, вязкость которых резко возрастает с увеличением концентрации раствора.

По схеме с **параллельным питанием корпусов** (рис. 2.6.30.) исходный раствор поступает одновременно во все три корпуса установки. Упаренный раствор, удаляемый из всех корпусов, имеет одинаковую конечную концентрацию.

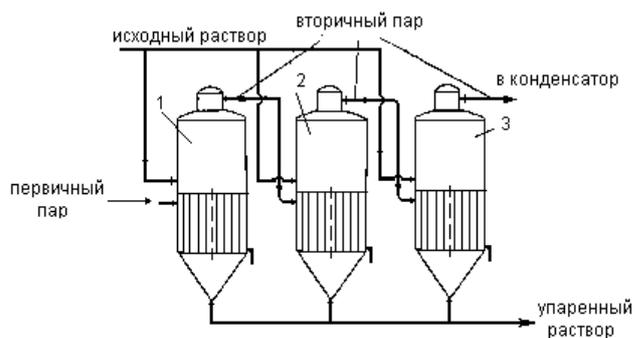


Рис. 2.6.30. Многокорпусная выпарная установка с параллельным питанием корпусов: 1,2,3 – выпарные аппараты

Установки такой схемы используют, главным образом, при выпаривании насыщенных растворов, в которых находятся частицы выпавшей твердой фазы (что затрудняет перемещение выпариваемого раствора из корпуса в корпус), а также в тех процессах выпаривания, где не требуется значительного повышения концентрации раствора.

2.6.11 Выпарные установки с тепловым насосом

В выпарных аппаратах с тепловым насосом (или с термокомпрессией вторичного пара) вторичный пар сжимается до давления греющего пара и используется для обогрева того же аппарата, в котором он образуется (рис.2.6.31.).

Для сжатия пара применяют компрессоры или пароструйные инжекторы.

Таким образом, в тепловых насосах, или трансформаторах тепла, затрачиваемая извне энергия используется для повышения температуры вторичного пара.

При пуске аппарата раствор подогревается свежим паром до кипения, после чего выпаривание производится за счет работы, затрачиваемой в компрессоре (механическое выпаривание). При этом теоретически добавки свежего пара не требуется; на практике, в связи с расходом тепла на подогрев раствора и потерями в окружающую среду, обычно добавляют немного пара со стороны.

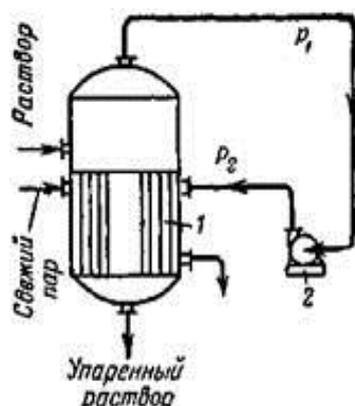


Рис. 2.6.31. Выпарная установка с механическим тепловым насосом: 1 – выпарной аппарат; 2 – турбокомпрессор

2.6.12 Конструкции выпарных аппаратов

1. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, вынесенной греющей камерой и кипением раствора в трубках (рис.2.6.32.-1).
2. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, соосной греющей камерой, вынесенной зоной кипения и солеотделением (рис.2.6.32.-2).
3. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, выносными греющей камерой и зоной кипения (рис.2.6.32.-3).
4. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией, соосной греющей камерой и солеотделением (рис.2.6.32.-4).

5. Выпарные пленочные аппараты с восходящей пленкой и соосной греющей камерой (рис.2.6.32. -5).

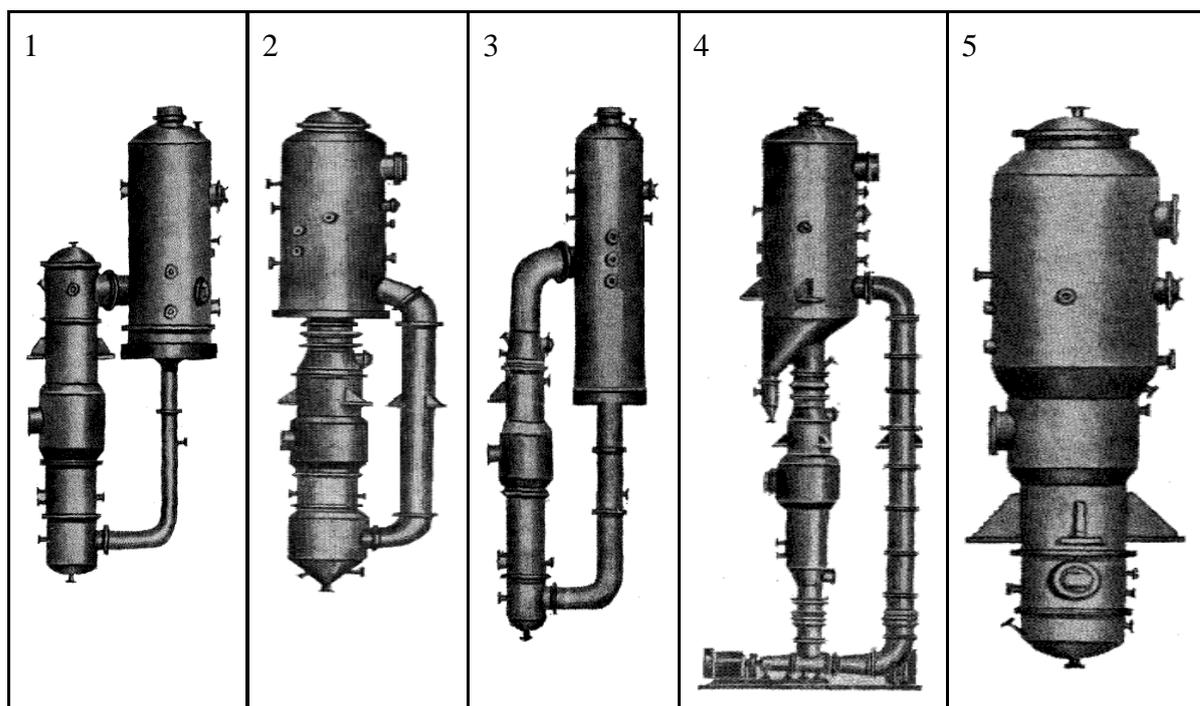


Рис. 2.6.32. Типы выпарных аппаратов

В выпарных аппаратах с естественной циркуляцией (рис. а) обычно имеется центральная циркуляционная труба. Диаметр её значительно больше диаметра кипятильных труб. Вследствие этого находящийся в ней раствор нагревается медленнее, чем в кипятильных трубах. Вес столба жидкости в циркуляционной трубе больше, чем в кипятильных трубах. Благодаря этому происходит циркуляция кипящей жидкости, происходит увеличение коэффициента теплоотдачи, уменьшается вероятность образования накипи на поверхности труб. Аппарат с центральной циркуляционной трубой прост по конструкции. Одновременно с этим наличие обогреваемой центральной циркуляционной трубы снижает интенсивность циркуляции.

Для **выпаривания кристаллизующихся и пенящихся растворов** применяют аппараты с **выносным кипятильником или пленочного типа**. В таком случае трубы кипятильника могут иметь большую длину (до 6 м), что способствует интенсификации циркуляции (рис. 2.6.33.)

Выпарные аппараты с **принудительной циркуляцией** используют тогда, когда необходимо повысить коэффициент теплопередачи между греющим паром и раствором и повысить интенсивность циркуляции. Греющая камера такого аппарата обычно снабжена наружной циркуляционной трубой. Циркуляцию жидкости осуществляют с помощью насоса. Поддерживают уровень жидкости ниже верхнего среза кипятильных труб.

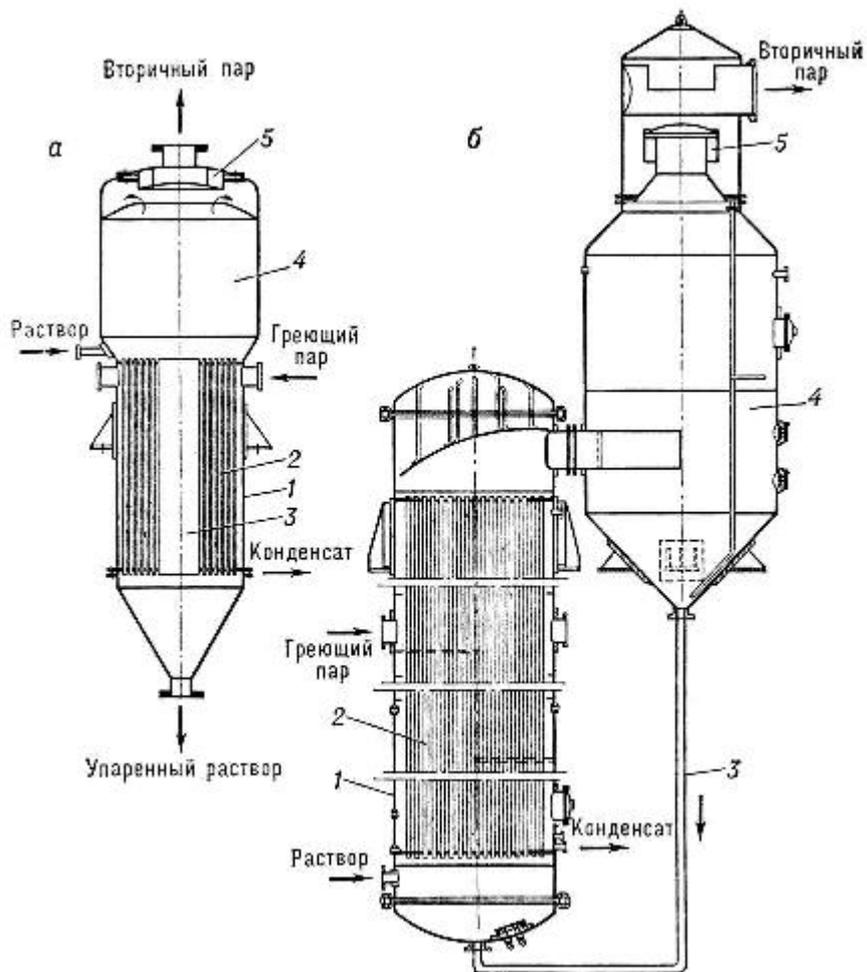


Рис. 2.6.33. Выпарные аппараты: **а** - с центральной циркуляционной трубой; **б** - с выносной нагревательной камерой; 1 - корпус; 2 - нагревательные трубки; 3- циркуляционная труба; 4 - сепаратор; 5 - отбойник.

Несмотря на высокие значения коэффициента теплопередачи, такие установки требуют дополнительных затрат энергии на работу насоса.

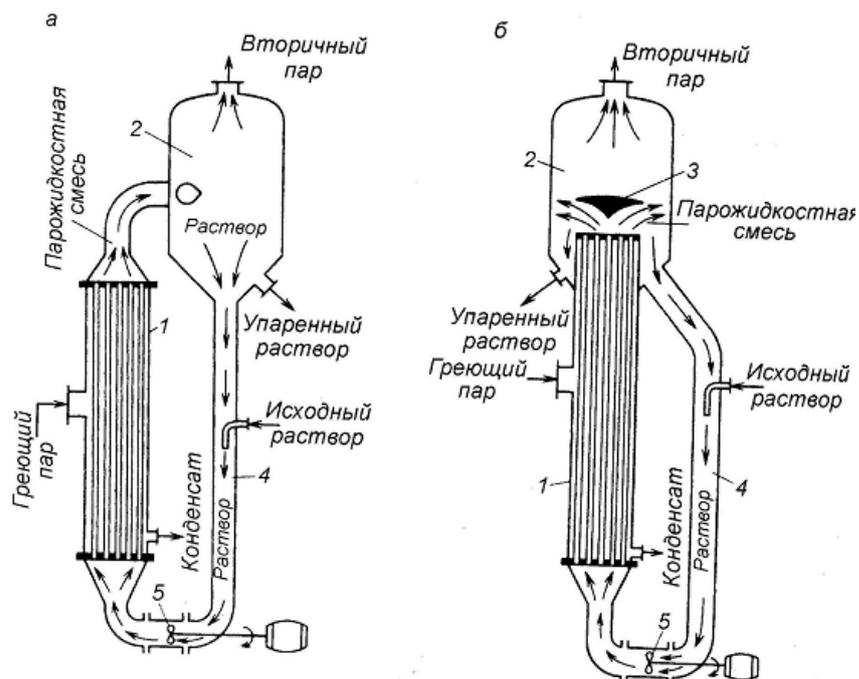


Рис. 2.6.34. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией: а – с вынесенной нагревательной камерой; б – с вынесенной циркуляционной трубой; 1 – нагревательная камера; 2 – сепаратор; 3 – брызгоуловитель; 4 – циркуляционная труба; 5 - насос

Пленочные выпарные аппараты

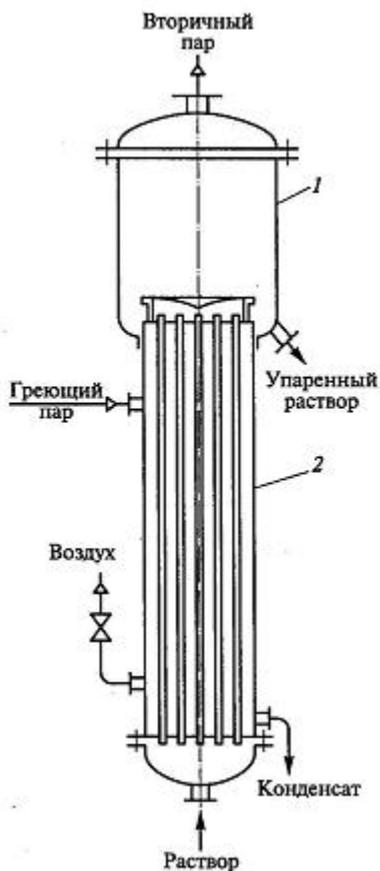


Рис. 2.6.35. Пленочный выпарной аппарат: 1- сепаратор; 2 - кипятильник

В пленочных аппаратах раствор движется вдоль поверхности теплообмена в виде тонкой пленки. Пленочные аппараты с вертикальными трубами (рис.2.6.35.) состоят из пучка кипяtilьных труб, обогреваемых снаружи паром и присоединенных сверху к сепаратору. Жидкость подается снизу, причем уровень ее поддерживается на $1/4 - 1/5$ высоты труб. Остальная часть высоты труб заполнена парожидкостной смесью, расслаивающейся на пленку жидкости (около стенок) и пар (в центре). Трением о струю пара жидкая пленка увлекается вверх; поэтому такие аппараты часто называют аппаратами с поднимающейся пленкой.

Пленочные аппараты обладают высоким коэффициентом теплопередачи, который достигается лишь при определенном уровне жидкости. Его устанавливают опытным путем. При повышении уровня жидкости коэффициент теплопередачи снижается; при понижении уровня уменьшается содержание жидкости в парожидкостной смеси.

Это приводит к недостаточному смачиванию верхних концов труб и снижению активной поверхности теплообмена. Ввиду однократного прохождения жидкости через аппарат со значительной скоростью, для получения достаточно концентрированного упаренного раствора требуются длинные трубы (обычно 6 – 9 м).

Недостатками вертикальных пленочных аппаратов являются трудность очистки длинных труб и сложность регулирования процесса при колебаниях давления греющего пара и начальной концентрации раствора. Кроме того, для размещения пленочных аппаратов необходимо строить производственные здания большой высоты. Эти аппараты применяют для выпаривания пенящихся, а также чувствительных к высокой температуре растворов. При выпаривании очень вязких и кристаллизующихся растворов они не используются. Пленочные аппараты производят с поверхностью теплообмена от 100 до 900м².

Аппарат с поднимающейся пленкой (рис. 2.6.36.) состоит из нагревательной камеры 1, представляющей собой пучок труб небольшого диаметра (15-25мм) длиной 7-9м, и сепаратора 2. Раствор на выпаривание поступает снизу в трубы нагревательной камеры, межтрубное пространство которой обогревается греющим паром. На уровне, соответствующем обычно 20 – 25 % от высоты труб, наступает интенсивное кипение. Пузырьки вторичного пара сливаются и пар, быстро поднимаясь по трубам, за счет поверхностного трения увлекает за собой раствор. При этом жидкость перемещается в виде пленки, поднимающейся по внутренней поверхности труб. Таким образом, выпаривание происходит в тонком слое. Вторичный пар, выходящий из труб, содержит капли жидкости, которые отделяются от пара с помощью отбойника 3 и центробежного брызгоуловителя 4. В брызгоуловитель влажный пар поступает тангенциально и ему сообщается вращательное движение. Под действием центробежной силы капли жидкости отбрасываются к периферии, жидкость стекает вниз, а пар удаляется сверху из аппарата.

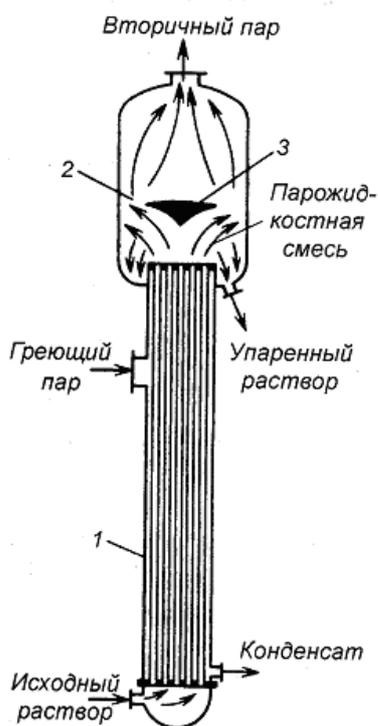


Рис. 2.6.36. Выпарной аппарат с поднимающейся пленкой

Прямоточные выпарные аппараты ближе к аппаратам идеального вытеснения, в то время как аппараты с многократной циркуляцией приближаются к аппаратам идеального смешения. Вместе с тем в прямоточных аппаратах раствор проходит по кипящим трубкам однократно. Поэтому время пребывания его мало и аккумуляющая способность этих аппаратов низка, что важно при выпаривании термически нестойких веществ.

Оптимальные условия работы выпарного аппарата

Для создания в выпарном аппарате оптимальных технологических, конструктивно-эксплуатационных и технико-экономических показателей необходимо стремиться **увеличить коэффициент теплопередачи**. Максимальный коэффициент теплопередачи достигается, если термические сопротивления с обеих сторон стенки минимальны. Следовательно, необходимо создавать такие условия работы выпарного аппарата, чтобы на поверхности теплообмена не откладывались осадки и не скапливались в трубном или межтрубном пространстве неконденсирующиеся газы.

Для повышения интенсивности теплообмена в выпарном аппарате надо создавать **максимально возможную скорость циркуляции раствора**. При большой скорости циркуляции увеличивается коэффициент теплопередачи и создаются благоприятные условия для предупреждения отложения осадков на поверхности теплообмена. Оптимальный режим работы выпарного аппарата достигается при минимальных тепловых потерях с отходящим конденсатом и при получении необходимого количества вторичных паров заданных параметров. В аппаратах с одинаковой поверхностью теплообмена максимальный коэффициент теплопередачи достигается в том выпарном аппарате (с естественной циркуляцией), в котором поддерживается **оптимальный уровень кипящей жидкости**. По опытным данным исследователей, оптимальный уровень находится в пределах 30-70% в зависимости от плотности, концентрации раствора и напряжения поверхности нагрева. Уровень раствора в трубках увеличивается с увеличением плотности и концентрации. Практически за оптимальный уровень принимают такой, при котором верхняя часть поверхности теплообмена покрыта кипящей жидкостью. Чрезмерное понижение и повышение уровня жидкости против оптимального снижает коэффициент теплопередачи и интенсивность работы аппарата.



2.6.13 Контрольные вопросы по теме «Тепловые процессы и аппараты»

- Какими способами осуществляется передача тепла? Приведите примеры.
- Напишите выражение для уравнения теплового баланса
- Что такое коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи?
- Что является движущей силой тепловых процессов? Как рассчитывается средняя разность температур? Нарисуйте схемы противотока и прямотока и покажите на них расчет средней движущей силы теплового процесса.
- Перечислите достоинства водяного пара как теплоносителя. Когда его применяют?
- В чем преимущества и недостатки нагревания с помощью дымовых газов?
- Перечислите способы нагревания с помощью электрического тока.
- Какие охлаждающие агенты применяются для охлаждения до температуры 10-30°C?
- Какие конструкции теплообменников Вы знаете?
- Какие компенсационные устройства используют в теплообменниках и для чего?
- Что называется процессом выпаривания?
- Как осуществляется выпаривание в однокорпусной установке?
- Напишите уравнение материального и теплового баланса простого выпаривания.
- Опишите устройство и принцип действия многокорпусных выпарных установок.
- Как классифицируются выпарные аппараты?
- Из чего состоит установка для выпаривания с тепловым насосом?

2.7 Сушилки

Сушка (обезвоживание, дегидратация; от англ. drying, dehydration) - это процесс удаления влаги из твердых и пастообразных материалов и отвода образующихся паров.

Процесс сушки может быть вызван удалением влаги или испарением при создании над поверхностью материала низкого давления паров воды. Сушка сложный термодинамический, диффузионный процесс. Аппараты для осуществления процесса сушки называются сушилками.

Сушке подвергают различные влажные тела:

- Твердые - коллоидные, зернистые, порошкообразные, кусковые, гранулированные, листовые, тканые пастообразные;
- жидкие - суспензии, эмульсии, растворы.

Данный процесс часто является последней технологической операцией, которая часто предшествует выпуску готового продукта. При этом жидкость предварительно удаляют более дешевыми механическими способами и окончательно - тепловыми.

В зависимости от способа подвода тепла для испарения жидкости и способа удаления образовавшихся паров различают следующие методы сушки:

- **конвективная сушка**, характеризующаяся прямым контактом влажного материала с потоком нагретого газа (воздухом, дымовыми газами, азотом и т.п.), который сообщает тепло, одновременно поглощая и унося с собой образовавшиеся пары;
- **контактная или кондуктивная сушка**, при которой тепло сообщается влажному материалу каким-либо теплоносителем через поверхность нагрева. При контакте с поверхностью теплообмена (плоская стенка, трубный пучок и т.п.) влажный материал нагревается. Испарившаяся жидкость уходит из материала в виде паров, которые удаляются из сушилки. В контактных сушилках часто создают вакуум, что позволяет проводить процесс сушки при меньшей температуре влажного материала.
- **сублимационная сушка**, при которой влага из предварительно замороженного состояния, минуя жидкое, переходит в парообразное состояние. Такой способ сушки осуществляется при глубоком вакууме и низких температурах.
- **радиационная сушка**, реализуемая путем передачи тепла инфракрасным излучением. Этот способ используют для высушивания тонколистовых материалов и лаковых покрытий;
- **диэлектрическая сушка**, при которой материал высушивается в поле тока высокой частоты. Такой способ применяется для сушки толстолистовых

материалов. Он позволяет регулировать температуру не только на его поверхности, но и в глубине материала;

Чаще всего встречается инфракрасный нагрев («ИК - сушка»), микроволновый («микроволновая сушка»), нагрев токами высокой частоты («УВЧ сушка»). Общим для всех этих видов является выделение энергии в объеме вещества за счет поглощения энергии электромагнитных волн. Важно отметить, что выделение тепла практически мало зависит от текущей температуры продукта, что ведет к возможности перегрева или сжигания продукта. Различие в этих методах заключается в глубине проникновения электромагнитных волн внутрь материала.

Таким образом, следует говорить о сушке с использованием микроволновой энергии («microwave assisted drying») или с использованием ИК энергии. С другой стороны понятие «вакуумная микроволновая сушка» - термин корректный.

Большое разнообразие способов подвода энергии и отвода парогазовой смеси рождает большое разнообразие сушильных установок

В процессах нефтегазопереработки и сланцепереработки наиболее часто приходится иметь дело с конвективной сушкой влажных материалов нагретым воздухом или горячими дымовыми газами и контактной сушкой, поэтому дальнейшее изложение материала ведется применительно к этим случаям сушки.

Виды связи влаги с материалом

Практически любой твердый материал способен поглощать влагу из окружающей среды или отдавать ее окружающей среде. Влажность материала называется равновесной, если этой влажности отвечает условие $p_m = p_n$, то есть равенство давления водяного пара во влажном материале p_m , которое обусловлено присутствием влаги и температурой, и парциальным давлением водяного пара p_n в окружающей среде. В этом случае достигается равновесие процессов испарения и поглощения влаги и процесс сушки прекращается.

По характеру связи влаги с твердым материалом различают следующие виды влаги:

- **поверхностная** — влага, находящаяся на поверхности твердого материала и в порах крупных частиц. Поверхностная влага испаряется с поверхности твердого материала, как со свободной поверхности воды;
- **капиллярная** — влага, находящаяся в мелких порах, образующих капилляры. Такая влага связана с твердым материалом более прочно, чем поверхностная, и имеет меньшую величину p_m ;
- **адсорбционно-химическая** — влага, связанная с твердым материалом за счет адсорбции или химического взаимодействия;
- **влага набухания** — влага, поглощенная телами, имеющими клеточную структуру.

Адсорбционно-химическая влага и влага набухания характеризуются еще меньшим значением p_m , поэтому они наиболее трудно поддаются удалению.

2.7.1 Конструкции сушилок

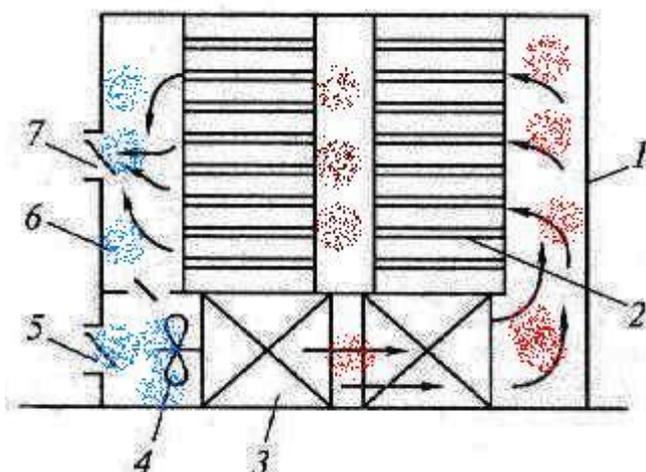


Рис.2.7.1. Камерная сушилка: 1 - камера; 2 - полка; 3 - калорифер; 4 - вентилятор; 5, 6, 7 - окна.

Камерные сушилки. Высушиваемый материал находится неподвижно на полках, установленных внутри сушильной камеры. Засасываемый вентилятором и нагретый в калориферах воздух проходит между полками над материалом. Сушилки работают периодически при атмосферном давлении и применяются в малотоннажных производствах для материалов с невысокой температурой сушки.

Достоинства: 1) сушка проводится периодически при атмосферном давлении; 2) материал сушится в неподвижном состоянии.

Недостатки: 1) большая продолжительность сушки; 2) неравномерность сушки; 3) потери тепла при загрузке и выгрузке; 4) трудные и негигиеничные условия обслуживания и контроля процесса; 5) сравнительно большой расход энергии.

Туннельные сушилки

Камерные сушилки непрерывного действия. Представляют собой длинные (типа коридора) камеры, внутри которых по рельсам перемещаются тележки (вагонетки) с лежащим на лотках или противнях высушиваемым материалом. Нагретый воздух обтекает лотки прямо- или противотоком; возможна рециркуляция воздуха.

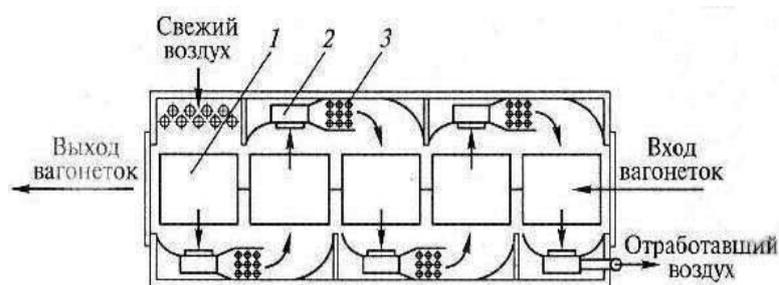


Рис. 2.7.2. Туннельная сушилка: 1- вагонетка; 2 - вентилятор; 3 - калорифер.

Эти сушилки используют для сушки кирпича, керамических изделий, окрашенных и лакированных металлических поверхностей и т.п.

По сравнению с камерными сушилками они более удобны, так как в них сушка идет непрерывно, но затрачивается много ручного труда при их обслуживании.

Туннельные сушилки используются при сушке штучных изделия, окрашенных и лакированных металлических поверхностей и т.п.

Достоинства: каждая зона может работать при различных температурах и влажности агента сушки. Основной недостаток: неравномерность сушки по высоте вагонетки из-за расслоения теплового газа.

Ленточные сушилки

Обычно выполняют в виде многоярусного ленточного транспортера, по которому в камере, действующей при атмосферном давлении, непрерывно перемещается материал, постепенно пересыпаясь с верхней ленты на нижележащие (скорость каждой ленты 0,1-1 м/мин).

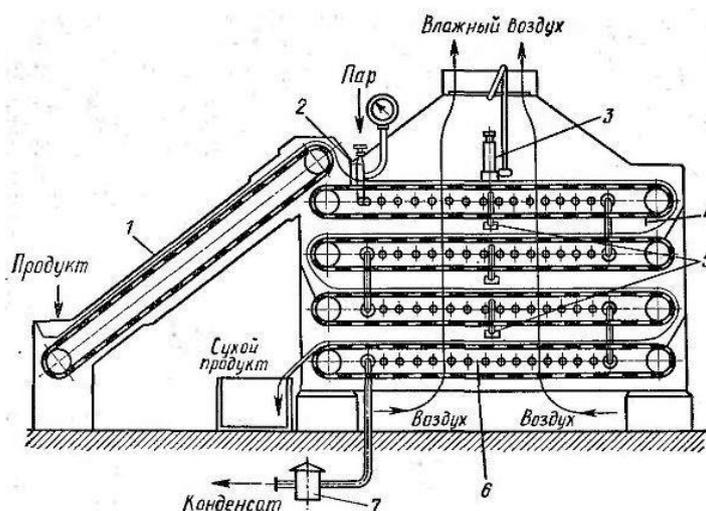


Рис. 2.7.3. Схема ленточной сушилки: 1 - питающий транспортер; 2 - шибер для разравнивания продукта; 3 - психрометр; 4 - скребки для очистки ленты; 5 - термометры; 6 - секции калорифера; 7 - конденсатоотводчик

Сушильный агент может двигаться со скоростью не более 1,5 м/с прямо- или противотоком, а также сквозь слой материала при наличии перфорированной ленты. Эти сушилки компактнее, чем камерные и туннельные, и отличаются большей интенсивностью сушки. Область применения: сушка зернистых, гранулированных, крупнодисперсных и волокнистых материалов; непригодны для сушки тонкодисперсных пылящих материалов.

Сушилки со взвешенным слоем характеризуются высокими относительными скоростями движения фаз и развитой поверхностью контакта. Основные гидродинамические режимы работы: пневмотранспорт; закрученные потоки; псевдооживление; фонтанирование. При существенном уменьшении в процессе сушки массы частиц дисперсного материала применяются режимы свободного фонтанирования и проходящего кипящего слоя. Среди этих сушилок наиболее распространены пневматические, вихревые камеры, аппараты с кипящим и фонтанирующим слоем, вибрационные.

Пневматические сушилки представляют собой одну или несколько последовательно соединенных труб одинаковой длины. В них через питатель подается влажный материал и вентилятором снизу нагнетается воздух, нагретый в калорифере. Материал увлекается потоком воздуха, движущимся со скоростью 15-25 м/с. В циклоне сухой материал отделяется от воздуха и удаляется через разгрузочное устройство; воздух через фильтр выводится в атмосферу. Для

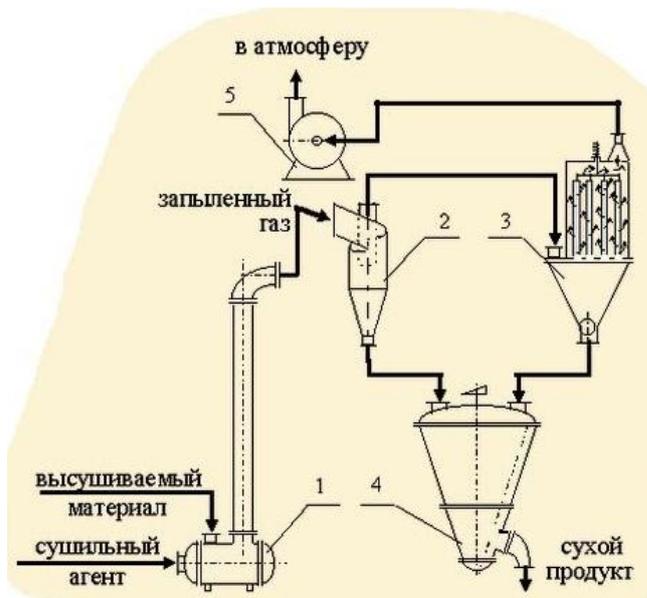


Рис.2.7.4. Схема процесса сушки в пневматической трубе - сушилке: 1 - сушилка; 2 - циклон; 3 - рукавный фильтр; 4 - усреднитель; 5 - вытяжной вентилятор

активизации режима сушки в трубе-сушилке вставляют турбулизаторы (расширители, отклоняющие пластины, завихрители и т.п.).

Вследствие кратковременности контакта (1-5 с) такие сушилки пригодны для обработки термически нестойких материалов даже при высокой температуре сушильного агента; их отличают также компактность, надежность и простота конструкции.

Вихревые сушильные камеры

- наиболее интересные представители аппаратов с закрученными потоками сушильного агента. Эти камеры представляют собой дисковые аппараты, напоминающие центробежный вентилятор с тангенциальным подводом теплоносителя. Влажный сыпучий или волокнистый материал загружается питателем через верхнюю или боковую часть камеры и под действием газовых струй закручивается, образуя в аппарате кольцевой вращающийся слой. Скорость истечения газа 50-80 м/с, время пребывания в камере материала 10-20 с и 2-3 мин для частиц размером соотв. 0,1-0,2 и 3-4 мм.

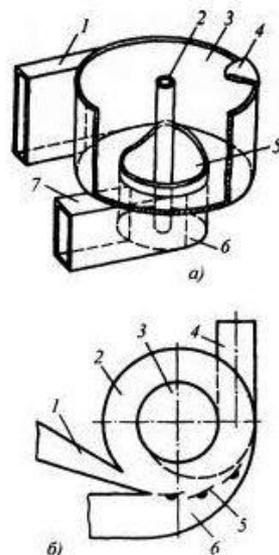
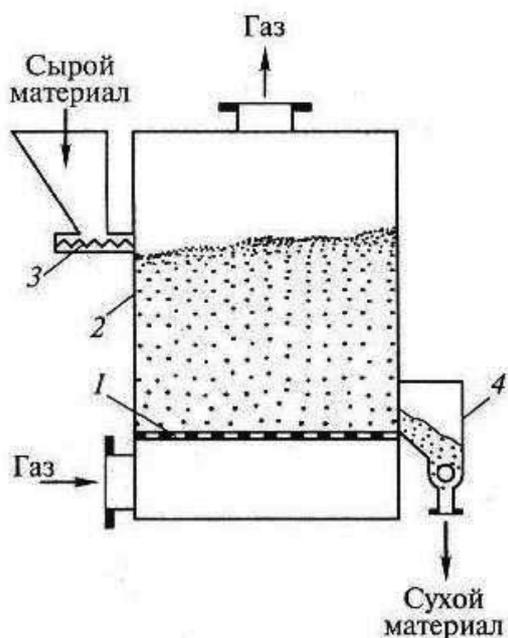


Рис. 2.7.5. Вихревая сушилка:

а - системы «Конвекс»; 1 - входной патрубок; 2 - труба для перекрытия мертвой зоны вихря; 3 - вихревая камера; 4 - крышка; 5 - кольцевой порожок для регулирования времени пребывания; 6 - улитка; 7 - выходной патрубок; б - с горизонтальной осью вихря; 1 - патрубок для ввода материала; 2 - корпус; 3 - выходное отверстие; 4 - улитка; 5 - жалюзийный газопровод; 6 - газоподводящий короб

Сушилки с кипящим слоем бывают постоянного, расширяющегося, прямоугольного, а также круглого сечения. Работа таких аппаратов существенно зависит от конструкции газораспределительных решеток, через них снизу продувается предварительно нагретый сушильный агент. Используют одно- и многосекционные сушилки. Сушилки с кипящим слоем обеспечивают большую равномерность высушивания материала. Аппараты с КС позволяют обрабатывать

разнообразные сыпучие материалы; сушка паст, суспензий и растворов возможна в кипящем слое инертных частиц.

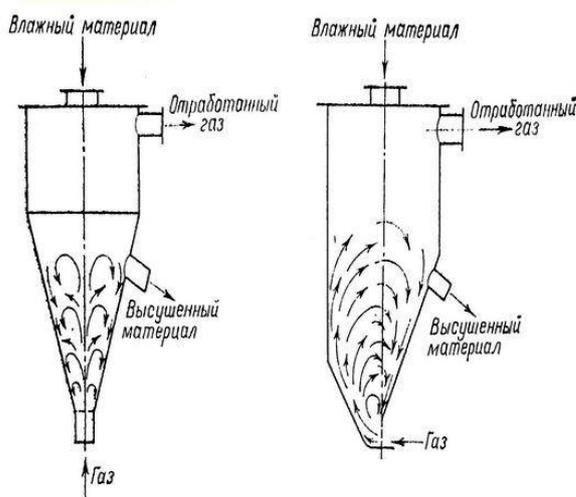


Достоинства: интенсивная сушка; возможность сушки при высоких температурах; высокая степень использования тепла сушильного агента; возможность автоматического регулирования параметров процесса.

Недостатки: непригодность для сушки материалов, трудно поддающихся псевдооживлению; высокое гидравлическое сопротивление; истирание и значительный унос твердых частиц.

Рис.2.7.6. Сушилка с кипящим слоем: 1-решетка; 2 - корпус; 3 - шнек питателя; 4-разгрузочное устройство.

Сушилки с фонтанирующим слоем - используются для сушки плохо псевдооживаемых зернистых материалов с более крупными частицами, чем в аппаратах с кипящим слоем.



В этих сушилках создается режим фонтана, в ядре которого частицы материала движутся вверх в режиме пневмотранспорта, а на периферии медленно сползают вниз.

Отличие состоит в том, что в аппарате с вихревым слоем теплоноситель подводится в слой тангенциально, решетка беспровальная, а в аппарате с фонтанирующим слоем ввод теплоносителя осуществляется снизу.

Рис.2.7.7. Схемы сушильных аппаратов: а) с фонтанирующим слоем; б) с вихревым слоем

2.7.2 Конструкции конвективных сушилок

В нефтегазопереработке и сланцепереработке встречаются разнообразные конструкции сушилок, многие из которых предназначены для сушки конкретных материалов в виде единичных установок.

Барabanная сушилка. Применяется для сушки сыпучих, зернистых и мелкокусковых материалов. В сушилках этого типа тепло сушильного агента непосредственно передается влажному материалу во вращающемся сушильном барабане. В качестве сушильного агента используется нагретый воздух или дымовые газы.

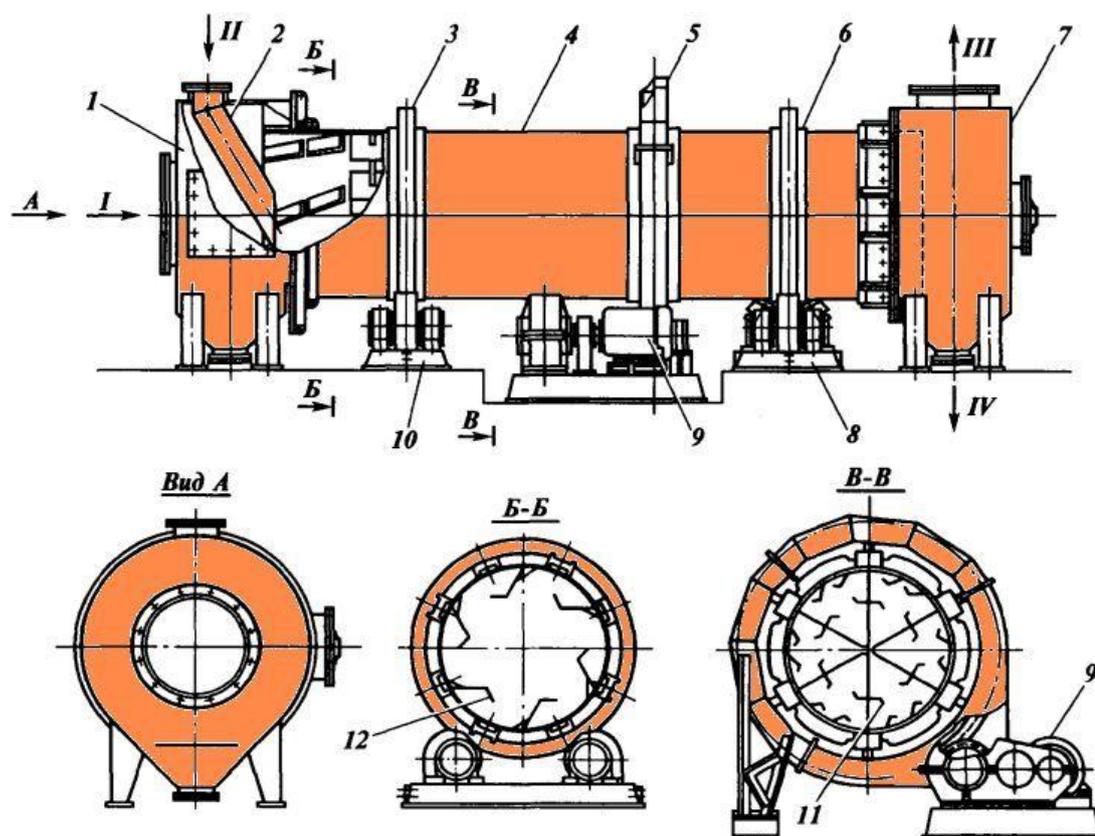


Рис.2.7.8. Барабанная сушилка. 1 - загрузочная камера; 2 - наклонный лоток; 3 - бандаж; 4 - барабан; 5 - зубчатый венец; 6 - кольцевые накладки; 7 - разгрузочная камера; 8 - упорные ролики; 9 - привод; 10 - опорные ролики; 11 - секторная перевалочная насадка; 12 - лопастная насадка.

Потоки: I - теплоноситель; II - исходный продукт; III - смесь теплоносителя и паров воды; IV - готовый продукт.

Основным узлом сушилки является цилиндрический сварной барабан 4, опирающийся бандажами 3 на опорные ролики 10. Для предотвращения продольного перемещения барабана служат упорные ролики 8. Барабан устанавливают с наклоном к горизонту ($1+4^\circ$) в сторону выгрузки продукта. Привод барабана осуществляется через зубчатый венец 5. Внутренняя полость барабана заполнена секторной перевалочной насадкой 11, обеспечивающей перераспределение материала по сечению барабана и лучший его контакт с

сушильным агентом. Во избежание сплющивания барабана он снабжен несколькими кольцевыми накладками 6, толщина которых в 1,5-2 раза превышает толщину барабана. На одном конце барабана установлена загрузочная камера 1 для ввода исходного продукта и теплоносителя, а на другом - разгрузочная 7 для вывода из аппарата готового продукта и отработанного теплоносителя. Для загрузки вращающихся барабанов предназначены питатели, установленные над загрузочной камерой.

Материал подается из питателя в барабан по наклонному лотку 2. Благодаря наклону и вращению барабана высушиваемый материал передвигается вдоль барабана, пересыпаясь и перераспределяясь на насадке 11. Между камерами и барабаном устанавливаются уплотнения для исключения подсоса наружного воздуха. Подсос воздуха в барабанной сушилке особенно нежелателен. Со стороны подачи горячего теплоносителя, так как при этом снижается температура теплоносителя и возрастает его скорость. Теплоноситель может двигаться прямооток или противоток по отношению к обрабатываемому материалу. Пройдя барабан, отработанный теплоноситель удаляется дымососом через циклон для улавливания мелких частиц твердого материала.

Барабаны сушилок имеют диаметры от 0,5 до 3,5 м при длине от 2,5 до 16 м. Частота вращения барабанов сушилок обычно составляет от 1 до 8 об/мин. Потребляемая мощность составляет от 0,75 до 200 кВт в зависимости от размеров сушилки. Степень заполнения объема барабана материалом достигает 20 %.

Для перераспределения материала в барабане служат различные насадки. Тип насадки зависит от свойств высушиваемого материала и условий сушки.

Для крупнокусковых и склонных к налипанию материалов применяется лопастная насадка для сыпучих материалов с мелкими частицами - распределительная насадка объемного типа, для материалов средней крупности, плохо сыпучих, легко измельчающихся пылящих применяют секторные перевалочные насадки для порошкообразных и сильно пылящих материалов — перевалочная насадка с закрытыми ячейками. Применяются насадки и других типов, что определяется спецификой процесса сушки. Насадки выпускаются секциями длиной 1 м.

Распылительные сушильные установки предназначены для сушки растворов и суспензий и обеспечивают интенсивное удаление влаги при кратковременном пребывании продукта в зоне теплового воздействия. Продукт, получаемый из распылительной сушилки, как правило, порошкообразный, не требует дополнительного измельчения, хорошо растворяется на последующих стадиях переработки.

Распылительная сушильная камера (рис.2.7.9.) представляет собой цилиндрическую камеру с коническим днищем. В верхней части камеры установлен центробежный распылитель или пневматические форсунки. В

качестве теплоносителя используется воздух или смесь топочных газов с воздухом.

Исходный продукт подается винтовым насосом-дозатором 3 на диск центробежного распылителя 4, диспергируется в объем сушильной камеры и высушивается смесью топочных газов с воздухом, поступающим из печи. Конструкция дисков центробежного распылителя различна в зависимости от свойств продукта и условий сушки. Для сушки абразивных материалов с целью повышения износостойкости рабочие элементы дисков выполняются с защитными покрытиями из специальных материалов.

Основная часть высушенного продукта выводится из сушильной камеры 5 шлюзовым питателем 8, установленным в центре конического днища. Отработанный теплоноситель, содержащий мелкую фракцию готового продукта, отводится из сушилки в группу циклонов 7, где происходит отделение порошка от теплоносителя. Продукт выгружается из циклонов шлюзовым питателем, а теплоноситель дымососом 6 выбрасывается в атмосферу. Диаметр сушильной камеры достигает 12,5 м, а производительность по исходному продукту - 32000 кг/ч.

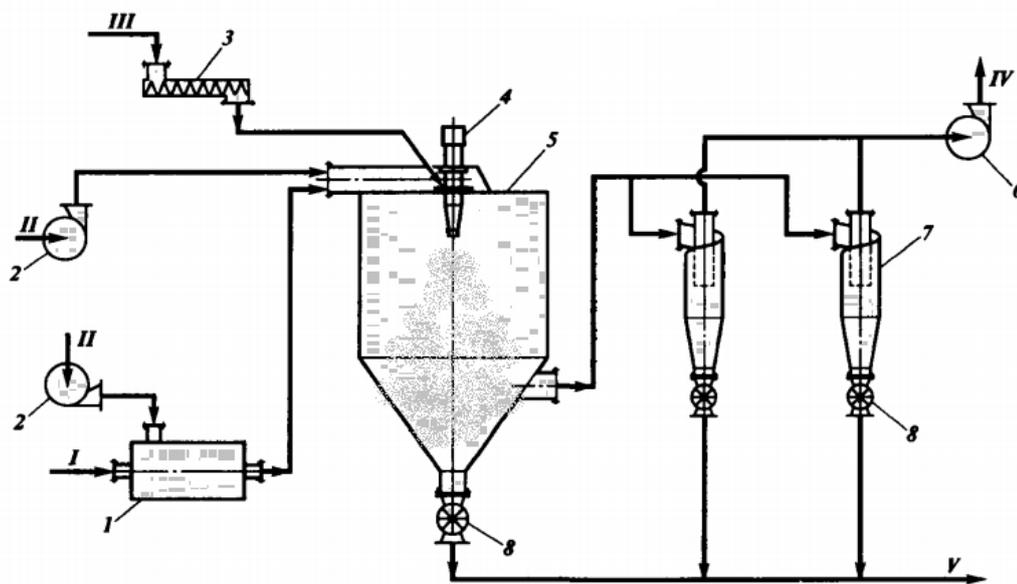


Рис. 2.7.9. Распылительная сушильная установка: 1 - печь; 2 - вентилятор; 3 - винтовой насос-дозатор; 4 - центробежный распылитель; 5 - сушильная камера; 6 - дымосос; 7 - циклон; 8 - шлюзовой питатель. Поток: I — газ; II — воздух; III — исходный продукт; IV — смесь паров влаги и теплоносителя; V — готовый продукт.

Основные достоинства распылительных сушилок:

- быстрота сушки;
- низкая температура сушки;
- возможность получения конечного продукта в виде тонкого порошка, не требующего дальнейшего измельчения и обладающего хорошей растворимостью.

Недостатки: большие размеры сушильной камеры вследствие малой скорости сушильного агента и соответственно низкого напряжения камеры по влаге ($2-25 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$); значительный расход энергии и тепла; сложное оборудование сушильной установки (распыливающие и пылеулавливающие устройства)

Сушилка с псевдооживленным слоем зернистого материала

При псевдооживлении слоя зернистого материала резко возрастают скорости процессов, связанных с переносом тепла и вещества. Это дает возможность уменьшить продолжительность сушки и обеспечить сушку больших потоков зернистого материала.

В сушилках с кипящим слоем обычно сушат материал, размеры частиц которого не превышают 5 мм. В качестве сушильного агента используются горячий воздух, дымовые газы, горячие инертные газы. Псевдооживленный слой может быть создан также за счет другого инертного материала, с которым контактирует высушиваемый материал в токе горячего сушильного агента. В этом случае высушенный материал обычно выводится с сушильным агентом через циклоны.

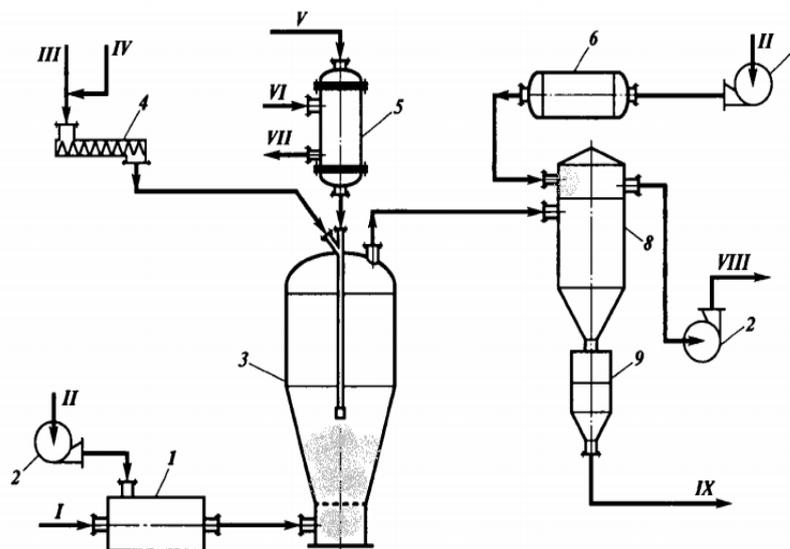


Рис. 2.7.10. Схема сушильной установки с псевдооживленным слоем инертного носителя: 1 - камера сгорания природного газа; 2 - воздуходувка; 3 - сушилка; 4 - питатель; 5 - теплообменник; 6 - ресивер; 7 - компрессор; 8 - рукавный фильтр; 9 - двойной пылевой затвор. Поток: I - природный газ; II - воздух; III - суспензия; IV - вода; V - сжатый воздух; VI - водяной пар; VII - конденсат; VIII - смесь теплоносителя и паров влаги; IX - готовый продукт

На рис. 2.7.10. приведена схема аппарата для сушки суспензий и растворов в псевдооживленном слое инертного носителя. Исходный продукт питателем 4 подается в пневматическую форсунку, установленную в сушилке. Распыл осуществляется форсункой при помощи сжатого воздуха, предварительно нагретого в теплообменнике 5. Продукт напыляется на инертный теплоноситель (крошка фторопласта или другой материал), предварительно загруженный в сушилку и приведенный в псевдооживленное состояние топочными газами, получаемыми в камере сгорания природного газа 1.

Высушенный продукт отделяется от гранул в результате соударений и вместе с теплоносителем поступает в рукавный фильтр 8, где отделяется от теплоносителя и через двойной пылевой затвор 9 выводится с установки. После очистки в фильтрах отработанный теплоноситель выбрасывается в атмосферу.

Для регенерации фильтровальных рукавов применяется обратная продувка воздухом под давлением 0,04-5-0,06 МПа, подаваемым компрессором 7 через ресивер б.

При эксплуатации конвекционных сушилок необходимо:

- чтобы калориферы, расположенные внутри сушильных камер, не соприкасались с высушиваемыми материалами и предохранялись от загрязнения поверхности пылью и отходами;
- нагревательные элементы должны быть доступны для осмотра и очистки;
- загрузку и разгрузку тележек горючими материалами в сушилках периодического действия производить вне камеры;
- после каждой выгрузки очищать камеру от сгораемых отходов;
- при сушке волокнистых материалов следить за тем, чтобы не было наматывания волокон на валы питателей, транспортеров и вентиляторов;
- устанавливать минимальные зазоры между цапфами валов и подшипниками; своевременно очищать валы;
- при сушке материалов в виде ленты (например, ленты каучука, ткани, пропитанной полимерными материалами и др.) обеспечивать установленную технологическим регламентом скорость движения ленты;
- предусматривать блокировку, обеспечивающую автоматическое отключение обогрева при остановке и обрыве ленты;
- при сушке измельченных материалов (в виде крошки, волокнистой массы и др.), склонных к самовозгоранию, а также к самовозгоранию составами, поддерживать установленную оптимальную толщину слоя, следить, чтобы ленты были расправлены.

2.7.3 Контактные сушилки

В контактных сушилках процесс сушки суспензий или эмульсий осуществляется за счет его соприкосновения с теплопередающей поверхностью установки. Различают вальцовые и ленточные сушильные камеры контактного типа.

Рабочий орган вальцовой сушилки (рис.2.7.11)– чугунные вальцы (барабаны). Эмульсия на барабаны наносится с помощью распыливания. Когда диски начинают вращаться, то их нижняя часть получается погруженной в эмульсию. С каждой стороны дисков имеются по одной подведенной форсунке. Через

воздуховод 5 и вентилятор к ним подается воздух. На дисках остается очень тонкий слой эмульсии. Так как диски вращаются, то смоченный участок достигает уровня форсунок. Воздухом от форсунок эмульсия разбрызгивается на вальцы. Вальцы движутся навстречу друг другу. Длительность сушки занимает меньше времени, чем один оборот вальцов. Эмульсия высыхает на поверхности барабанов пленкой, которая срезается ножами. Охлаждение сухого остатка и ножей осуществляется воздухом, который нагнетается вентилятором через воздуховод 2. Затем сухое вещество попадает на шнек, из него в сборный шнек 14, а оттуда по элеватору 11 отправляется в дробилку 13.

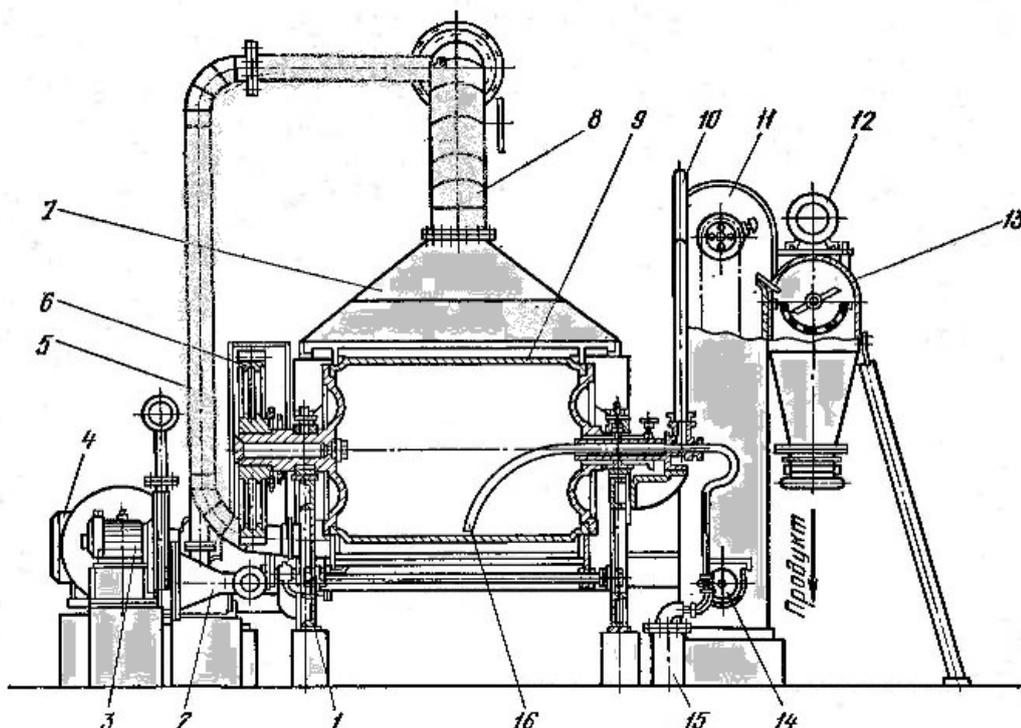


Рис.2.7.11. Вальцовая атмосферная сушилка: 1 - станина; 2, 5 - воздуховоды; 3 - электродвигатель вентилятора; 4 - электродвигатель вальцов; 6 - приводной механизм; 7 - вытяжной зонтик; 8 - устройство для отвода паров; 9 - вальцы; 10 - патрубок для входа пара; 11 - элеватор; 12 - электродвигатель дробилки; 13 - дробилки; 14 - шнек; 15 - конденсатоотводчик; 16 - патрубок для отвода конденсата

2.7.4 Контрольные вопросы по теме «Сушилки»

- Дайте определение процессу сушки?
- Какие виды влаги различают по характеру связи влаги с твердым материалом ?
- Что такое конвективная сушка? Приведите примеры конструкций конвективных сушилок.
- Что такое контактная сушилка? Приведите примеры конструкций контактных сушилок.
- Что такое радиационная сушка?
- Что такое диэлектрическая сушка?

2.8 Химические реакторы

Технологические схемы химических процессов включают большое количество аппаратов и устройств, предназначенных для подготовки исходного сырья, транспортировки различных жидких, газообразных и твердых продуктов от одного аппарата к другому, очистки продуктов реакции от побочных примесей, упаковки готовой продукции предприятия. Во всех перечисленных устройствах проводятся процессы подготовки, нагрева или охлаждения, смешения или разделения начальных, промежуточных или конечных продуктов, без чего не может быть осуществлена химическая переработка. Однако основным элементом установки для проведения химико-технологического процесса является аппарат, в котором происходит химическая реакция. Такой аппарат называется химическим реактором. К химическим реакторам относятся только такие аппараты, в которых происходит химическое превращение исходных продуктов в вещества, получение которых является целью технологического процесса.

Во всех реакторах, как правило, помимо химического превращения протекают физические процессы тепло- и массообмена. Для осуществления этих процессов реакторы снабжаются специальными приспособлениями - мешалками и теплообменниками различных конструкций. Таким образом, химические реакторы представляют собой комплексные аппараты, состоящие из реакционного объема, в котором происходит химическое взаимодействие, и специальных приспособлений и устройств для осуществления процессов тепло- и массообмена.

Конструкции реакционных объемов различных реакторов зависят от типа химической реакции, теплового и гидродинамического режимов работы реактора, способа и отвода реагентов. Количество типов перемешивающих устройств и теплообменников также велико. В связи с этим существует большое количество типов реакторов, в которых сочетаются различные конструкции реакционных объемов и вспомогательных устройств. Кроме того, один и тот же химико-технологический процесс, требующий определенных условий, может быть реализован в реакторах различной конструкции. Этим объясняется тот факт, что принятая классификация химических реакторов основана не только на конструктивных особенностях аппаратов для проведения химической реакции, но и на способах ведения технологического процесса.

2.8.1 Классификация химических реакторов

Химические реакторы классифицируются по ряду признаков:

- **По агрегатному состоянию реагирующих веществ** различают: реакторы **гомогенные и гетерогенные**. В гомогенных реакторах в процессе участвует только одна фаза: газовая или паровая, жидкая или твердая. В гетерогенных реакторах в процессе участвует несколько фаз. Эти реакторы бывают газо-фазными, жидкофазными и газожидкостными.
- **По способу организации процесса реакторы** бывают: **непрерывного, полунепрерывного, периодического действия**.

В реакторах полунепрерывного или полупериодического действия один из реагентов поступает непрерывно, а второй периодически, или же реагенты подаются периодически, а продукты реакции удаляют непрерывно. Выравнивание концентраций компонентов достигают непрерывным перемешиванием.

В реакторе непрерывного действия подвод исходных веществ и удаление продуктов реакции из аппарата осуществляются непрерывно. Реактор работает в стационарном режиме, при котором значения всех технологических параметров, в том числе концентраций компонентов, температуры и давления, в отдельных точках аппарата не изменяются во времени.

- **По режиму движения реакционной среды** реакторы делятся на: **реакторы смешения и реакторы вытеснения**.

В реакторах смешения происходит непрерывное перемешивание реакционной смеси, при котором элемент объема потока исходных веществ, поступающего в реактор, мгновенно перемешивается с содержимым реактора, концентрация веществ в этом объеме резко меняется от состава питания до состава смеси в реакторе. Аппараты, в которых осуществляется такие условия, называются реакторами идеального смешения.

В реакторах вытеснения любой элемент объема потока движется через аппарат с постоянной скоростью, не смешиваясь с соседними, а вытесняя их. Состав элемента объема изменяется последовательно по длине реактора вследствие химической реакции. Такие аппараты называются реакторами идеального вытеснения.

- **По тепловому режиму реакторы** делятся на: **изотермические, адиабатические и политропные**.

Изотермические реакторы работают при постоянной температуре, которая сохраняется во всех точках реакционного объема. Для осуществления условий изотермичности подводят или отводят определенное количество тепла через поверхность теплообмена в форме змеевика, рубашки.

Адиабатические реакторы работают практически без теплообмена с внешней средой. Это достигается путем теплоизоляции наружной поверхности реактора.

Политропные реакторы характеризуются тем, что их тепловой режим определяется не только собственным тепловым эффектом процесса, но и теплотехническими и конструктивными факторами аппарата.

- **По величине давления** в реакционном объеме различают: реакторы, работающие под вакуумом, при атмосферном (или близком к нему) давлении и под высоким давлением (выше 10 МПа).
- **По конструктивным особенностям** - классификация реакторов объединяет всю реакционную аппаратуру в следующие группы:
 - емкостные реакторы;
 - трубчатые реакторы
 - колонные реакторы;
 - реакторы теплообменного типа (печи)
- **По способу размещения катализатора в рабочем объеме реактора:**
 - с неподвижным слоем катализатора;
 - с движущимся слоем катализатора;
 - с псевдоожиженным слоем катализатора.

2.8.2 Реакторы вытеснения

В реакторах вытеснения химическое взаимодействие осуществляется при движении реагентов в трубах.

Реактор вытеснения характеризуется большим отношением длины к диаметру и не имеет никаких механических приспособлений для перемешивания потока в реакционном объеме. В реакторе вытеснения любой элемент объема потока, непрерывно протекающего через аппарат, движется с постоянной скоростью, не смешиваясь с соседними элементами потока. По мере движения элемента потока вдоль реактора в нем происходит изменение концентраций взаимодействующих веществ.

На входе в реактор (рис.2.8.1.) состав элемента потока 1 соответствует составу исходных продуктов, элемент 2 на выходе из реактора содержит только продукты химического превращения. При движении по реактору элемент объема подобно поршню вытесняет все, что находится перед ним, поэтому такой аппарат называется часто **реактором с полным вытеснением или реактором идеального вытеснения**.

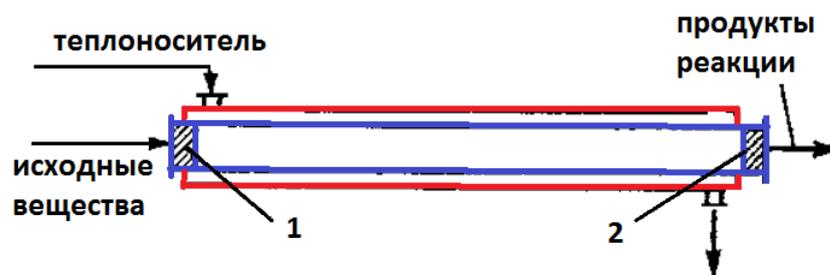


Рис.2.8.1 Реактор вытеснения: 1, 2 – элементы объема потока

В реакторе с полным вытеснением скорость химической реакции изменяется по длине реактора, т. е. меняются концентрации взаимодействующих веществ. Если расход исходных компонентов на входе не меняется, то в каждой точке реактора скорость реакции строго постоянна, так как состав реакционной смеси в данной точке реактора не изменяется во времени. Поэтому при неизменном входном потоке реактор вытеснения непрерывного действия работает в стационарном режиме.

Степень превращения исходных веществ в продукты реакции зависит от времени пребывания компонентов в реакторе. Время τ (с) пребывания реакционной смеси в реакторе вытеснения находят делением длины реактора L (м) на линейную скорость потока W (м/с):

$$\tau \equiv \frac{L}{W} \quad (2.8.1)$$

Величина τ тем больше, чем больше длина реактора L и чем меньше скорость потока W . При проектировании и расчете реакторов скорость потока выбирают из соображений минимальных денежных затрат на сооружение реактора.

На практике приблизиться к режиму идеального вытеснения позволяет применение труб малого диаметра и большой длины. Снаружи эти реакторы могут быть снабжены теплообменными устройствами в виде рубашки.

Достоинствами таких реакторов является высокая интенсивность смешения и возможность эффективного теплообмена. К недостаткам можно отнести трудности, возникающие при необходимости дополнительного ввода компонентов в процессе реакции.

Указанные реакторы применяют для проведения гомогенных и гетерогенных реакций, например синтеза аммиака и метилового спирта, хлорирования этилена и др.

2.8.3 Реакторы смешения

Реактор смешения представляет собой некоторый объем, в котором происходит непрерывное перемешивание реакционной смеси одним из известных способов: механическим, пульсационным, пневматическим перемешиванием газов или циркуляционным перемешиванием жидкости.

Элемент объема потока исходных веществ, поступающий в реактор через питающий трубопровод, мгновенно перемешивается с содержимым реактора. Состав элемента, т. е. концентрация веществ в этом элементе, резко изменяется от состава питания до состава смеси в реакторе. Чем выше интенсивность перемешивания, тем ближе такой реакционный аппарат к **реактору с полным перемешиванием или реактору идеального смешения.**

Реактор смешения может быть аппаратом периодического действия (рис.2.8.2.), в котором перерабатываются определенные порции продуктов, либо аппаратом непрерывного проточного действия (рис.2.8.3.). Последний отличается от реактора периодического действия расположением выходного патрубка 1, который позволяет непрерывно отводить продукты реакции из реактора.

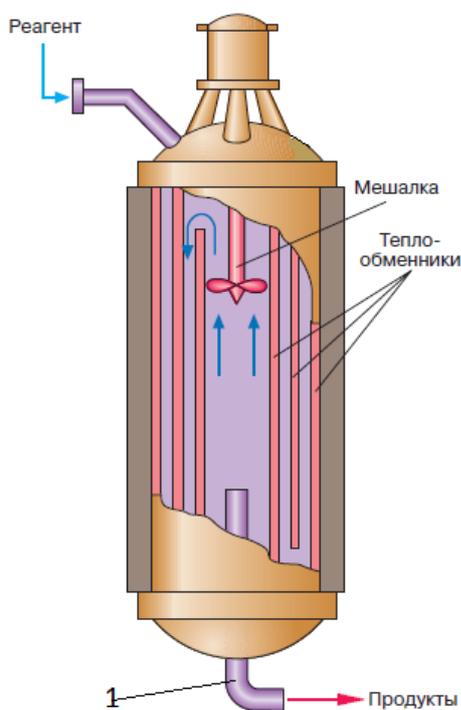


Рис.2.8.2. Реактор смешения периодического действия: 1 – выходной патрубок.

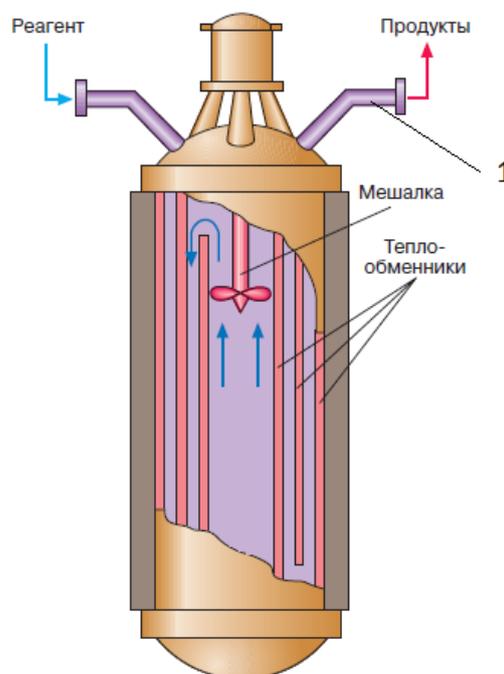


Рис.2.8.3. Реактор непрерывного действия: 1 – выходной патрубок.

Важной характеристикой аппарата смешения непрерывного действия является время пребывания взаимодействующих компонентов в реакционном объеме.

Этот показатель характеризует продолжительность контакта взаимодействующих веществ и, следовательно, определяет степень превращения исходных веществ в продукты реакции. Время пребывания $\tau(c)$ компонентов в аппаратах смешения рассчитывается как отношение объема

реакционной смеси в реакторе V (м^3) к объемному расходу реагентов Q ($\text{м}^3/\text{с}$) через аппарат:

$$\tau \equiv \frac{V}{Q} \quad (2.8.2)$$

Из формулы (2.2) следует, что время пребывания τ компонентов в реакторе тем больше, чем больше объем аппарата. При постоянном объеме V значение τ уменьшается с увеличением расхода компонентов Q .

Реактором, близким по своим характеристикам к реактору идеального смешения, является кубовый аппарат с мешалкой. Чем интенсивнее осуществляется перемешивание в кубовом реакторе, тем быстрее выравниваются концентрации компонентов и температура реакционной смеси по объему реактора, и тем ближе этот аппарат к идеальному реактору смешения.

В реальных реакторах смешения вследствие несовершенства конструкции смесителя и самого реактора возможно образование застойных зон (например, в придонной области или у стенок реактора). Для предотвращения этого явления реактор снабжают вертикальными перегородками, а днищу придают сферическую или эллиптическую форму. В реакторах такого типа проводят смешение, полимеризацию и другие процессы.

2.8.4 Конструктивные особенности реакторов

Конструкция реакционного аппарата зависит от следующих основных факторов:

- агрегатного состояния исходных веществ и продуктов реакции;
- температуры и давления в реакционной зоне;
- теплового эффекта и интенсивности теплообмена;
- химических свойств перерабатываемых веществ;
- интенсивности перемешивания реагирующих веществ;
- непрерывности или периодичности ведения процесса;
- наличия катализатора и его фазового состояния.

Многообразие химических процессов потребовало разработки значительного количества конструкций реакторов с учетом перечисленных выше факторов. Все реакционные аппараты подразделяют на типовые и нестандартные (не типовые). К типовым аппаратам, широко используемым для химических процессов, относятся: реакционные камеры (емкостные реакторы) и аппараты с мешалками, трубчатые аппараты, колонные аппараты и др. К

нестандартным относятся большинство химических реакторов: коксовые кубы, реакторы и регенераторы каталитического крекинга, реформига и др.

2.8.5 Емкостные реакторы с мешалкой

В емкостных реакторах химическая реакция проводится в рабочем объеме – емкости, куда через специальный штуцер загружают сырье, а через сливной штуцер осуществляют выгрузку продукта. В емкостных реакторах проводят гомогенные реакции в жидкой фазе. Емкостные аппараты – периодические и проточные. Конструкции реакторов в жидкой фазе зависят в основном от вязкости среды и определяются различным исполнением мешалок.

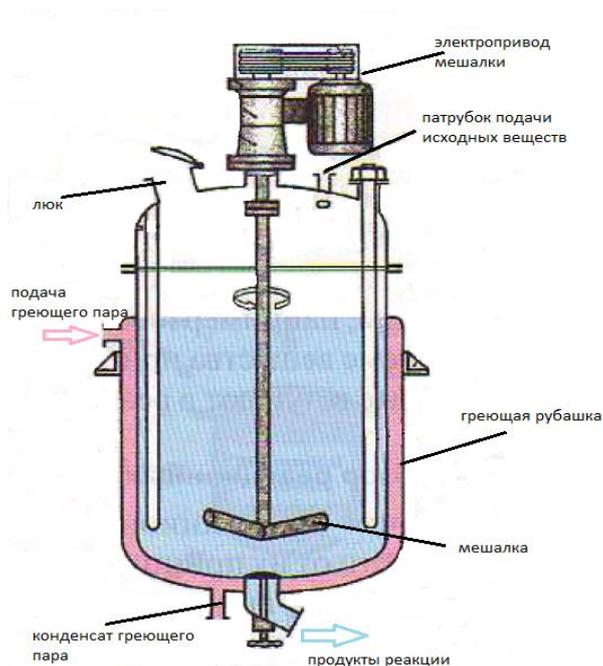


Рис.2.8.4. Емкостной реактор с приварной рубашкой

В зависимости от условий проведения того или иного процесса объем аппарата с мешалкой может составлять от нескольких долей до нескольких тысяч кубических метров.

По скорости вращения мешалки условно подразделяют на две группы: тихоходные (якорные, рамные и другие, у которых окружная скорость концов лопастей примерно 1 м/с) и быстроходные (пропеллерные, турбинные и другие, у которых окружная скорость порядка 10 м/с).

Например, для перемешивания высоковязких сред при ламинарном режиме используют ленточные, скребковые и шнековые мешалки. Для перемешивания жидкостей сравнительно невысокой вязкости применяют тихоходные мешалки якорные и рамные.

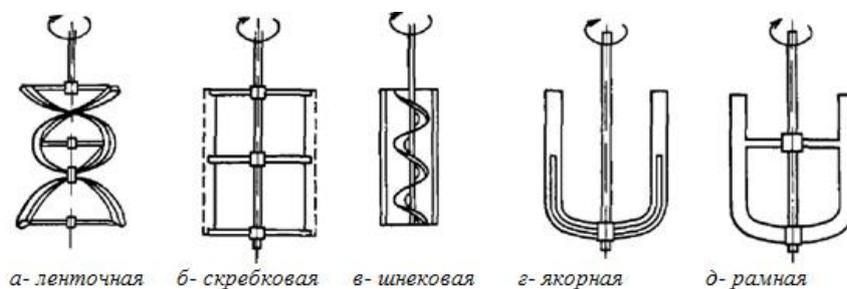


Рис.2.8.5. Конструкции тихоходных мешалок

Быстроходные лопастные, турбинные, пропеллерные мешалки (рис. 2.8.6.) различаются способностью создавать осевое циркуляционное течение.

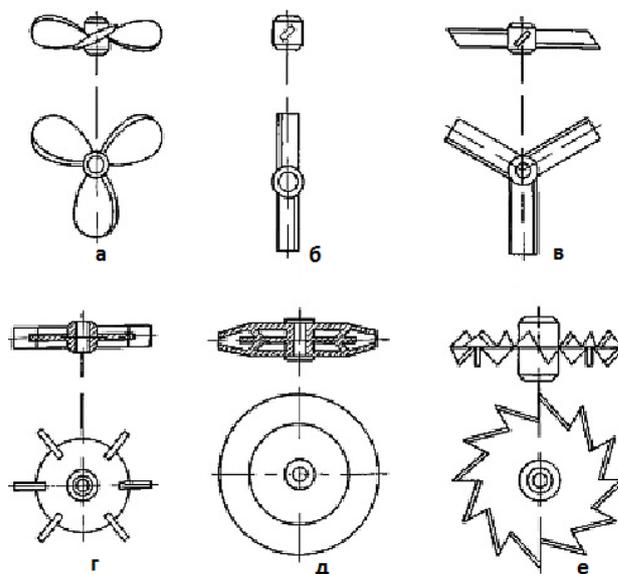


Рис. 2.8.6. Быстроходные мешалки а – пропеллерная, б – двухлопастная, в – трехлопастная, г – турбинная открытая, д – турбинная закрытая, е – фрезерная.

В котле с мешалкой могут протекать реакции периодического действия - обычно в условиях окружающей среды либо при умеренно высоком давлении и температуре до 250°C. В зависимости от производственных требований, подобные емкости изготавливаются из нелегированной или легированной стали, иногда плакируются, снабжаются эмалевым или резиновым покрытием.

На производстве емкостные реакторы работают в непрерывном режиме и часто устанавливают последовательно. Такое размещение называют **каскадом реакторов смешения**. В каскаде значительно активизируется перемешивание за счет уменьшения реакционного объема, снижения отрицательного влияния застойных зон и зон циркуляции. В конечном счете, это приводит к достижению более высоких значений степени превращения исходных веществ и выхода продуктов реакции.

При ступенчатой компоновке несколько непрерывно действующих реакторов располагаются последовательно друг за другом (рис. 2.8.7.). При этом конечный продукт 1-го реактора становится исходной смесью для 2-го

реактора, а конечный продукт 2-го реактора — исходной смесью для 3-го бака и т. д.

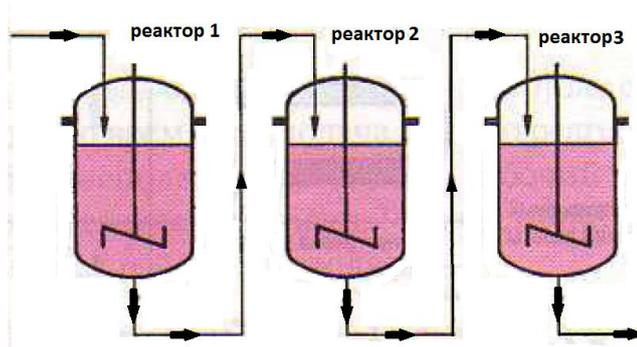


Рис. 2.8.7. Ступенчатая (последовательная) схема соединения реакторов

Таким образом, химическая реакция здесь распределяется по нескольким реакционным сосудам. Концентрация реакционной массы в отдельных баках изменяется ступенями до достижения концентрации продукта реакции. Такая ступенчатая схема используется:

- когда имеют дело с сильно экзотермической реакцией и требуется установить в отдельных баках (за счет разной степени отвода тепла) разные температуры и, следовательно, разные скорости реакции;
- когда по ходу реакции приходится прибегать к промежуточной выгрузке нежелательных побочных продуктов.

При батарейной компоновке несколько смесителей параллельно включаются в производственный процесс (рис.2.8.8.).

Эта параллельная схема используется, в частности, при опасности регулярных сбоев в работе — например, из-за частых засорений отдельных реакторов. Тогда соответствующий бак можно исключить из процесса (остановить и привести в порядок), продолжив работу в двух других реакторах. То же относится и к случаям проведения планово-профилактических ремонтов.

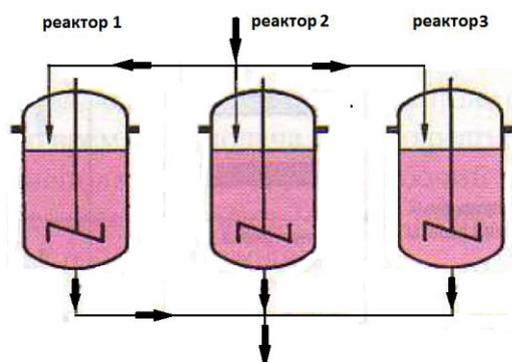
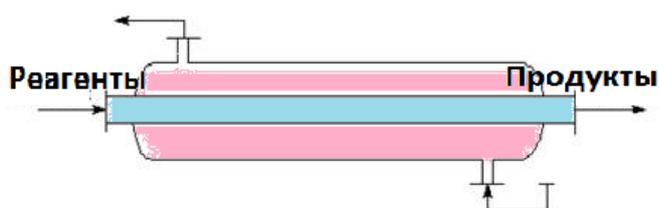


Рис.2.8.8.. Батарейная (параллельная) схема соединения реакторов.

2.8.6 Трубчатый реактор

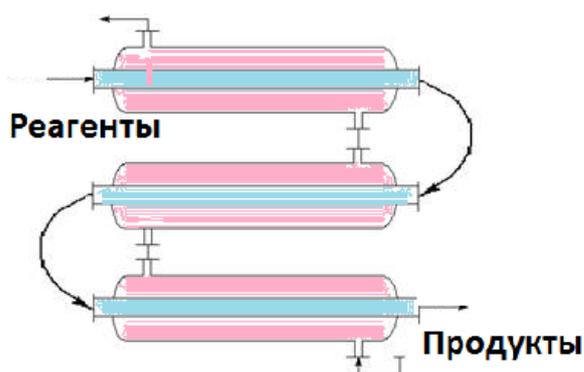
Трубчатые реакторы широко распространены в химической промышленности для проведения непрерывных процессов с большим тепловыделением. Реакторы этого типа довольно сложны по конструкции и имеют значительную стоимость.

Типичным примером трубчатого реактора является реактор типа "труба в трубе" (рис. 2.8.9.). В таком реакторе теплоноситель циркулирует через рубашку реактора. Выбор пространства для теплоносителя и реакционной массы



определяется тем, какой из этих потоков быстрее загрязняет пространство. Для того, который загрязняет быстрее, выбирается внутренняя труба, т.к. ее проще прочистить.

Рис.2.8.9. Трубчатый реактор типа «труба в трубе»



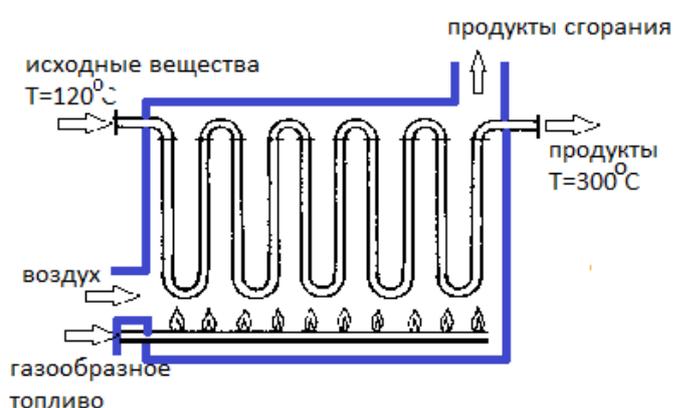
Если требуется достаточно большое время пребывания реакционного потока в зоне реакции, то выбирается многосекционный аппарат "труба в трубе" (рис.2.8.10.).

Рис.2.8.10. Многосекционный аппарат типа «труба в трубе»

Аппараты этого типа непрерывные, змеевиковые с поверхностным теплообменом. Используются для процессов при сравнительно небольшом времени пребывания исходных веществ в зоне реакции. Недостатки аппаратов: большой расход металла, значительная длина, большое количество соединений, большие гидравлические сопротивления, сложность осмотра, чистки, ремонта. Достоинства: отсутствие утечек через уплотнительные устройства, возможность применения высоких давлений, реализация режима идеального вытеснения при турбулентном характере движения смеси в трубах.

В высокотемпературных процессах (например, в термическом крекинге углеводородов) проще помещать секцию трубок в камеру сгорания, в которой аккумулируется тепло, необходимое для обеспечения необходимой температуры (рис.2.8.11). Такие реакторы называются трубчатыми печами.

Трубка обычно заполнена насадочными телами либо зернистым катализатором, что позволяет значительно увеличить реакционную поверхность. Чаще всего в таком реакторе вступают в реакцию друг с другом газообразные вещества. При



этом исходная смесь проходит сквозь засыпанный наполнитель и реакция протекает на большой поверхности катализатора, размещенного на керамических зернах. Период реакции здесь невелик, поскольку вещества находятся в реакционных условиях только во время прохождения (время пребывания в реакторе).

Рис. 2.8.11. Трубчатый реактор для хлорирования пентана

В определенном месте трубчатого реактора при постоянном режиме работы всегда отмечается один и тот же состав исходных веществ и продукта реакции. Непрерывно выходящая из реактора масса обладает постоянным составом. Это и есть признаки стационарного (установившегося) режима работы. Он наступает только после непостоянного состояния пусковой фазы. В продольном направлении трубки состав реакционной массы изменяется по мере превращения исходной смеси в конечный продукт.

2.8.7 Колонные реакторы

Колонные реакторы служат для создания большей контактной и реакционной площади между двумя протекающими веществами в гетерогенных процессах, например газ - жидкость. Принципиально взаимодействие газа с жидкостью осуществляется тремя способами: прямоточное и противоточное движение сплошных потоков газа и жидкости, барботаж газа через жидкость (газ диспергирован в объеме жидкости), разбрызгивание жидкости в газе (жидкость диспергирована в объеме газа).

Такие реакторы представляют собой вертикально стоящую колонну, в которой с целью увеличения поверхности размещены встроенные контактные элементы в виде тарелок (тарельчатые колонны), слоев насадки (насадочные колонны), происходит распыливание жидкой фазы (распылительные колонны) или диспергирование газовой фазы в слое жидкости (барботажные колонны). Тот или иной способ создания развитой поверхности контакта фаз зависит от типа реакции, физических свойств реагирующих веществ.

Колонные аппараты применяются для проведения процессов, требующих осуществления наиболее полного контакта между продуктами, обрабатываемыми жидкостью и газом или паром.

В колонных аппаратах протекают такие диффузионные процессы, как абсорбция, десорбция, ректификация, а также охлаждение и увлажнение промышленных газов, мокрая очистка газов и другие. Весьма распространены они в нефтехимической промышленности.

В качестве конструкционного материала для изготовления колонных аппаратов наиболее широко применяют углеродистую и кислотостойкую сталь. Колонны из цветных металлов выполняются реже. В настоящее время осваиваются колонны из неметаллических материалов керамики, графита, фторопласта и т.д.

Насадочная колонна (рис.2.8.12.) содержит сыпучий наполнитель из насадочных тел, обладающих большой поверхностью. Просачиваемая сверху жидкость распределяется по большой поверхности насадочных тел, вступая в реакцию с газом, проходящим противотоком снизу вверх. В качестве насадочных тел (рис.2.20.) используются отрезки трубок, элементы седловидной формы и других конфигураций, изготовленные из керамики или высококачественной стали.

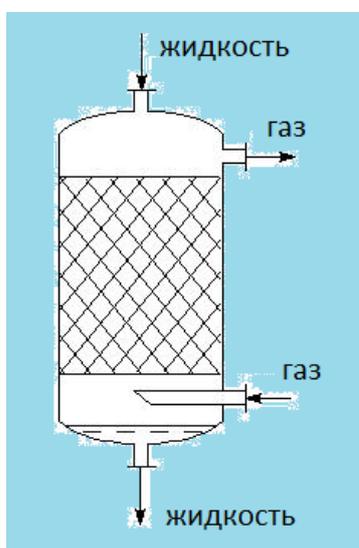


Рис.2.8.12. Насадочная колонна



Рис. 2.8.13. Насадки керамические

Тарельчатая колонна (рис.2.8.14.) содержит тарелки, установленные на равных расстояниях друг от друга. Они имеют трубку для перепуска жидкости и колпак для проходящего вверх газа. Жидкость сверху справа натекает на самую верхнюю тарелку, течет по ней в направлении поперек влево и оттуда по переливной трубе попадает на следующую, расположенную ниже тарелку. Далее поток проходит поперек вправо по этой тарелке и через перепуск - на следующую тарелку и т. д., пока не стечет с самой нижней тарелки в низ колонны. Газ поступает в колонну снизу, устремляясь в горлышко колпака самой нижней тарелки. В крышке колпака поток газа делает поворот, барботирует мельчайшими пузырьками сквозь находящуюся на тарелке жидкость и проходит в следующий, расположенный выше колпак. Этот процесс повторяется на каждой тарелке — до выхода газа из головы колонны. И на каждой тарелке происходит тщательное перемешивание и соответствующая реакция.

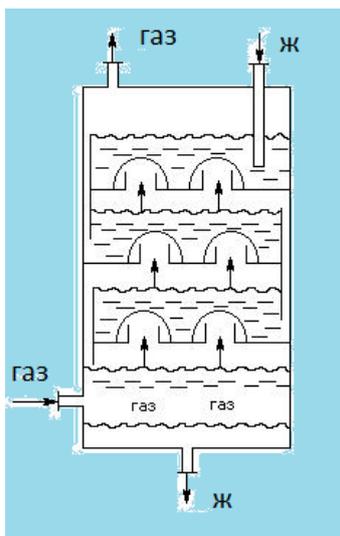


Рис.2.8.14. Тарельчатая колонна

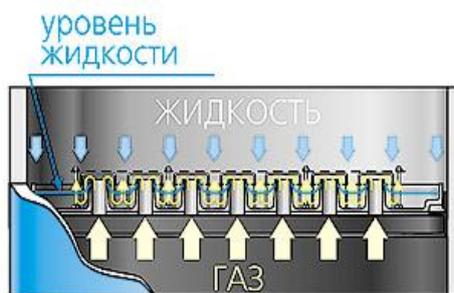


Рис. 2.8.15. Схема работы колпачковой тарелки

Ситчатые колонны (рис.2.8.16.) обычно обеспечивают хорошую эффективность массообмена при меньшем перепаде давлений, чем колпачковые колонны. Они имеют хорошую пропускную способность по жидкости, поскольку не встречает сопротивления при течении вдоль ситчатой тарелки от переливного патрубка до сливного порога. Массо- и теплообмен между паром и жидкостью в основном происходят на некотором расстоянии от дна тарелки в слое пены и брызг. Давление и скорость пара, проходящего через отверстия сетки, должны быть достаточны для преодоления давления слоя жидкости на тарелке и создания сопротивления ее стеканию через отверстия. Ситчатые тарелки необходимо устанавливать строго горизонтально для обеспечения прохождения пара через все отверстия тарелки, а также во избежание стекания жидкости через них. Обычно диаметр отверстий ситчатой тарелки принимают в пределах 0,8—3,0 мм.

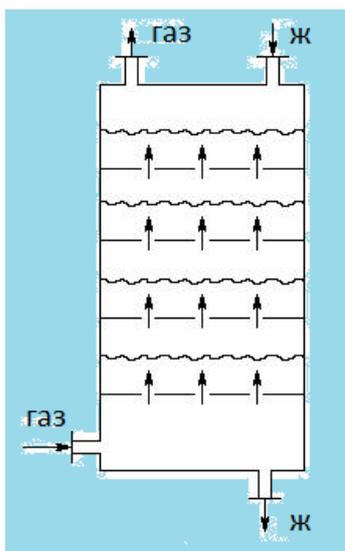


Рис.2.8.16. Ситчатая колонна

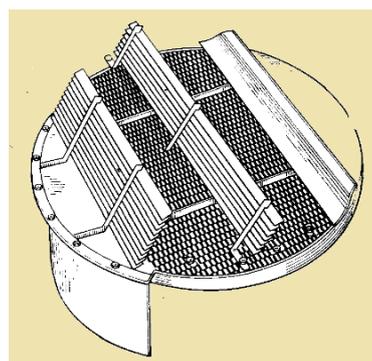


Рис.2.8.17. Ситчатая тарелка с отбойными элементами

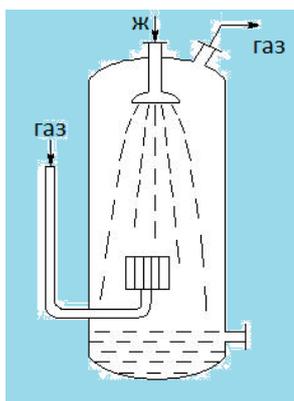
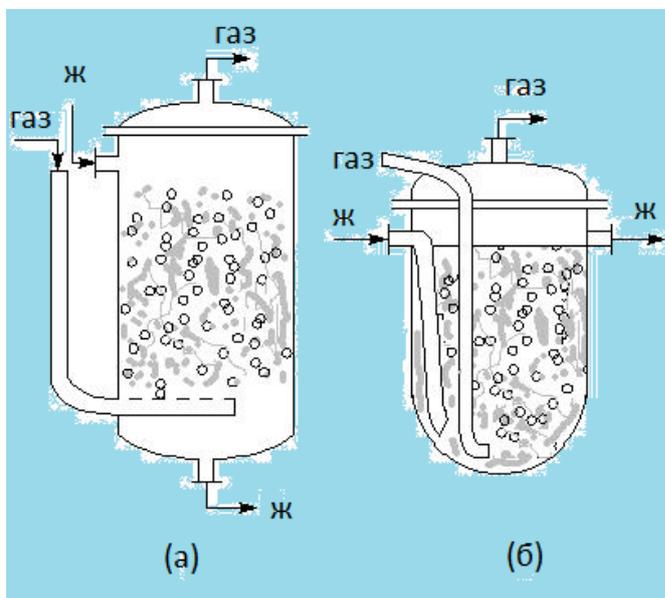


Рис. 2.8.18. Распылительная колонна

Распылительные колонны – это массообменные аппараты, в которых газ контактирует с распыленной жидкостью. Жидкая фаза диспергируется в потоке газа. Для диспергирования жидкости используются специальные разбрызгиватели (форсунки). Мелкие капли более устойчивы в размерах, но скорость их падения определяется силами гравитации и скоростью встречного газа.

Барботажная колонна (рис.2.8.19.) заполнена непрерывно притекающей и вытекающей жидкостью. Реакционный газ струится снизу из распределительных сопел и мельчайшими пузырьками устремляется вверх сквозь медленно поднимающуюся жидкость. Реакционная поверхность между газом и жидкостью представляет собой море неисчислимых газовых пузырьков в жидкости. Эта поверхность достаточно велика, так что даже в довольно небольшом реакторе возможен значительный массообмен. Жидкость и газ протекают прямококом. Интенсивность взаимодействия фаз при барботаже зависит от скорости всплытия пузырей и их размера. Скорость всплытия определяется гравитационными силами и поэтому ограничена. Размеры пузырей можно варьировать в ограниченных пределах – в свободном барботаже мелкие пузыри сливаются, а крупные неустойчивы и быстро распадаются.



В полых барботажных аппаратах создать мелкодисперсную газовую фазу в жидкой можно, используя для этого принудительное перемешивание.

По принципу барботирования работают, например высотные реакторы в системах очистки сточных вод.

Рис.2.8.19. Барботажная колонна: а – периодического действия; б – непрерывного действия.

2.8.8 Реакторы теплообменного типа

Реакторы теплообменного типа часто используют в химических процессах для проведения реакций при высокой температуре более 400°C. Такие химические реакторы называются **печами**. Процессы, протекающие в печах, требуют подвода и отвода больших количеств тепла и часто осуществляются при высоких давлениях.

Среди многообразия реакторов-печей можно выделить **трубчатые печи** и **реакторы окислительного пиролиза**.

Пиролиз широко применяется, например, для переработки производственного мусора органического происхождения (древесины, резины, бумаги, ветоши, пластмасс и т. д.). Высокая температура в зоне пиролиза обеспечивает разрушение практически всех сложных ядовитых соединений и превращение их в простые горючие или инертные соединения

Содержание отходов древесины и пластмасс в чистом виде характерно только для специфических предприятий и цехов: заводы пластмассовых изделий, модельные участки литейных цехов и т.п. На большинстве промышленных предприятий пластмассы и древесные отходы входят в состав промышленного мусора предприятий.

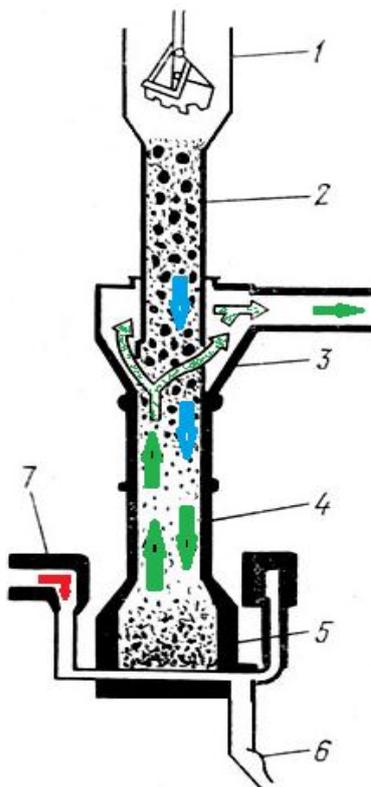


Схема **высокотемпературного пиролизного реактора** приведена на рис.2.8.20. Отходы подаются в бункер 1 и под действием массовых сил поступают в зону сушки 2, где испаряется влага. В зоне пиролиза 4 высушенные отходы разлагаются при температуре 1640 °С с образованием смеси горючих газов и водяных паров, которая поднимается в зону сушки, проходит кольцеобразный отвод 3 и выбрасывается в атмосферу. Окончательная обработка пластмасс происходит в зоне сгорания 5, куда подается кислород через коллектор 7. Продукты пиролиза выгружаются через патрубок 6.

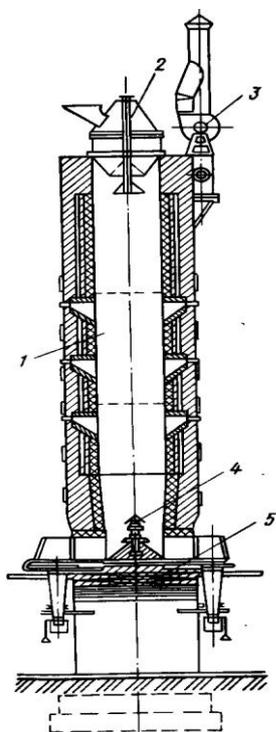
Рис.2.8.20. Схема высокотемпературного пиролизного реактора

В результате из отходов пластмасс в смеси с другими отходами (дерево, резина и др.) получают ценные продукты: пирокарбон, горючий газ и жидкая смола. Пирокарбон применяется для производства разнообразных полимерных и строительных материалов.

Трубчатые печи (см. рис.2.8.11.) отличаются разнообразием конструкций, зависящих от вида используемого топлива. Основные элементы печи - стальной сварной каркас, кирпичная кладка, образующая стены под и свод печи, змеевик, расположенный внутри, горелки или форсунки для сжигания топлива, дымоход и дымовая труба. Дымовые газы движутся через трубчатую печь обычно под действием естественной тяги, регулируемой шибером в дымоходе.

Шахтная печь (рис.2.8.21.) состоит из шахты, загрузочного и выгрузочного устройства, воздухоподводящей и газоотводящей аппаратуры. Загрузка сырья в шахтную печь осуществляется периодически или непрерывно сверху. Навстречу обжигаемому материалу просачиваются горячие дымовые газы.

Путем сжигания в шахтных печах получают известь (CaO) из известняка (CaCO_3) и кокс (C).



По характеру процессов, протекающих в шахтной печи, различают зоны подогрева, обжига и охлаждения. В зоне подогрева в верхней части печи с температурой печного пространства не выше 900°C известняк подсушивается, подогревается и в нем выгорают органические примеси. В средней части печи - в зоне обжига, где температура достигает $900\text{...}1200^\circ\text{C}$, - происходит разложение CaCO_3 и выделение углекислого газа. В нижней части печи - зоне охлаждения - известь охлаждается поступающим снизу воздухом с 900 до $50\text{...}100^\circ\text{C}$.

Рис. 2.8.21. Шахтная печь для обжига извести: 1 — шахта; 2 — загрузочный механизм; 3 — дымосос; 4 — гребень для подачи воздуха; 5 разгрузочный механизм.

Трубчатая вращающаяся печь (барабанная, рис.2.8.22), промышленная печь цилиндрической формы с вращательным движением вокруг продольной оси, предназначенная для нагрева сыпучих материалов с целью их физико-химической обработки.

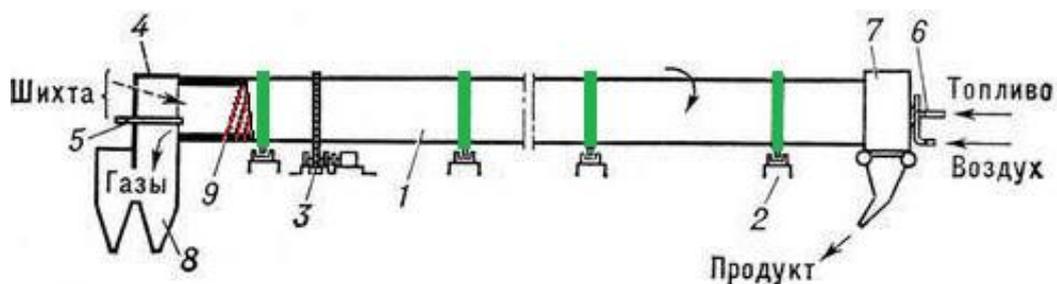


Рис.2.8.22. Вращающаяся печь

Основными являются вращающиеся печи, в которых сжигается пылевидное, твёрдое, жидкое или газообразное топливо непосредственно в рабочем пространстве печи и греющие газы движутся навстречу обрабатываемому материалу. Металлический барабан 1, футерованный огнеупорным кирпичом и установленный под небольшим углом к горизонту, имеет бандажи 2, которые опираются на опорные ролики (рис.2.8.23.). Барабан приводят во вращение электродвигателем 3. Шихту загружают со стороны головки 4. Сухую шихту подают механическими питателями, а шихту в виде пульпы — наливом или через форсунки 5. Топливо вводят через горелки (форсунки) 6, помещённые в горячей головке 7. Здесь же выгружают готовый продукт. Газы вращающейся печи очищают от пыли в системе 8. Для улучшения условий теплопередачи встраивают различные теплообменные устройства 9 - перегревающие лопасти, полки, цепные завесы, насадки и т.д. Основные размеры вращающейся печи варьируются в значительных пределах: длина от 50 до 230 м, а диаметр от 3 до 7,5 м.

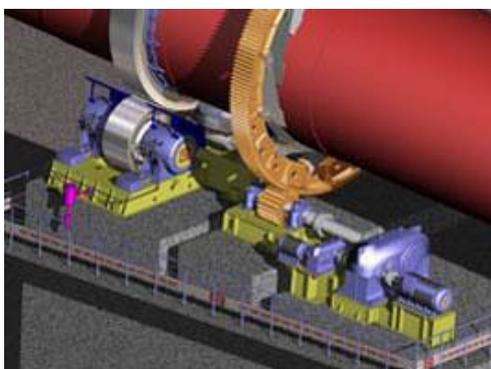


Рис.2.8.23. Роликовые опоры вращающейся печи

По назначению различают вращающиеся печи для спекания шихт в производстве глинозёма, получения цементного клинкера, окислительного, восстановительного, хлорирующего обжига, прокалики гидроокиси алюминия, кокса, карбонатов, сульфатов и др.

Ванные печи состоят из снабженной огнеупорной облицовкой плоской ванны и крышки (рис.2.8.24.). В целях опорожнения всю печь можно просто опрокинуть, а для загрузки откинуть в сторону крышку, через которую в печную камеру выступают либо газовые горелки, либо электроды. Они нагревают содержимое печи до требуемой температуры расплавления, при которой протекает реакция. По завершении реакции плав выгружается опрокидыванием.

В ванных печах проводятся реакции между жидкими расплавленными металлами или рудами, с одной стороны, и газами или твердыми веществами, с другой стороны.

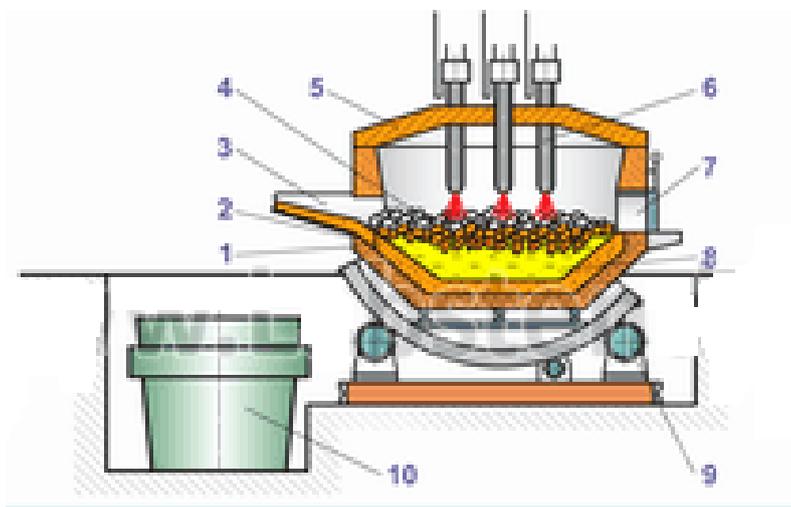


Рис.2.8.24. Дуговая трехфазная плавильная печь:

1 – кирпичная футеровка пода печи; 2 – набивная футеровка пода печи; 3 – летка для выпуска металла; 4 – твердая шихта; 5 – свод печи поворотный; 6 – электроды графитовые (угольные); 7 – рабочее окно; 8 – расплав металла; 9 – механизм наклона печи; 10 – разливочный ковш.

2.8.9 Реакторы для контактно-каталитических процессов

Если химическая реакция протекает слишком медленно или для ее осуществления требуются чрезмерно большие энергетические затраты, то ее проводят (если это возможно) в присутствии катализатора - специального вещества, ускоряющего химический процесс.

Каталитические процессы широко применяются в органическом синтезе. Большинство процессов переработки нефти невозможны сегодня без применения катализаторов.

Катализаторы — это вещества, которые изменяют скорость химической реакции, но при этом не меняют свой химический состав. Для каждой реакции требуется свой катализатор.

Химические процессы, проходящие в присутствии катализатора, подразделяют на гомогенные и гетерогенные. Наиболее широко распространены в промышленности гетерогенно-каталитические процессы, в которых одной средой является газ (пар) или жидкость, а другой - твердый катализатор. Именно поверхность катализатора служит границей раздела фаз.

Химический процесс, протекающий в присутствии катализатора, называют **катализом**. Особую роль играет **избирательный катализ**, который состоит в том, что катализатор ускоряет только одну реакцию, подавляя остальные. Например, из этилового спирта путем избирательного действия катализатора можно получить ацетальдегид, этилен или дивинил.

В ходе контактно-каталитической реакции может происходить значительное выделение или поглощение теплоты. Неравномерность укладки катализатора по сечению и высоте реактора приводит к появлению зон локального перегрева катализатора, образованию продуктов горения на его поверхности и потере активности. Поэтому вся реакционная аппаратура для таких

процессов классифицируется по способу размещения катализатора в рабочем объеме реактора. В соответствии с этим они подразделяются на:

- реакторы с неподвижным слоем катализатор;
- реакторы с движущимся слоем катализатора;
- реакторы с псевдооживленным слоем катализатора.

2.8.10 Реакторы с неподвижным слоем катализатора

На рис.2.31. представлен реактор шахтного типа. В таких реакторах возможны два способа движения реагента. Реакторы с аксиальным движением (рис.2.8.25. а) применяют для проведения процессов с небольшим тепловым эффектом. Катализатор может быть засыпан сплошным слоем на опорную плиту или на слой инертной насадки, что позволяет использовать опорные плиты с малым гидравлическим сопротивлением. В этих реакторах снизить температуру сырья можно, разбавляя исходное сырье инертным газом или используя в качестве разбавителя керамические гранулы, смешанные с катализатором.

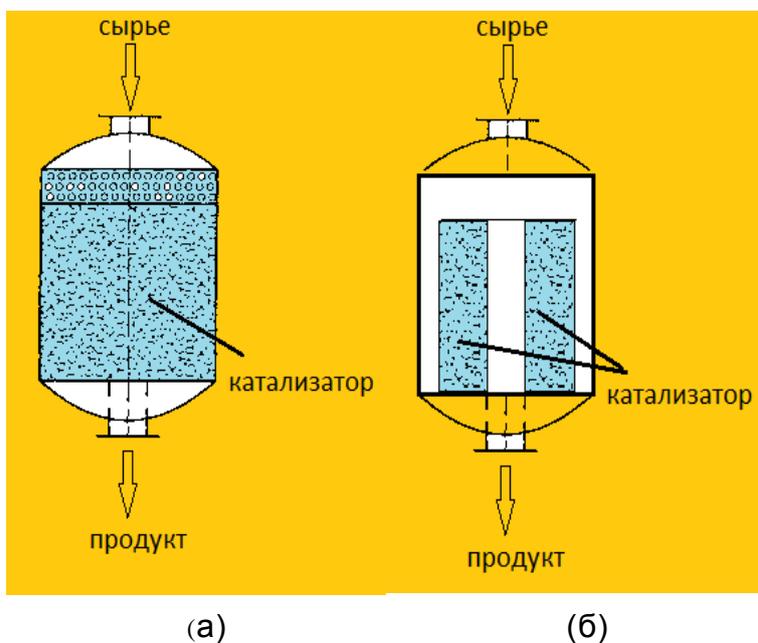
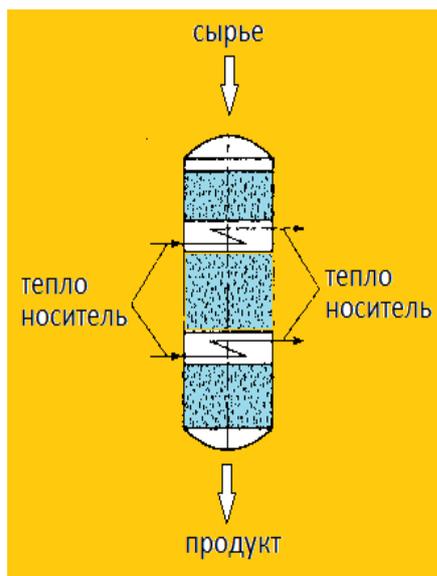


Рис.2.8.25. Реакторы с неподвижным слоем катализатора:
(а) аксиальное движение реагента; (б)- радиальное движение реагента

Основной недостаток такой конструкции - неравномерность профиля скорости движения реагента по сечению реактора вследствие неравномерной укладки катализатора. Это приводит к отложению кокса на поверхности зерен катализатора и необходимости его регенерации или замены; реактор же вынужден работать в периодическом режиме.

Разновидностью реакторов шахтного типа является реактор с радиальным движением реагента (рис.2.8.25., б). В этом случае катализатор засыпается в пространство кольцевого сечения, образованного двумя перфорированными цилиндрическими стаканами. Такая конструкция значительно улучшает гидродинамическую обстановку в зоне реакции.

В реакторах с размещением катализатора на полках (рис.2.8.26.) обеспечены условия для более эффективного отвода или подвода теплоты. Температурный режим процесса регулируется подогревом или охлаждением реагентов в пространстве между полками. Добиться равномерного температурного режима можно путем размещения на полках разного количества катализатора.



Характерным недостатком таких конструкций, как и всех реакторов с неподвижным слоем катализатора, является периодичность их работы и высокие значения сопротивления движению потока газа.

Рис.2.8.26. Реактор с размещением катализатора на полках

В химических реакторах трубчатого типа достигается эффективный теплообмен при размещении катализатора в межтрубном (рис. 2.8.27., а) или трубном (рис. 2.8.27, б) пространстве.

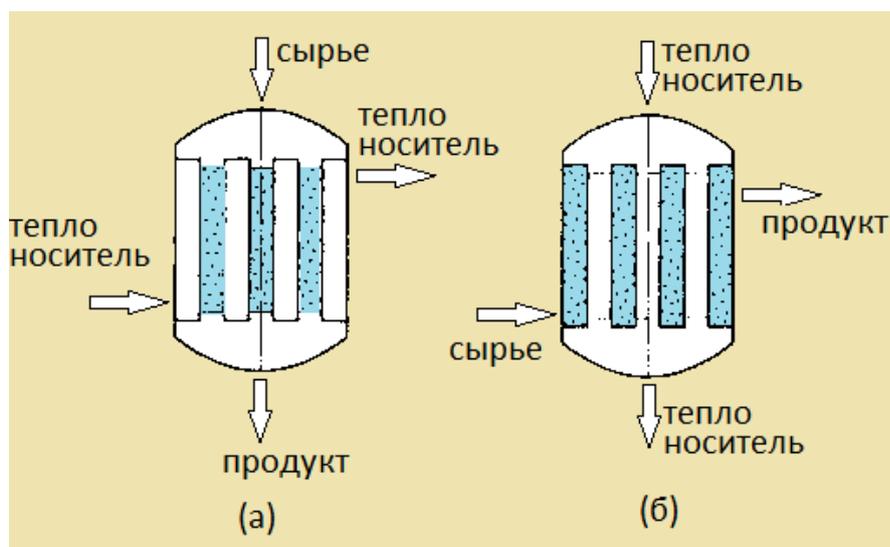
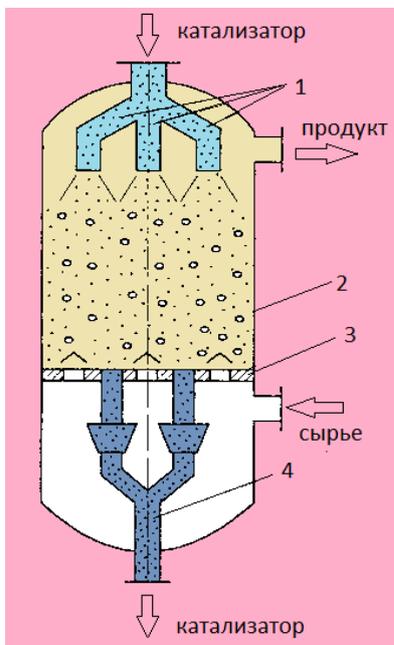


Рис.2.8.27. Кожухотрубчатые реакторы с размещением катализатора в межтрубном пространстве (а) и трубах (б)

Конструктивно такие аппараты напоминают кожухотрубчатый теплообменник. Теплоноситель подается через разделяющую поверхность. Производительность таких реакторов меньше, чем у реакторов шахтного типа, однако в этих реакторах значительно уменьшается возможность образования кокса на поверхности катализатора.

2.8.11 Реакторы с движущимся слоем катализатора

Для организации процесса в непрерывном режиме, уменьшения отрицательного влияния зон локального перегрева и снижения сопротивления зернистого слоя разработаны конструкции реакторов с движущимся слоем катализатора. Их отличительной особенностью является работа в блоке с регенератором, при этом катализатор постоянно циркулирует между реактором и регенератором, куда по пневмотранспортным трубам поступает закоксованный катализатор.



Регенерированный катализатор по пневмотранспортным распределительным трубам 1 (рис. 2.8.28.) направляется в реактор 2. Частицы движутся под действием собственного веса со скоростью 2 - 8 мм/с. Пары сырья поступают под плиту 3 и в виде пузырьков поднимаются в верхнюю часть реактора. Закоксованный катализатор собирается в сборных трубах 4 и выводится из реактора на регенерацию.

Рис.2.8.28. Реактор с движущимся слоем катализатора: 1 – распределительные трубы; 2 – реактор; 3 – плита; 4 – сборные трубы

Подвижность каталитического слоя дает возможность организовать течение твердых частиц через реактор, что существенно для процесса с меняющейся активностью катализатора. Благодаря этому можно организовать непрерывный транспорт его из зоны реакции в зону регенерации и обратно.

2.8.12 Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора

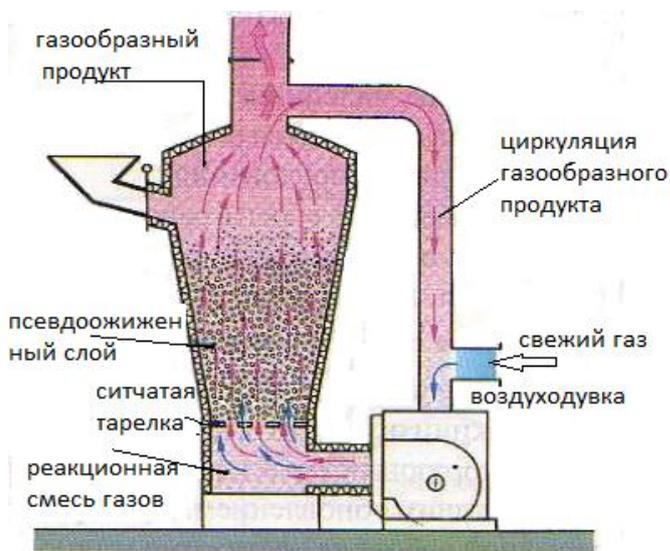
Проведение химических процессов в реакторах с псевдооживленным слоем катализатора обеспечивает равномерное распределение температуры по сечению и высоте слоя, малое гидравлическое сопротивление и возможность их работы в непрерывном режиме. В таких процессах используется мелкодисперсный катализатор с развитой поверхностью контакта фаз.

Реактор с псевдооживленным слоем имеет реакционное пространство, в котором наполнитель из зернистого твердого вещества взрыхляется струящимся снизу газом и удерживается во взвешенном состоянии (рис. 2.8.29.). Этот сильно взбаламученный, пронизанный газом слой называется псевдооживленным, или кипящим слоем. Он обладает такими же текучими свойствами, что и кипящая жидкость при сильном перемешивании. Этим обеспечивается интенсивный контакт газа с зернами.

Если скорость газового потока будет такой, что твердые частицы будут увлекаться им, то реализуется режим пневмотранспорта и реакция в

восходящем потоке катализатора. Такая организация процесса эффективна для быстрых реакций – т.к. время прохождения реакционной смеси в длинном узком реакторе небольшое.

При организации псевдооживленного слоя часть газа проходит слой в виде пузырей. Коэффициент массопередачи между пузырями и остальной частью слоя невысокий - фактически образование пузырей газа – это образование байпасных потоков. Это нежелательное явление, т.к. в пузырях реакция не идет и это в целом снижает производительность. Устраняется это явление



путем разбивки пузырей. Это осуществляется специальной массообменной насадкой, например, в виде проволочных спиралей. Другой способ заставить работать пузыри – добавить в катализатор очень мелкую фракцию. Такая катализаторная "пыль" попадает в пузыри, где частично будет протекать реакция.

Рис.2.8.29. Реактор с псевдооживленным слоем

Циркуляция частиц в псевдооживленном слое вызывает истирание катализатора. Для очистки газа от пыли после реактора устанавливают циклоны.

Теплота реакции идет не только на нагрев (охлаждение) реакционной массы, но и на нагрев (охлаждение) летящего с ней твердого катализатора, теплоемкость которого в 3000-600 раз больше теплоемкости газа. Процесс протекает почти изотермически. Отделив катализатор в циклоне, его нагревают или охлаждают в отдельном аппарате и возвращают в процесс.

2.8.13 Защитные покрытия и тепловая изоляция реакторов

Существует несколько способов защиты внутренней поверхности корпуса реактора от воздействия химически агрессивной среды. Наиболее распространенным можно считать нанесение на внутреннюю поверхность корпуса защитного слоя.

Эмалирование. Для защиты корпуса реакторов используют эмалирование — покрытие слоем эмали, которая устойчива к воздействию различных кислот и растворов минеральных солей. Эмаль получают сплавлением кварцевого песка и других материалов с плавнями (бура, поташ, селитра). Эмаль плохо выдерживает механические нагрузки, удары и резкие колебания

температуры. В слое эмали образуются трещины, куда проникает агрессивная среда, защитный слой быстро разрушается и корпус корродирует.

Гуммирование. Процесс обкладки внутренней поверхности реактора сырой резиной с последующей вулканизацией называют гуммированием. В состав резины могут входить компоненты на основе дивинилстирольных, дивиниловых и изопреновых каучуков, стойких к воздействию кислот и щелочей. Нанесение резины позволяет гасить возможные вибрации корпусных элементов. Однако эффективным такое покрытие можно считать при температуре, не превышающей 60 °С.

Обкладка полимерными материалами. Листовые материалы, выполненные из полимеров (на основе полиизобутилена, бутилкаучука, эбонита и др.) обладают высокой химической стойкостью, слабо подвержены тепловому и кислородному старению, отличаются высокой водостойкостью и газонепроницаемостью.

Защитные пластмассовые покрытия. Пластмассовые покрытия на основе винипласта, полиэтилена и полипропилена наносят в виде тонких слоев толщиной до 1 мм.

Лакокрасочные покрытия. Такие покрытия способны противостоять воздействию кислот, щелочей, кислых паров и газов при рабочей температуре, не превышающей 200 °С.

Напыление слоя металла. Защищаемая поверхность может быть покрыта тонким слоем металла (например, алюминием или кремнием). Металлические покрытия наносят при высокой температуре. Их используют при наличии в реакционном объеме растворов, содержащих серную кислоту.

Футеровка. Поверхность корпуса, защищенная облицовочным силикатным материалом, способна противостоять химической коррозии реакционной среды. Высокая механическая прочность футеровочного материала позволяет защитить корпус реактора от воздействия твердых частиц катализатора, находящихся в реакторе. В качестве такого материала используют кислотоупорный кирпич, графитовые, фарфоровые или керамические плитки, торкрет-бетон и др. Плитки укладывают на предварительно промазанную поверхность металла.

На практике покрытие часто выполняют из двух слоев — изоляционного и покровного. Изоляционный слой обладает низким коэффициентом теплопроводности, а покровный - высокой теплопроводностью и большой прочностью, благодаря чему он препятствует разрушению изоляционного слоя. Покровный слой может быть выполнен из цементной штукатурки или листового материала (тонколистовая коррозионно-стойкая сталь, листовая алюминий и др.).

Защитить химическое оборудование от коррозии можно с помощью специальных веществ — ингибиторов (замедлителей) коррозии. Они вводятся в небольшом количестве (до 1 %) в коррозионную среду и значительно уменьшают скорость коррозии. Однако данный способ снижает чистоту получаемого продукта.

Тепловая изоляция реакторов. Многие химические реакции протекают при температурах, отличающихся от температуры окружающей среды. В этой связи возникает задача снижения тепловых потерь. Кроме этого при эксплуатации реакторов необходимо обеспечить нормальные условия их обслуживания рабочим персоналом. С этой целью поверхность реакторов и трубопроводов покрывают слоем тепловой изоляции.

К материалам, из которых изготавливается тепловая изоляция, предъявляется ряд требований: низкий коэффициент теплопроводности, небольшая плотность, малая гигроскопичность, стойкость к высокой температуре и ее колебаниям, химическая стойкость, достаточная механическая прочность.

Теплоизоляционные материалы по природе их происхождения подразделяют на минеральные (на основе асбеста, керамзита, полученные из расплавов шлаков, горных пород и др.) и органические (полученные из волокнистого сырья с добавлением органических клеев).

По предельным температурам применения теплоизоляционные материалы делят на три класса: низкотемпературные (до 150 °С - торфоплиты, строительный войлок и др.); среднетемпературные (до 450 °С - асбозурит, стекловата и др.); высокотемпературные (выше 450 °С - шлаковата, асботермит, асбест и др.).

Существуют различные способы монтажа тепловой изоляции на поверхности реактора или трубопровода. Порошкообразные мастичные материалы предварительно замешивают с водой до получения однородной пастообразной массы и наносят на каркас, устанавливаемый на корпусе.

Засыпной способ предусматривает засыпку изоляционного материала в каркасный кожух. Оберточный способ заключается в обертывании поверхности реактора мастичным материалом.

Мастично-формовочный способ предусматривает укладку изоляционных плит, кирпичей на подмазочный слой мастики.

На практике при проведении высокотемпературных процессов возникает потребность в установке многослойной изоляции. При этом один слой должен выдерживать высокие температуры и иметь невысокие теплоизоляционные характеристики, а второй - обладать хорошими теплоизоляционными свойствами. Для повышения поверхностной прочности отделки

изоляционного слоя на него наносят защитный слой асбоцементной штукатурки, в состав которой входят цемент, асбест и диатомит.

2.8.14 Контрольные вопросы по разделу «Химические реакторы»

- По каким признакам классифицируют химические реакторы?
- В чем отличие реакторов вытеснения и смешения?
- Перечислите основные типы колонных реакторов.
- Какие реакторы относятся к печам?
- В чем состоит особенность каталитических процессов? Какие требования предъявляют к катализаторам?
- Каковы особенности конструкций реакторов для проведения каталитических процессов?
- Назовите способы защиты корпусов реакторов от воздействия химически агрессивной среды.
- По каким признакам классифицируют теплоизоляционные материалы?
- Расскажите о способах крепления тепловой изоляции к корпусу реактора.

2.9 Аппараты высокого давления

В химической и нефтехимической промышленности, например, в производстве аммиака, мочевины, метанола, полиэтилена высокого давления, высших спиртов, в процессах гидрогенизации используют аппараты, работающие под давлением выше 10 МПа. Наиболее распространены давления порядка 30-60 МПа.

При высоких давлениях многие химические процессы протекают быстрее и эффективнее. Это является первой причиной использования высоких давлений в промышленности. Целесообразно использовать высокие давления также в том случае, когда процесс протекает при температурах, которые превышают температуру кипения исходных веществ. Это происходит, например, при разделении газов в сжиженном состоянии. Известными процессами, протекающими при высоких давлениях, являются **синтез аммиака** из азота и водорода ($p \sim 35$ МПа), **метанола** из оксида углерода ($p \sim 30$ МПа), мочевины ($p = 20$ МПа), **полиэтилена высокого давления** ($p = 150$ МПа).

Аппараты высокого давления можно разделить на две основные группы:

- **автоклавы** – аппараты для проведения периодических процессов;
- **колонны** – аппараты для проведения непрерывных процессов с постоянным вводом в них сырья и отводом готового продукта.

Главными требованиями к конструкции аппарата высокого давления являются повышенная прочность, надежность и герметичность.

2.9.1 Автоклавы

Автоклавы представляют собой стальные котлы со сферическими днищами и крышками (рис.2.9.1.). Основными узлами автоклава являются: корпус, крышка.

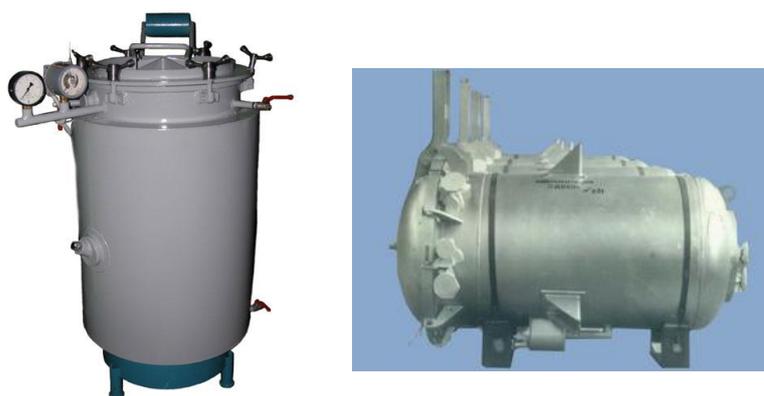


Рис. 2.9.1. Автоклавы

Если в автоклаве протекает химическая реакция и нужно перемешивание, то автоклав имеет устройство для перемешивания, затвор, сальник, трубу для опорожнения. Герметичное **соединение крышки с корпусом** в автоклавах осуществляется с помощью **затворов**. Так как в автоклавах проводят периодические процессы, то необходимо постоянно снимать крышку при загрузке

сырья и выгрузке готового продукта. Поэтому затворы автоклавов, кроме обеспечения надежного и герметичного присоединения крышки к корпусу, должны позволять многократно, быстро и удобно снимать крышку.

Наиболее простой затвор – фланцевый со специальными стяжными болтами и прокладками. Стяжные болты должны выдерживать внутреннее давление на

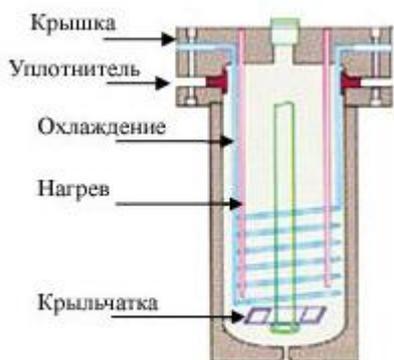


Рис. 2.9.2. Автоклав с мешалкой

крышку и создавать необходимое для герметизации давление на прокладку. Современные конструкции автоклавов имеют механизмы поворота и открывания крышек. В реакторах с мешалкой для проведения жидкофазных процессов при высоком давлении используют бессальниковый привод мешалки. В аппаратах высокого давления с бессальниковым приводом энергия передается на вал мешалки посредством вращающегося магнитного поля, которое развивает статор асинхронного электродвигателя.

Автоклавы используют не только для проведения химических реакций, но также в медицине и пищевой промышленности для стерилизации (рис.2.9.3.).

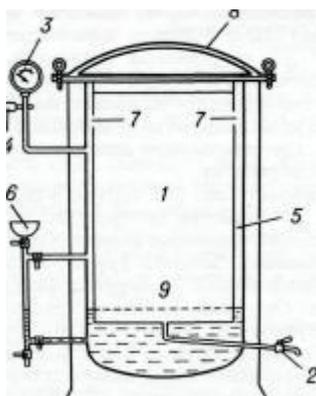


Рис.2.9.3. Автоклав для стерилизации: 1- стерилизационная камера, 2 - кран для выхода воздуха, 3 - манометр, 4 - предохранительный клапан, 5 - «рубашка», 6 - воронка, 7 - отверстие для поступления пара в стерилизационную камеру, 8 – крышка, 9 – решетка.

Автоклавы для стерилизации бывают различной конструкции: вращающиеся, качающиеся, горизонтальные, вертикальные и колонные, но принцип устройства любого автоклава один и тот же. Это металлический двустенный котел, способный выдержать высокое давление. Внутренняя часть котла является стерилизационной камерой 1, которая снабжена краном 2 для выхода воздуха, манометром 3 для определения давления пара и предохранительным клапаном 4 для выхода пара при повышении давления выше нормы и предотвращения разрыва автоклава. Пространство между стенками 5, называемое «рубашкой», заполняется через воронку 6 дистиллированной водой до определенного уровня, который отмечен на водомерной трубке. В верхней части внутренней стенки «рубашки» имеются отверстия 7, через которые пар поступает в стерилизационную камеру. Для создания герметичности автоклав закрывается массивной крышкой 8 с резиновой прокладкой. Автоклавы используют для стерилизации питательных сред, посуды, инструментов. Для дрожжевой барды применяют автоклав, снабженный мешалкой.



Рис.2.9.4. Автоклавы для стерилизации пищевых и микробиологических продуктов

2.9.2 Колонны высокого давления

Высокое давление предопределяет форму аппаратов. Обычно такие аппараты имеют небольшой диаметр для того, чтобы уменьшить толщину стенки и периметр уплотнения. Технологический объем аппаратов увеличивают за счет большой длины. Обычно такие аппараты представляют собой колонны высотой 20-25м и диаметром порядка 1,4-1,6м. Отношение диаметра к высоте примерно равно 1:10; 1:15. Колонны высокого давления обычно состоят из двух самостоятельных элементов конструкции: корпуса с крышкой и насадки.

Корпус - это оболочка реактора. Она должна выдерживать высокое давление. Корпуса аппаратов высокого давления унифицированы. Это дает возможность в одном и том же корпусе собирать насадки различного назначения. Обычно такие аппараты работают при высоких температурах. Поэтому наружные стенки их должны охлаждаться. Для этого используют так называемую защиту. Суть её заключается в том, что холодные компоненты, участвующие в процессе, подают в кольцевое пространство между корпусом и насадкой.

Насадка имеет теплообменные и газораспределительные устройства, катализаторные коробки, вид и тип которых определяется технологическим назначением аппарата. Насадку изготовляют в виде цельного блока. Это позволяет её целиком вынимать из корпуса.

По **способу изготовления** аппараты высокого давления подразделяются на **сплошные** (цельнокованные, ковано-сварные и штамповарные) и **составные** (многослойные, витые и рулонные) аппараты.

Для изготовления **цельнокованных корпусов** необходимо тяжелое ковочное оборудование. Поэтому в последнее время их заменили ковано-сварные или штамповарные корпуса. Технология их изготовления значительно проще. В ковано-сварных корпусах нижнюю (дно) и верхнюю часть выковывают отдельно, затем их приваривают к цилиндрической обечайке. Штамповарные корпуса делают из штампованных частей, которые потом соединяют сваркой.

В аппаратах высокого давления бывают также **многослойные корпуса**. Они состоят из **нескольких обечаек, насаженных друг на друга с натягом**. Толщина обечаек, насаживаемых на центральную трубу, равна примерно 6-8мм.

Иногда на металлическую центральную часть аппарата (гильзу) в несколько слоев **наматывают стальную ленту** специального профиля в горячем виде. Предварительно на центральной трубе делают проточку по винтовой линии под профиль оплеточной ленты. При намотке выступы каждого нового слоя входят во впадины предыдущего слоя. После остывания горячая лента сжимает внутреннюю гильзу. Это способствует благоприятному распределению напряжений по толщине стенки. Торцы ленты обрабатывают, сваривая встык. Затем к ним приваривают дно и фланцевые соединения. Изготовленные таким образом корпуса называют **оплеточными**.

Дно аппаратов высокого давления делают **плоским, имеющим прямоугольное сечение, со сферическим углублением или выпуклым**.

Крышки аппаратов представляют собой **массивные плоские плиты**. Через отверстия в дне и крышке к аппаратам высокого давления присоединяют трубопроводы и контрольно-измерительные приборы. Отверстия в корпусе могут ослабить конструкцию. Поэтому их делать на корпусе не рекомендуется.

Работа при высоком давлении и температуре требует использования специальных материалов для изготовления корпусов, так как в этих условиях наблюдается усиление различных видов коррозии. Например, при производстве метанола необходимо считаться с водородной коррозией. Водородная коррозия происходит при диффузии водорода в материал корпуса. Водород вступает в реакцию с карбидом железа и образует метан. Это явление наблюдается уже при 200°C. Эффективным способом борьбы с водородной коррозией является добавление в сталь таких элементов, как хром, молибден, ванадий, карбиды которых более стойкие, чем карбид железа.

В производстве аммиака при температурах стенки выше 350°C наблюдается азотирование стенок аппарата. Азотированный слой у углеродистых и слаболегированных сталей достигает значительной толщины. Он имеет трещины, является хрупким.

Карбонильная коррозия заключается в том, что оксид углерода адсорбируется на поверхности стали и вступает в реакцию с железом. В результате этого уменьшается толщина стенки. Для исключения этого явления в сплавы добавляют марганец, титан.

В зависимости от температуры корпуса аппараты высокого давления условно подразделяют на **«холодные»** (температура стенки менее 200 °С) и **«горячие»** (температура стенки более 200 °С). Для изготовления аппаратов первого типа используют углеродистые или слаболегированные стали, второго типа – стали с добавками хрома, никеля, молибдена, вольфрама.

Уплотнения крышек и штуцеров аппаратов высокого давления должны быть абсолютно надежны в работе и обеспечивать герметичность соединения в условиях высоких давлений и значительных колебаний температуры, просты в изготовлении и удобны для сборки и разборки. Разъемные соединения таких аппаратов имеют ряд конструктивных особенностей. Для **прокладок** используют **материалы с повышенной прочностью**, обычно **мягкие металлы**, такие как медь, алюминий, мягкое железо. Уплотняющие элементы называют **обтюраторами**.

В зависимости от типа применяемых обтюраторов различают **уплотнения с пластической деформацией** и **уплотнения с жесткими элементами**, подвергающимися только упругой деформации. Форма обтюраторов и конструкции узлов уплотнения в аппаратах высокого давления отличаются от аналогичных узлов в аппаратах низкого давления. Обтюраторы, работающие с пластической деформацией, должны находиться в замкнутом пространстве. В противном случае обтюратор будет растекаться. Кроме того, конструкция уплотнения должна обеспечивать сравнительно легкую его замену. В соединении «выступ-паз» такая замена затруднительна. Уплотнения с плоскими обтюраторами и соединением «в замок» являются самыми простыми и рекомендуются к применению для диаметров аппарата до 600 мм и давления менее 32 МПа. Крепежными деталями в колоннах высокого давления служат только шпильки. Их изготавливают по определенным правилам.

Для больших давлений рекомендуется самоуплотняющийся затвор со стальным упругим кольцом. Крышка после установки упорного кольца подтягивается с помощью шпилек. Окончательное сжатие кольца производится давлением среды на крышку, которая сжимает упругое кольцо тем больше, чем больше давление внутри колонны.

Технологическое устройство колонн

К внутренним технологическим устройствам колонн высокого давления относят различные конструкции и детали, которые предназначены:

- для организации направленного движения реагирующих веществ;
- для подвода или отвода тепла к реагирующим веществам;
- для поддержания слоя катализатора.

В зависимости от характера процесса, протекающего внутри колонны высокого давления, используют технологические устройства разнообразных конструкций: от простой колосниковой решетки, поддерживающей слой катализатора, до сложных катализаторных коробок колонн синтеза аммиака.

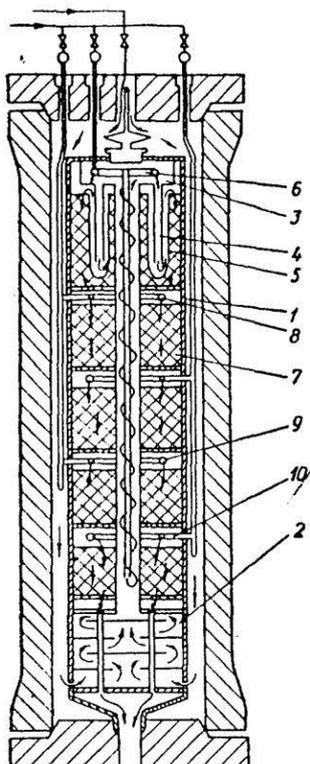
Если внутри колонны протекает процесс с большим выделением тепла, то применяют различные конструктивные меры для снижения воздействий высоких температур на корпус. Часто это осуществляют за счет направления

поступающего на процесс холодного газа или жидкости вдоль внутренних стенок корпуса колонны. Этот способ охлаждения стенок широко используют в колоннах синтеза аммиака или мочевины.

На рис.2.9.5. показана одна из многих конструкций колонн синтеза аммиака. Колонна синтеза аммиака является ковано-сварной. В нее вставлена насадка, состоящая из катализаторной коробки 1, теплообменника 2 и подогревателя. Катализаторная коробка с комбинированной полочной насадкой предназначена для проведения экзотермических процессов синтеза NH_3 .

Принципы работы колонны синтеза с комбинированной насадкой заключаются в следующем. Через верхнюю крышку колонны поступает основной поток реагирующей газовой смеси.

Двигаясь по кольцевой щели, образованной кожухом катализаторной коробки, соединенной с предварительным теплообменником и внутренней обечайкой колонны, поток направляется в межтрубное пространство теплообменника. Затем через центральную трубу нагретый газ поступает в распределительный коллектор 3 верхней катализаторной полки 7 с трубчатым теплообменником. Газовая смесь последовательно проходит через внутренние 4 и наружные 5 трубки теплообменника, в которых она нагревается за счет тепла, выделившегося в результате реакции, и поступает в катализатор, находящийся между трубками. Температурный режим на верхней трубчатой полке регулируется подачей байпасного газа 6 в коллектор 3. Выйдя из трубчатой части катализаторной коробки, газовая смесь последовательно проходит через нижерасположенные полки 8, 9, 10 с катализатором. Причем температурный режим в слое катализатора регулируется на каждой из полок подачей байпасного газа. Выйдя из катализаторной коробки, конвертированный газ проходит трубчатую часть теплообменника 2, охлаждается и направляется в паровой котел.



Конструкция комбинированной полочной насадки объединяет положительные стороны трубчатой и полочной насадки. Она обеспечивает: высокую регулируемую температуру для интенсивного развития реакции, включение в работу нижних катализаторных слоев, возможность регулирования температурного режима по высоте всего слоя катализатора и невысокое гидравлическое сопротивление.

Рис. 2.9.5. Колонна синтеза аммиака производительностью 1600 т/сут.: 1 – катализаторная коробка; 2 – теплообменник; 3 – коллектор; 4 – внутренние трубки теплообменника; 5 – наружные трубки теплообменника; 6 – коллектор; 7 – катализаторная полка; 8, 9, 10 – полки с катализатором.

Кожух насадки колонны изолирован с двух сторон по всей высоте. В катализаторную коробку вмонтированы два кармана, в которые через крышку колонны вставляют термопары. Крышка колонны с корпусом уплотнена двумя прокладками на обтюраторном кольце. Катализатор в катализаторную коробку загружают при горизонтальном положении коробки через загрузочные люки. Коробка должна быть вне колонны на специальном вибрационном устройстве для плотной укладки катализатора.

2.9.3 Контрольные вопросы по теме «Аппараты высокого давления»

- С какой целью в промышленности используют процессы, протекающие при высоком давлении?
- Назовите известные Вам промышленные процессы, требующие высокого давления.
- Какие типы аппаратов высокого давления Вы знаете? В чем их отличие?
- Перечислите основные части автоклавов. Назовите области их применения.
- Перечислите и кратко охарактеризуйте способы изготовления корпусов колонн высокого давления.
- Каким образом коррозия оказывает влияние на материал, из которого изготовлена колонна высокого давления?
- Какие технологические особенности имеют колонны синтеза аммиака?

2.10 Аппараты колонного типа

Колонные аппараты предназначены для ведения тепло-, массообменных процессов. Участвуют в качестве основного технологического оборудования в процессах: дистилляции, ректификации, абсорбции, десорбции, экстракции, охлаждения, увлажнения и очистки газов.

В зависимости от применяемого давления колонные аппараты подразделяются на:

- атмосферные,
- вакуумные
- колонны, работающие под давлением.

К атмосферным колоннам относят колонны, в верхней части которых рабочее давление незначительно превышает атмосферное и определяется гидравлическим сопротивлением трубопроводов и аппаратуры, расположенных на потоке паров ректификата после колонны. Давление в нижней части колонны зависит в основном от гидравлического сопротивления ее внутренних устройств и может значительно превышать атмосферное.

В вакуумных колоннах давление ниже атмосферного - создано разрежение, что позволяет снизить рабочую температуру процесса. Величина давления в колонне определяется физико-химическими свойствами разделяемых продуктов и главным образом допустимой максимальной температурой их нагрева без заметного разложения. В сланцехимической промышленности такие колонны предназначены для фракционирования суммарных сланцевых фенолов.

В колоннах, работающих под давлением давление может значительно превышать атмосферное (1-4 МПа).

По типу внутренних контактных устройств колонные аппараты разделяются: тарельчатые, насадочные, пленочные.

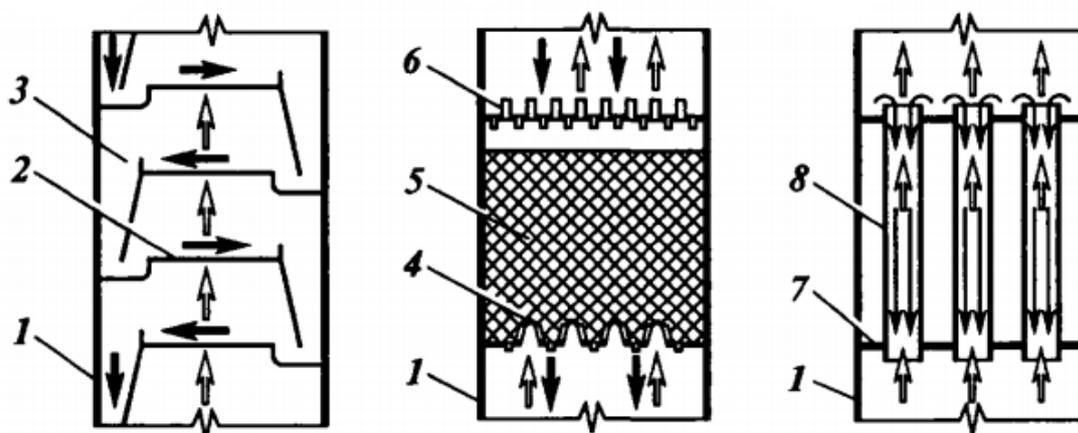
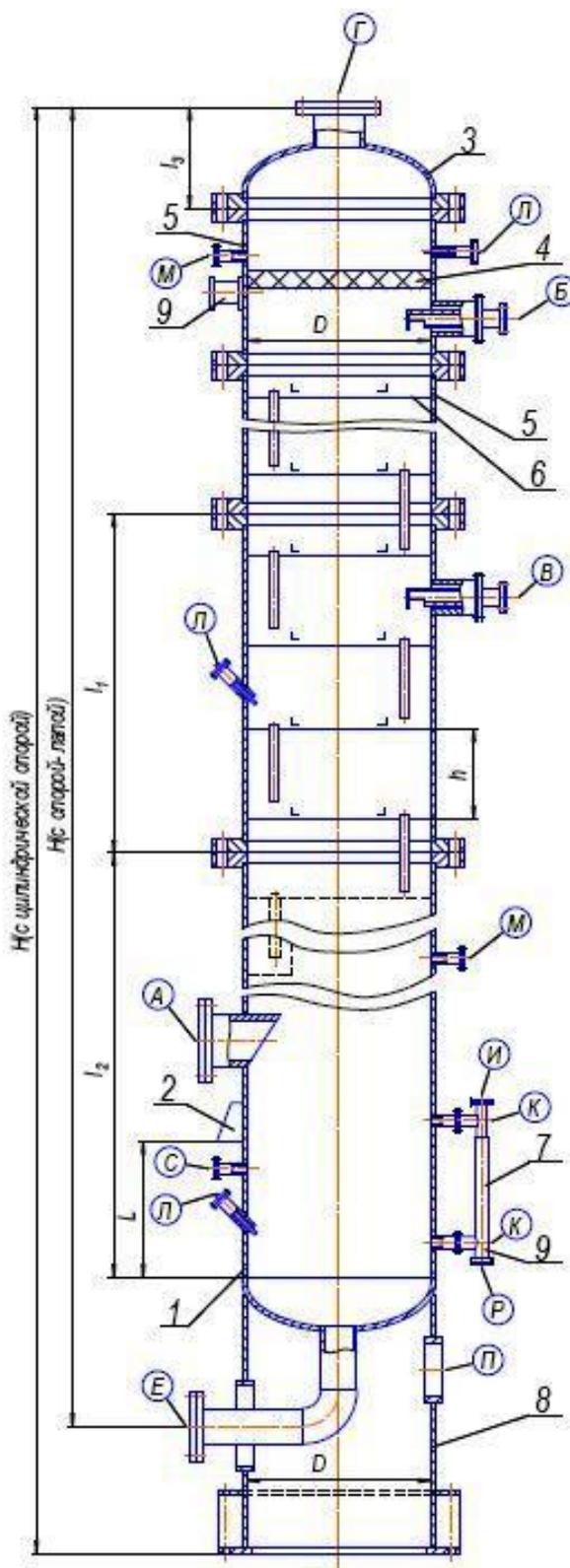


Рис.2.10.1. Основные типы колонных аппаратов: 1- корпус колонны, 2- тарелка, 3- перегородка, 4- опорная решётка, 5-насадка, 6- распределительное устройство, 7- трубная решётка, 8-труба.

В тарельчатых аппаратах



контакт между фазами происходит при прохождении пара (газа) сквозь слой жидкости, находящейся на контактном устройстве (тарелке).

В насадочных колоннах контакт между газом (паром) и жидкостью осуществляется на поверхности специальных насадочных тел, а также в свободном пространстве между ними.

В пленочной колонне фазы контактируют на поверхности тонкой пленки жидкости, стекающей по вертикальной или наклонной поверхности.

2.10.1 Тарельчатые колонны

Рис 2.10.2. Колонный аппарат тарельчатый царговый.

Таблица штуцеров: А - вход пара; Б - вход флегмы; В - вход питания; Г - выход пара; Е - выход жидкой фазы в кипятыльник; И - датчик уровня; Л - датчик температуры; М - датчик давления; П - лаз; Р - дренаж; С - резервный.

1 - корпус; 2 - опора-лапа; 3 - крышка; 4 - отбойник сетчатый; 5 - царга сепарационная; 6 - тарелка; 7 - камера уровнемера; 8 - опора цилиндрическая; 9 - цапфа.

Способы создания орошения в колонне

Для образования потока флегмы в верхней части колонны необходимо отводить тепло, конденсируя соответствующее количество паров. В промышленности получили применение следующие три основных способа отвода тепла:

- парциальным конденсатором, холодным испаряющимся орошением и циркуляционным неиспаряющимся орошением.

Парциальный конденсатор. Представляет собой кожухотрубчатый теплообменный

аппарат, установленный горизонтально или вертикально на верху колонны. Охлаждающим агентом является, как правило, вода или воздух. Поступающие в межтрубное пространство пары частично конденсируются и возвращаются на верхнюю тарелку в виде орошения, а пары ректификата отводятся из конденсатора.

При парциальной конденсации принимают, что пары ректификата и флегмы находятся в равновесии, то есть парциальный конденсатор эквивалентен одной теоретической тарелке.

Холодное испаряющееся орошение. Паровой поток, уходящий с верха колонны, полностью конденсируется в конденсаторе – холодильнике (водяном или воздушном) и поступает в емкость или сепаратор. Из ёмкости часть ректификата насосом подается обратно в ректификационную колонну в качестве холодного испаряющегося орошения, а другая отводится как целевой продукт. Отвод тепла при помощи холодного испаряющегося орошения позволяет размещать конденсатор — холодильник на любой удобной для эксплуатации высоте колонны.

Циркуляционное (неиспаряющееся) орошение. Этот вариант отвода тепла в укрепляющей секции колонны в технологии нефтепереработки применяется для регулирования температуры не только наверху, но и в средних сечениях сложных колонн.

Для создания циркуляционного орошения с тарелки колонны выводят часть флегмы (или бокового дистиллята), охлаждают в теплообменнике, в котором она отдает тепло исходному сырью и далее насосом возвращают на вышележащую тарелку. Из промежуточных орошений чаще применяют циркуляционные орошения, которые располагаются обычно под отбором бокового погона, или используется отбор бокового погона для создания циркуляционного орошения с подачей жидкой фазы в колонну выше точки возврата паров из отпарной секции. При использовании циркуляционного орошения рационально используется тепло отбираемых дистиллятов для подогрева исходного сырья (нефти, сланцевой смолы), выравниваются нагрузки по высоте колонны и, тем самым, увеличивается производительность колонны, и обеспечиваются оптимальные условия работы контактных устройств в концентрационной секции.

Способы подвода тепла в низ колонны. Для проведения процесса ректификации необходимо в низ колонны подвести тепло. При этом часть жидкости, стекающей с нижней тарелки колонны, испаряется, образуя необходимый для процесса ректификации встречный поток паров. В промышленности наиболее часто реализуются способы подвода тепла в следующих аппаратах: подогревателе с паровым пространством (парциальный испаритель); теплообменном аппарате без парового пространства с последующим однократным испарением нагретого потока в низу колонны (так называемая горячая струя).

Подогреватель с паровым пространством. При подводе тепла в низ колонны кипятильником (ребойлером) осуществляется подогрев кубового продукта в выносном кипятильнике, где он частично испаряется. Образовавшиеся пары возвращаются под нижнюю тарелку колонны. Характерной особенностью этого способа является наличие в кипятильнике постоянного уровня жидкости и парового пространства над этой жидкостью. По

своему разделительному действию кипятильник эквивалентен одной теоретической тарелке. При высокой температуре низа колонны подвод тепла через кипятильник в целом ряде случаев требует применения специальных высокотемпературных теплоносителей

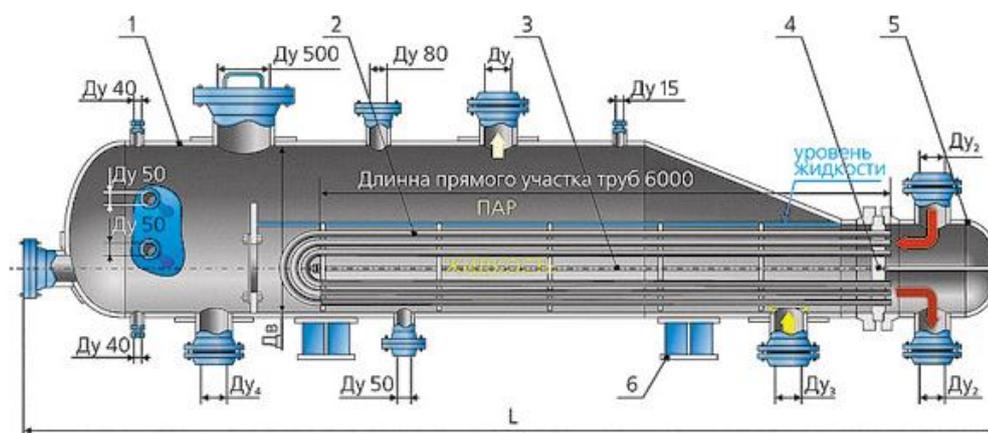


Рис. 2.10.3. Подогреватель с паровым пространством 1- кожух испарителя; 2- пучок трубный U-образный; 3- стяжка; 4- трубная решётка; 5- крышка распределительной камеры; 6- опора. Ду 200- для монтажа пучка; Ду4- выход остатка продукта; Ду50- дренаж; Ду3 – выход жидкого продукт; Ду2- вход греющего пара; Ду15- для манометра; Ду1- выход паров продукта; Ду80- для предохранительно клапана; Ду500- люк; Ду50- для уровнемера.

Горячая струя. Этот способ подвода тепла применяется в тех случаях, когда нагрев остатка обычными теплоносителями (водяной пар) не представляется возможным или целесообразным. При подводе тепла в низ колонны трубчатой печь часть кубового продукта прокачивается через трубчатую печь, и подогретая парожидкостная смесь (горячая струя) вновь поступает в низ колонны. Этот способ применяют при необходимости обеспечения сравнительно высокой температуры низа колонны., например при перегоне нефти.

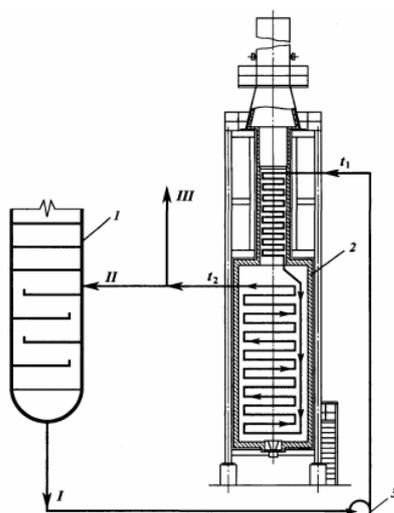


Рис.2.10.4. Схема подвода тепла в низ колонны «горячей струей». 1- колонна, 2- трубчатая печь, 3- насос. I- кубовый остаток, II- «горячая струя», III- паро-жидкостная смесь

Термосифонные ребойлеры. На современных нефтеперерабатывающих и нефтехимических установках применяют термосифонные ребойлеры для подвода тепла в нижнюю часть фракционирующих колонн. Для обеспечения устойчивой работы термосифонного ребойлера в нижней части колонны выполнена перегородка, которая делит колонну на две части: в одной части циркуляция жидкости осуществляется вследствие разности давлений столба горячей жидкости и парожидкостной смеси, в другой поддерживается уровень жидкости, обеспечивающий нормальную работу насоса.

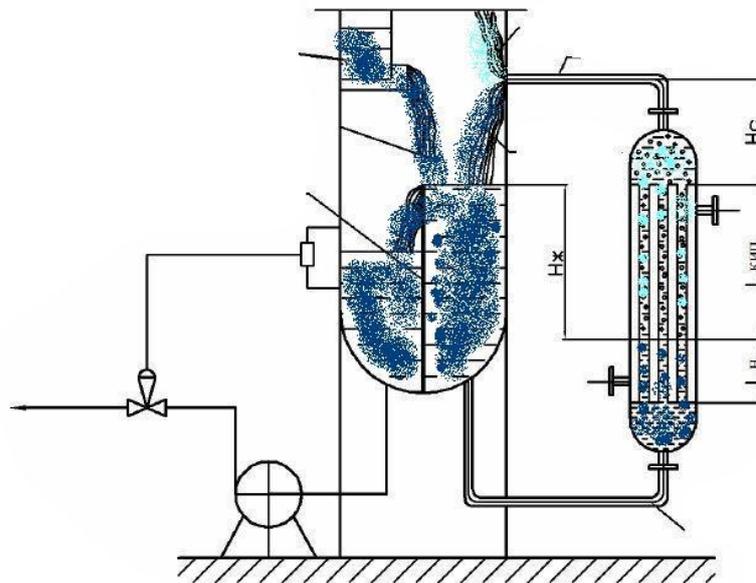


Рис.2.10.5. Термосифонный рибойлер

Жидкость, поступающая из колонны в трубное пространство термосифонного рибойлера, нагревается в нижней части трубок до точки кипения. Из рибойлера парожидкостная смесь направляется в колонну под нижнюю тарелку. Для исключения влияния струи парожидкостной смеси, поступающей из рибойлера, на регулятор уровня в колонне предусмотрена наклонная сегментная перегородка.

Перегонка с водяным паром. Для создания требуемого парового потока в отгонной секции атмосферной и вакуумной колонн, а также испарения (отпаривания) низкокипящих фракций на практике широко применяют перегонку с водяным перегретым паром.

При вводе водяного пара в отгонную секцию парциальное давление паров снижается и создаются условия, при которых жидкость оказывается как бы перегретой, что вызывает ее испарение (то есть действие водяного пара аналогично вакууму). При этом теплота, необходимая для отпаривания паров, отнимается от самой жидкости, в результате она охлаждается. Наибольший эффект испаряющего влияния перегретого водяного пара проявляется при его расходе, равном 1,5 - 2,0 % масс, на исходное сырье. Недостатки применения водяного пара в качестве испаряющего агента:

- увеличение затрат энергии (тепла и холода) на перегонку и конденсацию;
- повышение нагрузки колонн по парам, что приводит к увеличению диаметра аппаратов и уносу жидкости между тарелками;
- ухудшение условий регенерации тепла в теплообменниках;
- увеличение гидравлического сопротивления и повышение давления в колонне и других аппаратах;
- обводнение нефтепродуктов и необходимость их последующей сушки;

- усиление коррозии нефтеаппаратуры и образование больших количеств загрязненных сточных вод.

Выбор давления в ректификационной колонне. Выбор давления обусловлен требуемым температурным режимом в ректификационной колонне:

- давление в колонне повышается по сравнению с атмосферным, когда необходимо повысить температуру в колонне
- давление уменьшается путем создания вакуума, когда температура в колонне должна быть снижена.

Подбор соответствующего давления в ректификационной колонне обеспечивает такой температурный режим, при котором можно использовать дешевые и доступные хладагенты — воду и атмосферный воздух.

Увеличение температуры верха колонны при соответствующем повышении в ней давления приводит к уменьшению поверхности дефлегматора из-за роста средней разности температур между конденсирующимися парами дистиллята и охлаждающим агентом.

Вместе с тем при повышении давления в колонне увеличивается и температура кубового остатка, отбираемого из низа колонны. Это приводит к увеличению поверхности кипятильника или к необходимости применения более высокотемпературного и более дорогого теплоносителя.

Понижение давления в ректификационной колонне созданием вакуума позволяет снизить температуру в колонне, что необходимо при разделении компонентов, обладающих высокими температурами кипения или термической нестабильностью.

При выборе давления в колонне в каждом конкретном случае необходимо проводить всесторонний анализ. При этом основным критерием является обеспечение безопасного режима.

2.10.2 Классификация контактных устройств тарельчатых колонн

При выборе типа контактных устройств обычно руководствуются следующими основными показателями: производительностью; коэффициентом полезного действия; диапазоном рабочих нагрузок; гидравлическим сопротивлением; материалоемкостью; простотой конструкции, удобством изготовления, монтажа и ремонта; возможностью работы на средах, склонных к образованию смолистых или других отложений.

При использовании того или иного типа контактных устройств учитывают как их гидродинамические и массообменные характеристики, так и экономические показатели работы колонны.

Основные принципы классификации тарелок.

В настоящее время в промышленной практике известны сотни различных конструкций тарелок, которые можно классифицировать:

- по способу передачи жидкости с тарелки на тарелку,
- по способу взаимодействия жидкой и паровой (газовой) фаз,
- по характеру диспергирования взаимодействующих фаз,
- по конструкции устройства для ввода пара (газа) в жидкость и др.

Как видно, в основу классификации положен метод организации слива. В зависимости от нагрузки по жидкости и технологического назначения колонны переток жидкости может осуществляться одним, двумя и более потоками. В пределах полотна тарелки течение жидкой фазы можно направить по горизонтальной поверхности или по слегка наклонной в сторону слива как в одном уровне, так и каскадом. При низких значениях нагрузки по жидкости обычно используют переливные трубы.

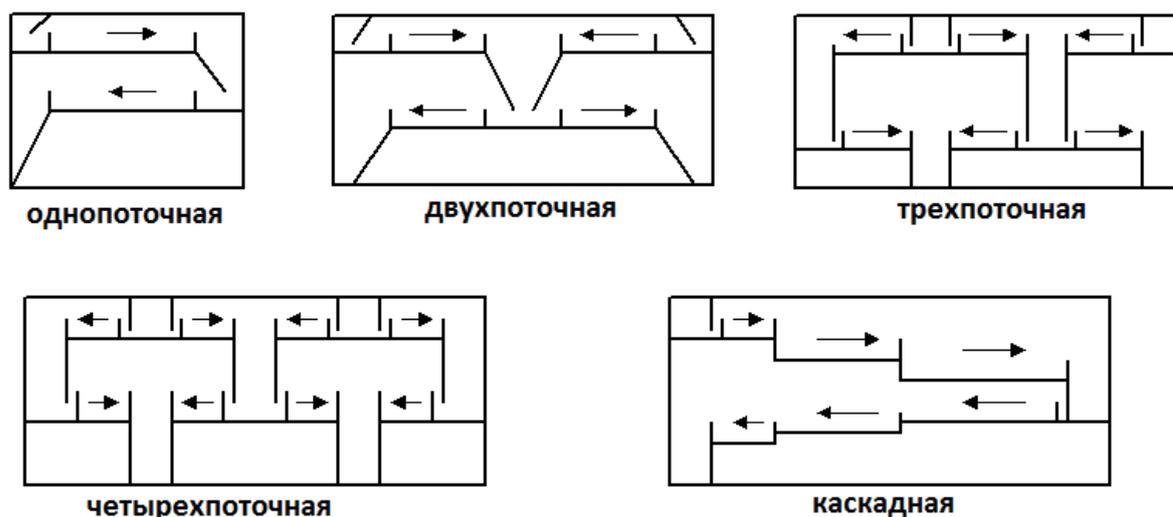


Рис 2.10.6. Схемы организации движения потока жидкости на тарелках с переливными устройствами:

Контакт между жидкой и паровой фазами осуществляется главным образом по схемам перекрестного тока в тарелках с переливными устройствами или противотока в провальных тарелках.

Для повышения производительности тарелки используют прямоток, а для повышения эффективности взаимодействия фаз предпочитают перекрестный ток или противоток.

Перекрестноточные тарелки характеризуются наибольшей разделительной способностью, поскольку время пребывания жидкости на них наибольшее по сравнению с другими типами тарелок.

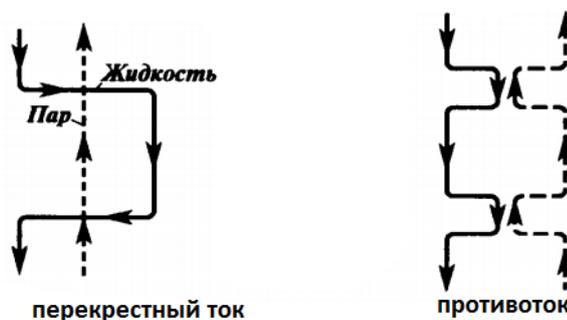


Рис. 2.10.7. Схемы движения пара и жидкости в контактной зоне тарелки

По характеру диспергирования взаимодействующих фаз различают:

- тарелки барботажного типа;
- струйного типа.

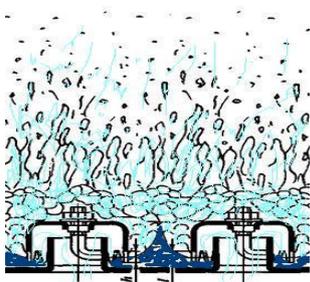


Рис.2.10.8. Барботажный режим работы тарелки

Барботажный режим имеет место при относительно небольших скоростях пара. На тарелках пар (газ), диспергируясь на мелкие пузырьки и струи, с большой скоростью проходит через слой жидкости, образуя при этом пену. Режим взаимодействия фаз, когда пар является дисперсной фазой, а жидкость сплошной фазой, называется барботажным, а тарелки, реализующие этот режим работы, называются **барботажными**.

При больших скоростях пара дисперсной фазой становится жидкость, а пар - сплошной фазой. Этот режим называется **струйным**, а контактные устройства, основанные на этом принципе взаимодействия фаз, - **струйными**. При струйном режиме контакт между паром (газом) и жидкостью осуществляется в прямотоке. Для повышения общей эффективности взаимодействия контактирующих фаз прибегают к различным способам локализации (компенсации) прямотока.

Устройство барботажной тарелки. Колпачковые тарелки с капсульными колпачками до недавнего времени считались лучшими контактными устройствами для ректификационных и абсорбционных аппаратов благодаря простоте эксплуатации и универсальности. Основной частью колпачковой тарелки является полотно тарелки с отверстиями для паровых патрубков. Патрубки приварены к диску. Над патрубками установлены колпачки диаметром 60 или 80 мм. Колпачки имеют прорезы высотой 15; 20 или 30 мм. Толщина слоя жидкости на полотне тарелки определяется высотой сливной перегородки.

При барботаже, то есть прохождении пара (газа) сквозь прорезы колпачка и слой жидкости, осуществляется контакт между фазами и протекает процесс переноса низкокипящего компонента из жидкой фазы в парообразную (однократное

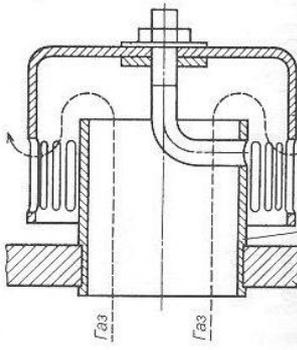


Рис. 2.10.9 Устройство тарелки с колпачками

испарение) и конденсация высококипящего компонента из паровой фазы в жидкую (однократная конденсация).

К недостаткам колпачковых тарелок следует отнести низкую удельную производительность, относительно высокое гидравлическое сопротивление, большую металлоемкость, сложность и высокую стоимость изготовления.

Тарелки с S – образными элементами

Эти тарелки состоят из S – образных элементов 1, соединённых между собой и образующих колпачки одностороннего действия и желоба. Для того, чтобы закрыть каналы с торцов и увеличить жесткость тарелки, между S-образными элементами устанавливают пластины 2.

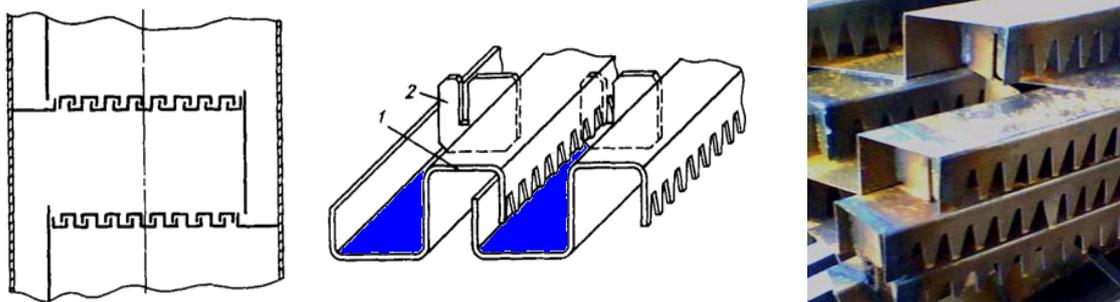


Рис. 2.10.10. Тарелка с S – образными элементами:

Жидкость движется единым потоком по тарелке в направлении к сливу, проходя над S-образными элементами и переливаясь через них. Пары проходят через прорези S-образных элементов, барботируют через жидкость и при этом способствуют ее движению по тарелке. Тарелка собирается из стандартных деталей. Тип этих тарелок может быть отнесён к колпачковым тарелкам.

Тарелки с туннельными колпачками

Тарелки с туннельными колпачками типа ТСТ устанавливают в колонных аппаратах нефтеперерабатывающей промышленности. Их изготавливают для аппаратов диаметром более 1400 мм. Тарелки собирают из штампованных желобов 1, уложенных по ходу жидкости на опорные уголки и накрытых колпачками 3 так, что между ними образуются паровые каналы. Для равномерного распределения пара, колпачки в нижней части имеют трапецеидальные прорези. Для равномерного распределения жидкости на тарелке сливную планку 5 также выполняют с прорезями. Основное преимущество этих тарелок – небольшое число колпачков и возможность их

очистки. Недостатки туннельных тарелок: сравнительно невысокая эффективность, малая производительность и большая металлоемкость.

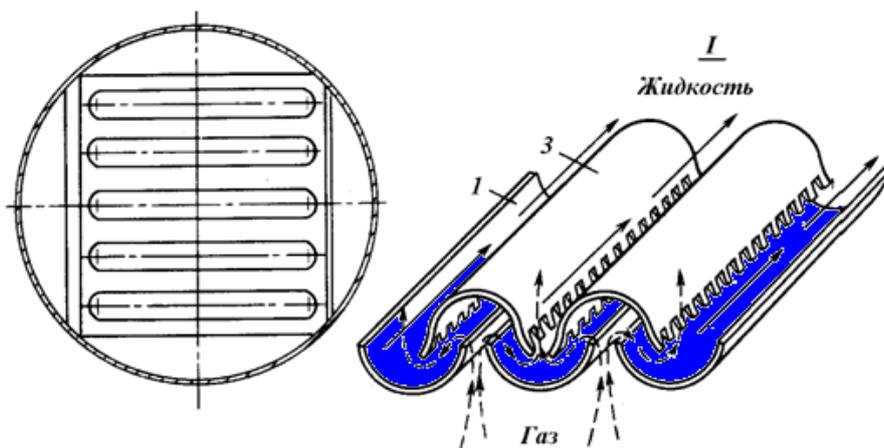


Рис. 2.10.11. Тарелка с туннельными колпачками

Клапанные тарелки

Принцип действия клапанных тарелок состоит в том, что свободно лежащий над отверстием в тарелке клапан различной формы автоматически регулирует величину площади зазора между клапаном и плоскостью тарелки в зависимости от газопаровой нагрузки. Тем самым поддерживает постоянной скорость газа и, следовательно, гидравлическое сопротивление тарелки в целом.

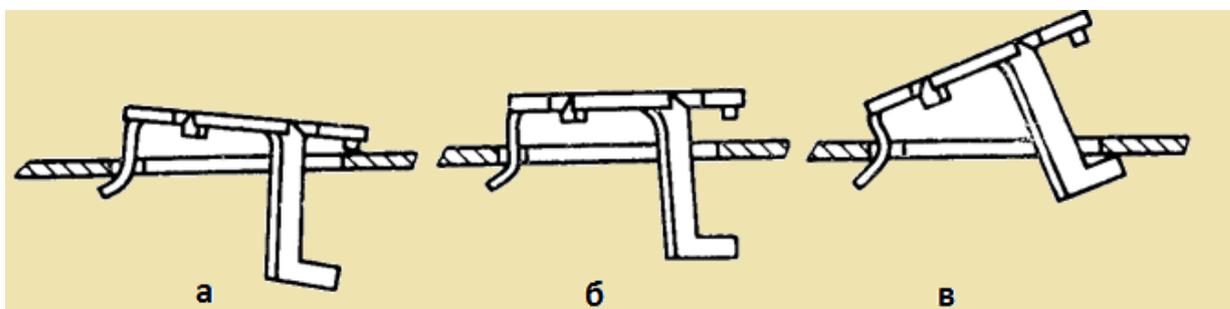


Рис. 2.10.12 Схемы работы клапана прямооточной тарелки стандартной конструкции при нагрузках по парам: а – малых; б – средних; в – больших жидкости остается примерно постоянно

Благодаря этому скорость газа при его выходе в слой жидкости остается примерно постоянной вплоть до полного открытия клапана. Перекрытие отверстий тарелки саморегулирующимися клапанами позволяет расширить интервал рабочих нагрузок.

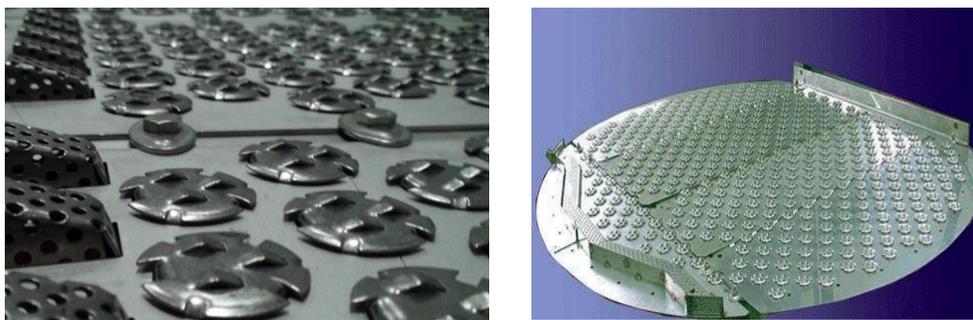
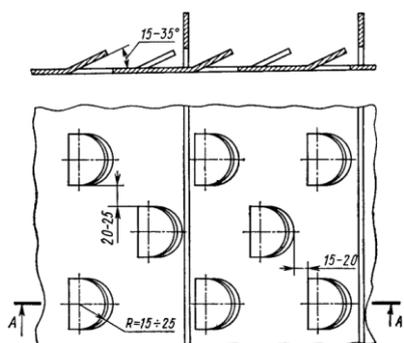


Рис. 2.10.13. Элемент ситчато-клапанной тарелки

При увеличении нагрузки клапаны приподнимаются до упора ограничителей, и начинается эжекция жидкости над клапанами, что способствует более интенсивному перемешиванию жидкости в надклапанном пространстве. При небольших нагрузках пар проходит через отверстия в клапанах, и тарелка работает всем своим сечением как обычная ситчатая тарелка.

Струйные тарелки



У струйных тарелок контактные элементы (просечки, лепестки и т. п.) расположены таким образом, что пар, выходящий в жидкость под некоторым углом к горизонту, приобретает горизонтальную составляющую скорости, совпадающую с направлением движения жидкости по тарелке или под некоторым углом к нему.

Рис. 2.10.13 Струйная тарелка с секционирующими перегородками

Тарелки провального типа перекрывают все сечение колонны и состоят из отдельных секций, укрепленных на опорном кольце и балках каркаса. Для прохода паровой и жидкой фаз выполнены отверстия или прорезы, площадь

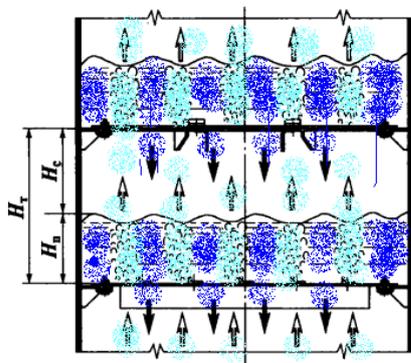


Рис.2.10.14. Движение потоков на провальной тарелке

которых составляет от 10 до 30 % площади всей тарелки. На тарелках провального типа паровая и жидкая фазы контактируют по схеме противотока, благодаря чему происходит интенсивное перемешивание жидкости по всей высоте контактной зоны.

Пар и жидкость проходят через одни и те же каналы, при этом места стока жидкости и прохода паров случайным образом перемещаются по площади тарелки. Тарелки этого типа гораздо более чувствительны к изменению нагрузок по жидкости и пару и имеют более узкий диапазон рабочих нагрузок, чем тарелки со специальными переливными устройствами. При

нагрузок, чем тарелки со специальными переливными устройствами. При

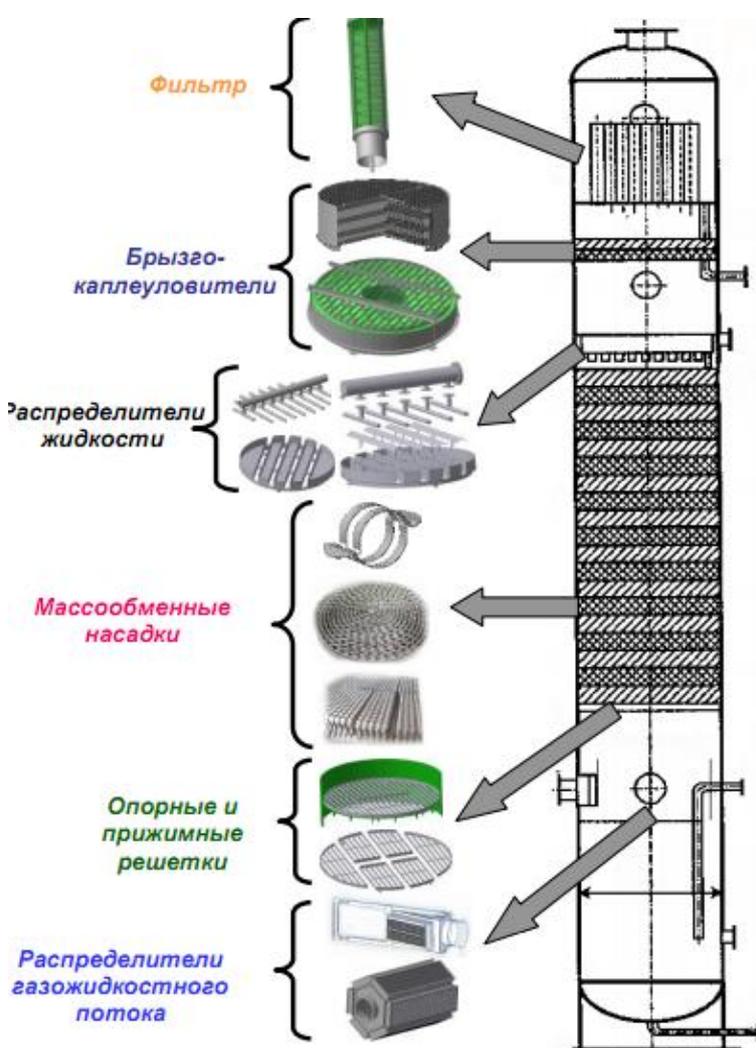
небольшой паровой нагрузке напор паров недостаточен для образования слоя жидкости на тарелке.

При больших паровых нагрузках сопротивление течению жидкости через отверстия тарелки становится столь значительным, что пена заполняет все межтарельчатое пространство и нормальный переток жидкости с тарелки на тарелку нарушается. При этом резко возрастает гидравлическое сопротивление потоку паров. Такой режим работы называется **захлебыванием** и определяет предельные паровую и жидкостную нагрузки колонны.

Стандартные провальные решетчатые тарелки диаметром 1000 — 3000 мм имеют ширину прямоугольных прорезей 6Х60 мм, шаг от 10 до 36 мм

2.10.3 Насадочные колонны

Эффективность массопередачи в насадочных колоннах значительно зависит от



равномерности распределения потоков контактирующих фаз, соотношения их скоростей и условий орошения элементов насадки.

Жидкость в насадочной колонне течет по элементу насадки в виде тонкой пленки, поэтому поверхностью контакта фаз является в основном смоченная поверхность насадки.

Равномерность распределения жидкости достигается посредством ее подачи на поверхность насадки через распылительные форсунки или распределительные тарелки с большим числом отверстий.

Рис. 2.10.14. Устройство насадочных колонных аппаратов

При дальнейшем передвижении жидкости ее контакт с газовой фазой

ухудшается из-за оттока к стенкам колонны. Поэтому высоту насадки делят на несколько слоев (ярусов), устанавливая между ними перераспределительные устройства в виде тарелок.

Недостаточное орошение элементов насадки ведет к недоиспользованию поверхности ее контакта. Значительный избыток жидкости может вызвать частичное затопление насадки, что также ведет к ухудшению контакта фаз на поверхности насадочных элементов.

Соотношение расходов жидкости и газа, поступающих в колонну, должно соответствовать оптимальному гидравлическому режиму работы насадочного слоя. При низких расходах газа наблюдается пленочное стекание жидкости. С увеличением подачи газа наступает момент, когда часть жидкости начинает задерживаться и скапливаться в слое насадки, а его гидравлическое сопротивление быстро растет. Такой режим называют началом (точкой) подвисяния (или торможения). Дальнейшее увеличение расхода газа приводит к запиранию потока жидкости и ее эмульгированию. При этом наступает обращение, или инверсия, фаз (жидкость становится сплошной фазой, а газ - дисперсной). Соответствующий режим называют началом (точкой) захлебывания. Режим эмульгирования соответствует максимальной эффективности насадочных колонн вследствие увеличения контакта фаз, но это повышение эффективности насадочной колонны сопровождается резким увеличением ее гидравлического сопротивления. Скорость захлебывания снижается с увеличением отношения расхода жидкости к расходу газа, насыпной плотности насадки и с уменьшением размера насадочных элементов, а также зависит от типа насадки.

2.10.4 Типы насадок

При выборе размеров насадки необходимо учитывать, что с увеличением размеров ее элементов увеличивается допустимая скорость газа, а гидравлическое сопротивление насадочного абсорбера снижается.

Диаметр колонны с крупной насадкой будет ниже, несмотря на то, что высота насадки несколько увеличится по сравнению с колонной, заполненной насадкой меньших размеров. Если необходимо провести глубокое разделение газовой смеси, требующее большого числа единиц переноса, то в этом случае рациональнее использовать мелкую насадку.

Основными конструктивными характеристиками насадки являются ее удельная поверхность и свободный объем.

Удельная поверхность насадки f - это суммарная поверхность насадочных тел в единице занимаемого насадкой объема аппарата. Удельную поверхность обычно измеряют в $\text{м}^2/\text{м}^3$. Чем больше удельная поверхность насадки, тем выше эффективность колонны, но ниже производительность и больше гидравлическое сопротивление.

Под свободным объемом насадки понимают суммарный объем пустот между насадочными телами в единице объема, занимаемого насадкой. Свободный объем измеряют в $\text{м}^3/\text{м}^3$. Чем больше свободный объем насадки, тем выше ее производительность и меньше гидравлическое сопротивление, однако при этом снижается эффективность работы насадки.



Рис. 2.10.15. Кольца Рашига

Нерегулярные (насыпные) насадки. В качестве нерегулярных насадок используют твердые тела различной формы, загруженные в корпус колонны в навал. В результате в колонне образуется сложная пространственная структура, которая обеспечивает значительную поверхность контакта фаз

Насадки цилиндрические (Кольца Рашига) представляют собой отрезки труб, высота которых равна наружному диаметру. Низкая стоимость и простота изготовления колец Рашига делают их одним из самых распространенных типов насадок. По сравнению с другими типами насадок кольца Рашига обладают относительно невысокой производительностью и сравнительно высоким сопротивлением.

Кольца Палля. Промышленное использование в настоящее время нашла одна из разновидностей кольцевых насадок — кольца Палля. При изготовлении таких колец на боковых стенках сделаны два ряда прямоугольных, смещенных относительно друг друга надрезов, лепестки которых отогнуты внутрь насадки. Конструкция колец Палля по сравнению с кольцами Рашига позволяет при их близких геометрических параметрах в 1,2 раза увеличить пропускную способность, в 1,6 — 4 раза снизить гидравлическое сопротивление и почти на 25 % увеличить ее эффективность.



Рис. 2.10.16. Кольца Палля



Рис. 2.10.17. Насадки седловидные

Седловидные Инталокс

Насадка известная как седла Инталокс, является сегодня наиболее распространенной керамической насадкой. Поверхность ее представляет часть

тора. Седла Инталлокс проще в изготовлении, обладают большей механической прочностью, обеспечивают большую однородность размещения насадки и не создают предпочтительных путей для протекания жидкости. Основным недостатком нерегулярных (насыпных) насадок, ограничивающий их применение в крупнотоннажных производствах, является неравномерность распределения контактирующих потоков по сечению аппарата.

Регулярные насадки

Регулярные насадки изготавливают из сетки, перфорированного металлического листа, многослойных сеток и т. д. Такая конструкция насадки обеспечивает более однородное, по сравнению с традиционными насадками из колец и седел, распределение жидкости и пара (газа) в колоннах. Кроме того, они обладают важным достоинством, как низкое гидравлическое сопротивление - в пределах (130...260 Па) на 1 теоретическую тарелку. Регулярные насадки отличаются упорядоченной ориентацией отдельных структурообразующих элементов в пространстве и их разделяют на две группы - с индивидуальной укладкой и блочные (в том числе рулонные). Регулярная насадка с индивидуальной укладкой состоит из отдельных элементов (кольца, треугольные призмы с постоянным или переменным по высоте сечением), которые располагают в корпусе колонны слоями.

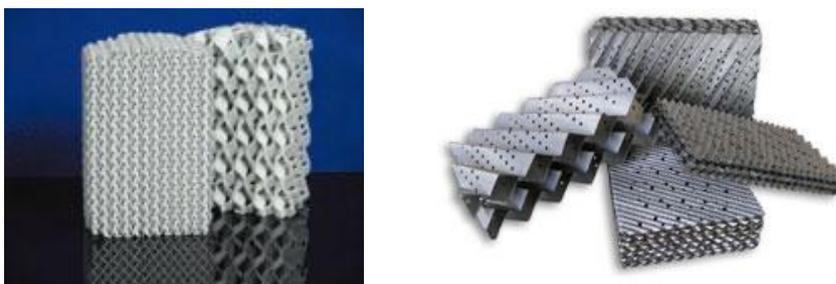


Рис.2.10.17. Регулярные насадки

2.10.5 Контрольные вопросы по теме «Колонные аппараты»

- Приведите классификацию аппаратов колонного типа.
- В чём отличие тарельчатых и насадочных колонн.
- Укажите основные достоинства насадочных колонн.
- Способы создания орошения в ректификационной колонне
- В чём суть подвода тепла в низ колонны «горячей струёй»
- Что такое термосифонный ребойлер?
- С какой целью используется простая перегонка с водяным паром?
- Какие насадочные тела применяются в колонных аппаратах и их назначение?
- В каких гидродинамических режимах может работать насадочные колонны?
- В каких гидродинамических режимах могут работать барботажные колонны?
- Какой из гидродинамических режимов работы насадочной колонны является наиболее эффективным с точки зрения интенсивности массообмена?
- При каком режиме проводится эксплуатация насадочной колонны на производстве?

2.11 Экстракторы

2.11.1 Общие сведения о процессе экстракции

Экстракция (от позднелат. *extractio* — извлечение), экстрагирование, процесс разделения смеси жидких или твёрдых веществ с помощью избирательных (селективных) растворителей (экстрагентов). Различают экстракционные процессы в системах жидкость – жидкость (экстракция) и экстрагирование в системах твердое тело – жидкость (твёрдофазное экстрагирование.)

Достоинствами экстракции являются низкие рабочие температуры, рентабельность извлечения веществ из разбавленных растворов, возможность разделения смесей, состоящих из близкокипящих компонентов, и азеотропных смесей, возможность сочетания с другими технологическими процессами (ректификацией, кристаллизацией), простота аппаратуры и доступность её автоматизации.

Недостатком экстракции в ряде случаев является трудность полного удаления экстрагента из экстрагируемых веществ.

Экстракция широко применяется в химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, фармацевтической, пищевой и др. отраслях промышленности. Например, для извлечения ароматических углеводородов из нефтепродуктов; масляных фракций из сернистых нефтей; фенола из сточных вод; антибиотиков из культуральных жидкостей, металлов (в т. ч. редких) или их соединений из руд, многих природных органических соединений из растительного сырья (сахара из свёклы и тростника, масла из соевых бобов и масличных семян, таннина из древесной коры, фармацевтических препаратов из корней и листьев растений и т. п.).

Принципиальная схема процесса экстракции приведена на рис.2.11.1. **Исходный раствор** представляет собой смесь **первичного растворителя** и **извлекаемого компонента**. Последний может быть как неорганическим, так и органическим веществом. На первой стадии экстракции исходный раствор и **экстрагент** приводят в тесное соприкосновение, обеспечивающее максимальное развитие поверхности контакта фаз.

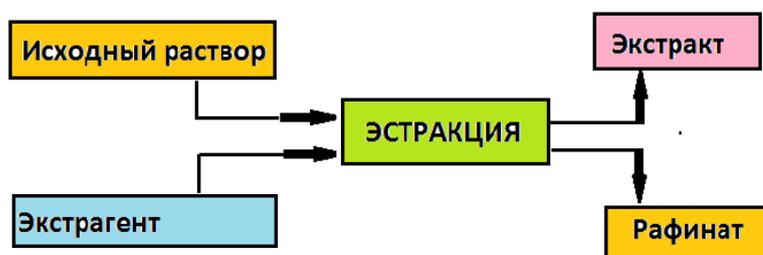


Рис.2.11.1. Принципиальная схема процесса экстракции

Экстрагент – растворитель, в котором извлекаемый компонент растворяется лучше, чем в первичном растворителе. В результате процесса экстракции

получают две новые фазы, которые называются экстрактом и рафинатом. **Экстракт** – раствор извлекаемого компонента в экстрагенте, **рафинат** – остаточный исходный раствор (первичный растворитель). На второй стадии экстракт и рафинат разделяют отстаиванием, центрифугированием или другими методами.

Извлекаемое при экстракции вещество распределяется между экстрагентом и исходным раствором таким образом, что устанавливается динамическое равновесие, характеризуемое коэффициентом распределения K :

$$K = \frac{C_1}{C_2} \quad (2.11.1.)$$

где C_1 – концентрация извлекаемого вещества в экстрагенте;

C_2 – концентрация извлекаемого вещества в рафинате.

Экстрагент должен обладать следующими свойствами:

- иметь хорошую экстрагирующую способность по отношению к извлекаемому веществу, т. е. высокий коэффициент распределения;
- обладать определенной селективностью — способностью экстрагировать из сложной водной системы одно вещество или группу;
- отличаться малой растворимостью в воде;
- иметь температуру кипения, значительно отличающуюся от температуры кипения экстрагируемого вещества, что обеспечивает легкость их разделения;
- не взаимодействовать с экстрагируемым веществом, материалом аппаратуры
- иметь небольшую теплоту испарения и малую теплоемкость, что позволяет снижать расходы пара и охлаждающей воды;
- иметь возможно меньшую огнеопасность, взрывоопасность и токсичность;
- иметь низкую стоимость.

Промышленные экстрагенты подразделяют на три класса:

- Органические кислоты (алифатические монокарбоновые кислоты, нафтеновые кислоты, сульфокислоты, фенолы, кислые эфиры фосфорной кислоты), которые переводят катионы металлов из водной фазы в органическую фазу;

- Соли органических оснований (первичных, вторичных, третичных аминов, а также четвертичных аммониевых оснований), с помощью которых извлекают анионы металлов из водных растворов;
- Нейтральные экстрагенты (вода, спирты, простые и сложные эфиры, альдегиды и кетоны), извлечение которых осуществляется с помощью разных механизмов в зависимости от кислотности исходного раствора.

Эффективность процесса экстракции зависит от следующих факторов:

- величины поверхности взаимодействия между фазами,
- градиента концентрации извлекаемого вещества,
- скорости взаимного перемещения фаз,
- продолжительности контакта.

Чем выше эти показатели, тем больше возрастают скорость процесса и полнота очистки.

2.11.2 Способы организации процесса экстракции

Экстракцию жидкостную осуществляют в аппаратах, называемых экстракторами, с однократным и многократным контактом фаз. Различают однократную (одноступенчатую) и многократную (многоступенчатую) экстракцию; при этом ступенями разделения служат отдельные аппараты или их секции.

Однократная экстракция осуществляемая периодически или непрерывно и применяется преимущественно для аналитических целей.

При одноступенчатой (однократной) экстракции исходный раствор и экстрагент перемешивают в смесителе, после чего смесь передают в сепаратор-отстойник, где происходит разделение с образованием двух слоев - экстракта и рафината. Затем экстракт направляют на регенерацию.

При таком однократном взаимодействии при длительном времени контактирования могут быть получены близкие к равновесным составы экстракта и рафината. Степень извлечения вещества при однократной экстракции является низкой.

Многократная экстракция, наиболее распространенная в промышленности, проводится непрерывно и по способу движения фаз подразделяется на **противоточную, полупротивоточную и перекрестноточную**.

Чаще всего применяют **противоточную экстракцию** одним экстрагентом (рис. 2.11.2.) с числом ступеней обычно 5-10. Для трудноразделяемых компонентов число ступеней достигает 70-100.

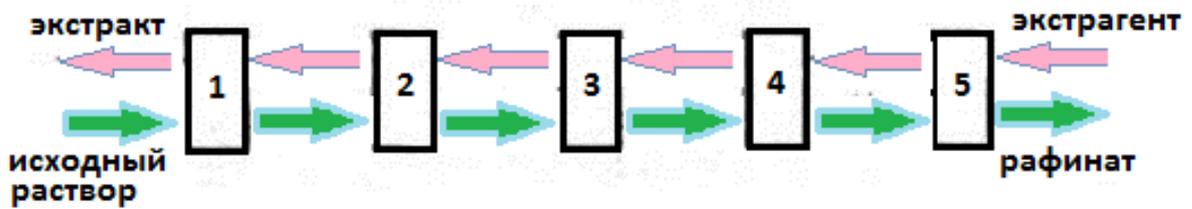


Рис.2.11.2. Схема противоточной многократной экстракции: 1-5 экстракторы.

Реже используют **полупротивоток и перекрестный ток**. При полупротивоточной экстракции одна фаза "неподвижна" (не перемещается со ступени на ступень), а другая фаза последовательно проходит все ступени каскада (см. ниже), вымывая компоненты раствора. Полупротивоток применяют для извлечения и разделения компонентов, присутствующих в системе в очень малых количествах. При необходимости более полного извлечения целевого компонента из исходного раствора иногда используют перекрестноточную экстракцию (рис. 2.11.3.): исчерпываемая фаза движется последовательно вдоль ступеней каскада, а извлекающая фаза поступает на каждую ступень и с нее же выводится.

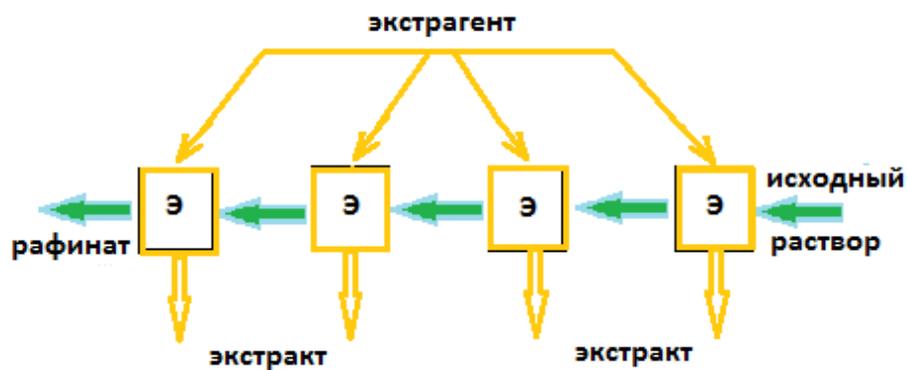


Рис.2.11.3 Схема перекрестноточной многократной экстракции (Э - экстракторы).

В производстве, в частности в практике очистки сточных вод, наиболее часто применяется многоступенчатая противоточная экстракция (рис. 2.11.4.)

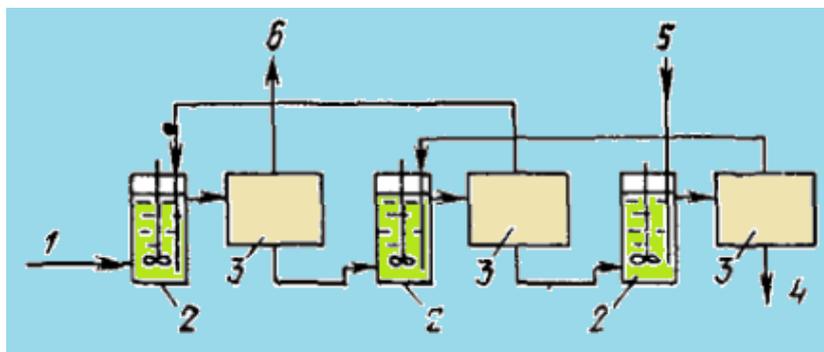


Рис.2.11.4. Схема многократной противоточной экстракции: 1 – исходные сточные воды; 2 – экстрактор; 3 – отстойник; 4 – очищенные сточные воды (рафинат); 5 – экстрагент; 6 – конечный экстракт.

Исходные сточные воды и экстрагент поступают с противоположных сторон. Конечный экстракт удаляется из первой ступени установки, а очищенные сточные воды (рафинат) из последней ступени. При этом на последней ступени сточные воды, наиболее обедненные удаляемым компонентом, взаимодействуют со свежим экстрагентом, а на первой ступени исходные сточные воды — с близким к насыщению удаляемым компонентом (экстрактом). Благодаря этому достигается высокая средняя движущая сила процесса и более полная очистка сточных вод.



Рис.2.11.5. Установка многократной экстракции для изготовления лекарственных препаратов

2.11.3 Экстракционные аппараты для систем жидкость-жидкость

Жидкостную экстракцию, т.е. процесс разделения жидких компонентов с помощью жидкого растворителя (экстрагента), широко применяют в процессах переработки нефти, для разделения ароматических углеводородов и редкоземельных элементов и др. Процесс экстракции осуществляется в аппаратах, называемых *экстракторами*.

Экстракторы подразделяются на **гравитационные**, в которых взаимное движение фаз осуществляется за счет сил гравитации и **центробежные**, где взаимодействие и сепарация фаз обусловлены полем центробежных сил.

Колонные (гравитационные) экстракторы

Колонные экстракторы для системы жидкость-жидкость разделяют на аппараты без подвода энергии и с подводом энергии. К первым относятся: распылительные, насадочные, ситчатые экстракторы; ко вторым – смесительно-отстойные, роторные, пульсационные, вибрационные и др.

Распылительные экстракционные аппараты представляют собой полые колонны, в которых одна из фаз движется сплошным потоком, а другая – в виде капель. Эти аппараты просты по конструкции, но малоэффективны.

Насадочные колонны по конструкции аналогичны насадочным колоннам для процессов ректификации и абсорбции. В качестве насадки в них используют преимущественно кольца Рашига.

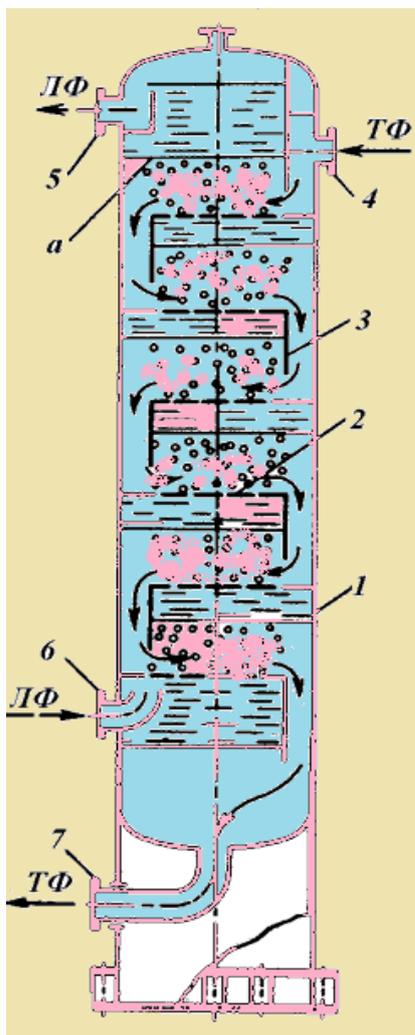


Рис. 2.11.6. Ситчатая экстракционная колонна

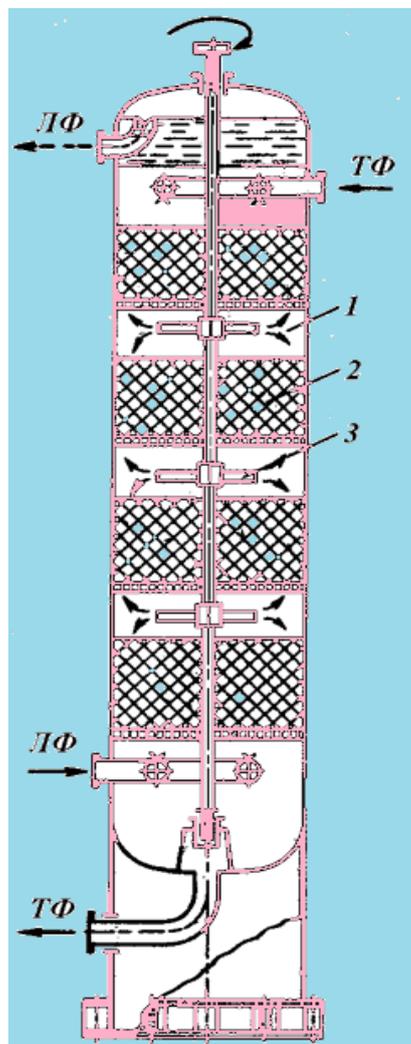


Рис.2.11.7 Экстракционная колонна Шайбеля

Ситчатая экстракционная колонна (рис.2.11.6.) имеет вертикальный цилиндрический корпус 1 и перфорированные (ситчатые) тарелки 2, снабженные переливными устройствами 3. Колонна работает следующим образом. Тяжелая фаза ТФ через штуцер 4 подается непрерывно в колонну, сплошным потоком опускается по колонне и удаляется через штуцер 7. Легкая фаза ЛФ непрерывно поступает через штуцер 6 в колонну под нижнюю тарелку 2. Пройдя через отверстия тарелки, эта фаза диспергируется и в виде капель поднимается на следующую тарелку. В верхней части дисперсная фаза коалесцирует в сплошной слой, образуя уровень раздела фаз а и удаляется через штуцер 5. В процессе образования капель и их движения осуществляется процесс массообмена.

Из аппаратов, работающих с подводом энергии, следует отметить прежде всего **роторные экстракторы**. Одной из первых конструкций роторных экстракторов является колонна Шайбеля (рис.2.11.7.), состоящая из чередующихся

смесительных 1 и отстойных 2 секций. Для перемешивания в смесительных секциях размещены закрепленные на валу мешалки 3. Отстойные секции заполнены насадкой (плетеной сеткой с крупными ячейками).

В конструкции, показанной на рис.2.11.7., а, смесительная секция I изолирована от отстойной секции II горизонтальными статорными кольцами 1. В более поздних конструкциях колонн Шайбеля (рис. 2.21, б) перемешивание фаз осуществляется турбинными мешалкам 1 в зоне между неподвижными кольцевыми перегородками 2 и слоем проволочной сетки 3.

Роторно-дисковый экстрактор (рис.2.11.8.) представляет собой колонну, по оси которой установлен ротор в виде вертикального вала 1 с круглыми горизонтальными дисками 2. Диски вращаются в полости секции, образованной закрепленными на корпусе статорными кольцами 3. Ротор приводится во вращение от электропривода 4. ЛФ вводится в аппарат снизу, а тяжелая фракция – сверху.

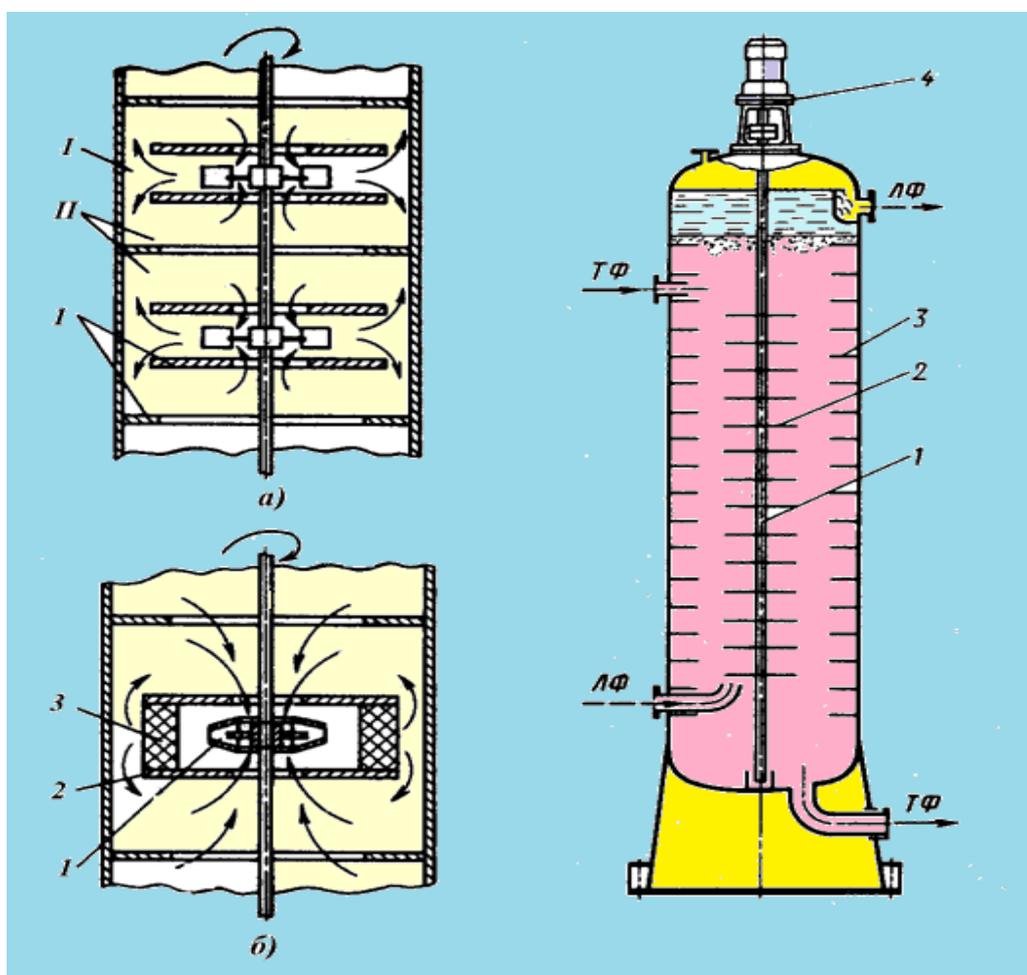


Рис. 2.11.8. Экстракционные колонны с мешалками

Рис. 2.11.9. Роторно-дисковый экстрактор

Под действием вращающихся дисков фазы в секциях совершают сложное циркуляционное движение, при котором совмещены радиальное и осевое

движение жидкости. Дисперсная и сплошная фазы движутся противотоком. Капли дробятся дисками, отбрасываются на периферию колонны, сталкиваются со стенками колонны и между собой одновременно с дроблением капель происходит и их коалесценция.

Центробежные экстракторы

Являются перспективным оборудованием для проведения процессов жидкостной экстракции. Поскольку ускорение генерируемого в них центробежного поля превышает ускорение свободного падения в 10^3 - 10^4 раз, в этих экстракторах достигается большая скорость взаимодействия жидкостей, высокая эффективность массообмена и четкая сепарация выходных потоков.

В связи с этим такие аппараты компактны, в них невелики объемы жидкостей, минимальна пожаро- и взрывоопасность, невелико время контактирования. Они используются при обработке нестойких, легко эмульгируемых жидкостей, а также для смесей компонентов с мало отличающимися плотностями.

Центробежные экстракторы можно разделить на две основные группы:

- **камерные или дискретно-ступенчатые**, состоящие из отдельных ступеней (камер), в каждой из которых происходят последовательно смешение и разделение противоточно движущихся фаз;
- **дифференциально-контактные**, в которых процесс протекает при непрерывном контактировании противоточно движущихся фаз.

Примером безнапорного экстрактора дифференциально-контактного типа может служить центробежный экстрактор (рис. 2.11.10), разработанный для селективной очистки смазочных масел. Аппарат состоит из цилиндрического ротора 2, заключенного в кожух 1 и опирающегося на подшипники 4. Вал 3 ротора приводится от электродвигателя через клиноременную передачу 5. На обоих концах вала расположены устройства 6 подвода жидкости. Внутри ротора с переменным шагом размещены контактные цилиндры 11. Ротор закрыт кожухом 12.

Тяжелая ТФ и легкая ЛФ фазы жидкости самотеком через устройства 6 поступают в полый вал, откуда под действием центробежных сил перемещаются: ЛФ – по радиальным каналам в диске 9 к периферии ротора, а ТФ – к первому от оси аппарата контактному цилиндру. ЛФ сплошным потоком перемещается из периферийной зоны к центру аппарата, попадает в приемный карман 13 и заборным диском 14 удаляется из аппарата. ТФ, диспергируясь при истечении из отверстий вала 3, перемещается к стенкам контактного цилиндра. На периферии ротора дисперсная фаза сепарируется на тарелках 10, коалесцирует, образует сплошной слой и отводится по каналам в диске 9 в приемный карман (образованный крышкой 8) для ТФ, откуда удаляется заборным диском 7.

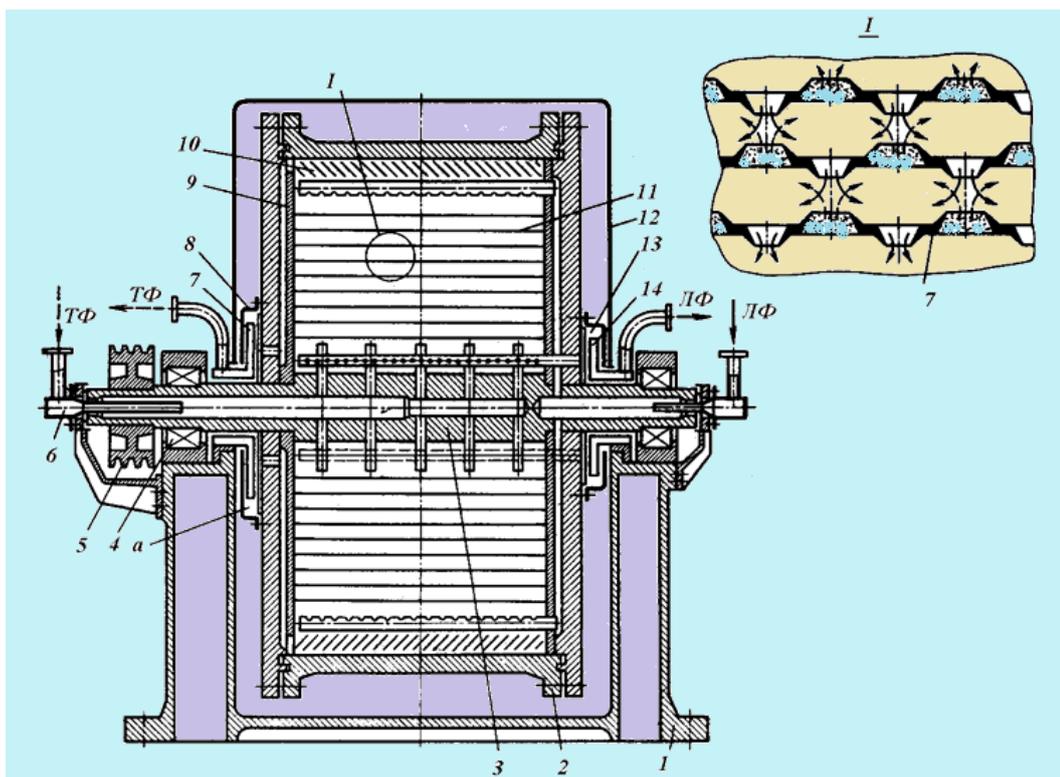


Рис. 2.11.10. Безнапорный центробежный экстрактор

В качестве примеров можно привести: для первого вида экстракции - извлечение из древесины канифоли и скипидара, из феррита - едкого натра, из свекловичной стружки—сахара; для второго вида экстракции - отделение дивинила от ацетальдегида, а также очистка капролактама от примесей.

2.11.4 Экстракторы для твердых тел

В этих аппаратах экстракцию осуществляют по периодическому и непрерывному способам. При периодической работе цикл состоит из загрузки, экстрагирования, выгрузки и подготовки к следующему циклу.

В непрерывно действующих аппаратах продукт $A + B$ и растворитель C движутся по противоточной схеме : $C + B_2$ —экстракт, $A + B_1$ —рафинат). Такие экстракторы различают по способу перемещения в них твердых веществ. Так, в экстракторе, материал перемещается вертикальным шнеком вверх. В другом аппарате он перемещается цепью со скребками. В гребковом экстракторе твердый компонент смеси перемещается специальными гребками, установленными на общем валу и помещенными в отдельных секциях. В барабанном экстракторе твердый материал перемещается при вращении барабана, снабженного установленными по спирали гребками.

По взаимному направлению движения твердой фазы и экстрагента экстракторы подразделяют на прямоточные и противоточные, по режиму работы - на аппараты периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

Среди экстракторов периодического и полунепрерывного действия наиболее распространены **камерные аппараты** (реакторы) с механическим,

пневматическим или пневмомеханическим перемешиванием, а также **настоящие чаны** с неподвижным слоем твердых частиц с циркуляцией (**перколяторы**) и без циркуляции экстрагента. Аппараты для экстракции в плотном слое обычно располагаются вертикально и имеют комбинированную форму: в основной части цилиндрическую, с одного или обоих концов - форму усеченного конуса (рис. 2.11.11., а). На решетку сверху загружается слой твердого материала, через к-рый сверху вниз протекает экстрагент; для выгрузки твердого остатка служит откидное днище.

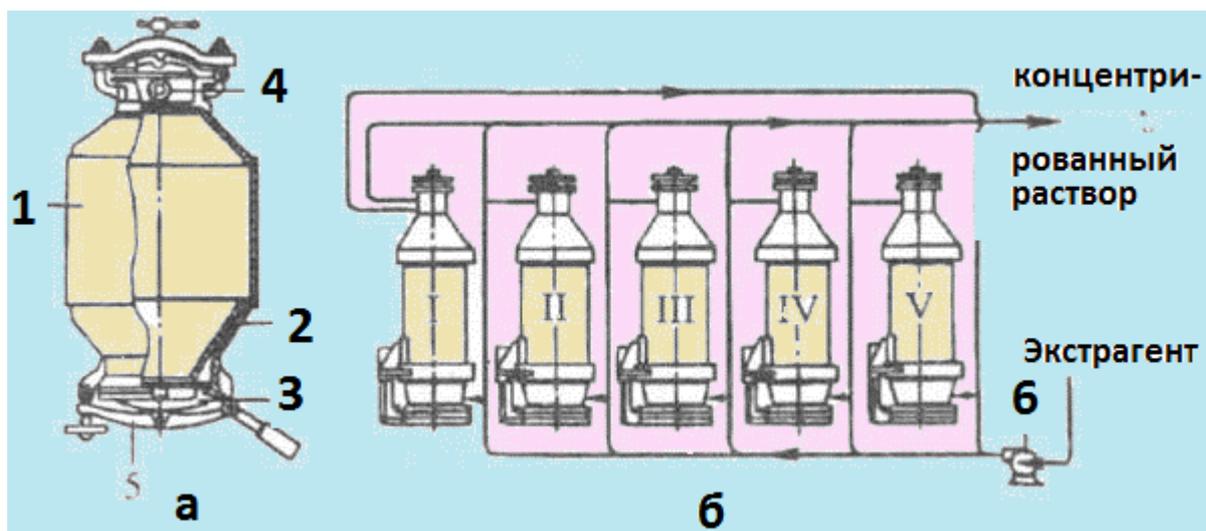


Рис. 2.11.11. Экстракторы периодического действия: а - единственный аппарата; б - батарея аппаратов (I-V); 1 - корпус; 2 - ложное днище (решетка); 3 - откидное днище; 4 - штуцер для ввода свежего экстрагента; 5 - штуцер для отвода концентрированного раствора; 6 - насос.

Последовательное соединение 4-16 таких аппаратов в батарею (рис. 2.11.11., б) позволяет перейти к полунепрерывной противоточной схеме. Благодаря замкнутой системе коммуникаций удастся периодически отключать от циркуляционной системы один из аппаратов, освободить его от полностью истощенного материала и заполнять свежим. Далее этот аппарат снова включают в систему циркуляции и подают в него наиболее обогащенный экстрагент, прошедший через все остальные аппараты; затем отключают следующий аппарат, в который до этого поступал чистый экстрагент, и т.д. С увеличением числа аппаратов процесс приближается к непрерывному.

Главные недостатки описанных экстракторов, которые продолжают широко применяться в химических производствах: большие затраты ручного труда при их эксплуатации, значит потери экстрагируемого вещества при выгрузке, высокая металлоемкость, трудность регулирования работы. Экстракторы периодического действия используют в производстве небольших партий фармацевтических препаратов, настоев, морсов и др. Экстракторы полунепрерывного действия (батарея аппаратов) малоэффективны, громоздки и сложны в обслуживании.

К экстракторам непрерывного действия относятся **шнековые и ленточные аппараты**.

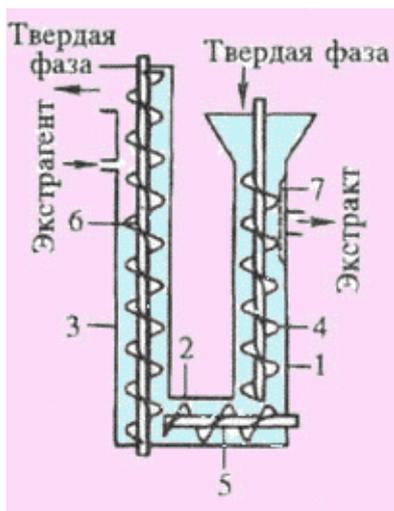


Рис. 2.11.12. Шнековый экстрактор непрерывного действия: 1, 2, 3 - загрузочная, горизонтальная и экстракционная колонны; 4-6 - шнеки; 7 -разделительное сито.

Шнековый экстрактор (рис. 2.11.12.) представляет собой трехколонный аппарат с транспортирующим органом шнекового типа. Твердая фаза последовательно перемещается через загрузочную, горизонтальную и экстракционную колонны навстречу движущемуся экстрагенту. В верхней части загрузочной колонны имеется сито для отделения экстракта от твердой фазы. Достоинства аппарата - малая металлоемкость и небольшая занимаемая площадь. Недостатки обусловлены конструкцией шнека, вокруг вала которого закручивается твердый материал; поэтому иногда шнек заменяют цепным транспортирующим органом.

Ленточный экстрактор (рис. 2.11.13.) имеет стальной корпус, внутри которого расположен транспортер с перфорированной лентой. Подаваемый в аппарат материал движется слоем высотой 0,6-1,2 м по верхней ветви транспортера. Для равномерного распределения экстрагента по поверхности материала над слоем размещены распылители. Пройдя через слой материала, раствор поступает в воронку, откуда насосом подается в смежную зону, которая расположена в направлении, противоположном движению ленты. Распространены также роторные аппараты карусельного типа, реализующие тот же принцип действия.

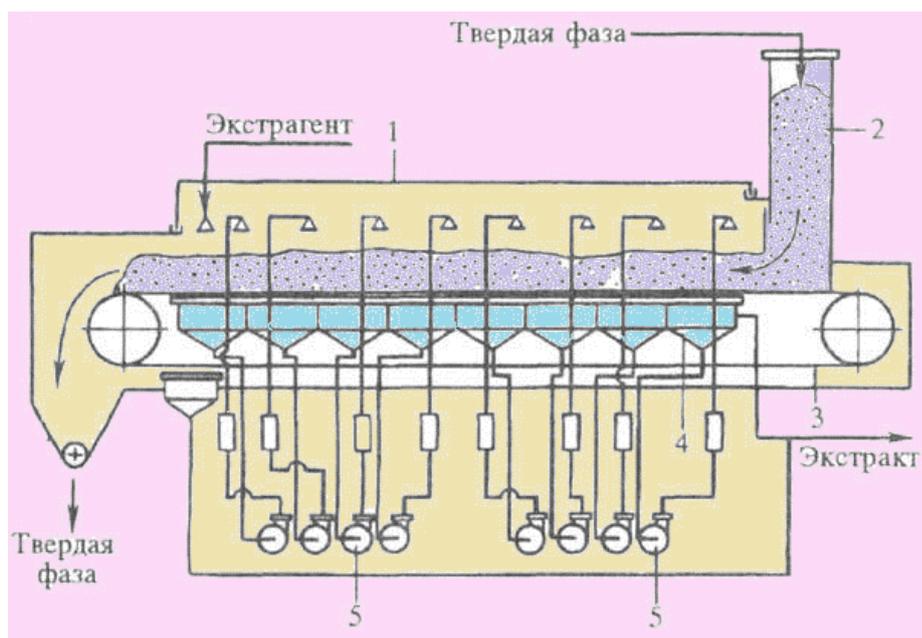


Рис. 3. Ленточный экстрактор непрерывного действия: 1 - корпус; 2 - бункер; 3 - ленточный транспортер; 4 - воронка; 5 - насосы.

Преимущества экстракторов непрерывного действия, применяемых в многотоннажных производствах, перед периодически функционирующими аппаратами: более высокий коэффициент массоотдачи от поверхности твердых частиц к экстрагенту; полное исключение ручного труда при обслуживании; возможность создания экстрактов большой единичной мощности и автоматизации.

2.11.5 Контрольные вопросы по теме «Экстракторы»

- Какие пошаговые операции выполняются при экстракции в системе жидкость-жидкость?
- Какие требования предъявляются к экстрагенту?
- Какие факторы влияют на процесс экстракции?
- Перечислите типы колонных аппаратов, применяемых для экстракции.
- Чем отличается перекрестная экстракция от противоточной?
- Какие экстракторы применяются для проведения процесса в системе жидкость – твердое тело?

2.12 Фильтры

Фильтрация (фильтрование) – это процесс разделения суспензий при помощи **пористой перегородки**, пропускающей жидкость и задерживающей взвешенные в ней твердые частицы. Твердые частицы образуют **осадок**, а очищенная жидкость – **фильтрат** – проходит через перегородку.

Различают следующие виды фильтрации:

фильтрование с образованием слоя осадка на фильтровальной перегородке;

сгущение – отделение твердой фазы от жидкой не в виде осадка, а в виде высококонцентрированной (сгущенной) суспензии;

осветление – фильтрование жидкостей с незначительным содержанием твердой фазы.

Наиболее широко применяется фильтрация с образованием осадка.

Пористая перегородка и образующийся слой осадка состоят из множества мелких каналов или капиллярных трубок. Скорость фильтрования определяется перепадом давления до фильтрующей перегородки и после неё. **Перепад давления** является **движущей силой процесса фильтрации**. Перепад давления может возникать в результате повышения давления перед фильтрующей перегородкой или путем создания вакуума за перегородкой.

Материал фильтрующих перегородок выбирают в зависимости от размера твердых частиц и агрессивности разделяемых сред. Это могут быть волокнистые материалы: хлопчатобумажные, шелковые, шерстяные ткани, стекловата; ткани из искусственных и синтетических волокон; металлические сетки из коррозионностойкой стали или бронзы. Кроме этого, в качестве фильтрующих перегородок используют мелкозернистые материалы (песок, гравий), пористые керамические тела (плитки, цилиндры, кольца). Например, тканевые перегородки из хлопчатобумажных тканей (бязь, бельтинг) используют для фильтрации слабокислых, слабощелочных и нейтральных жидкостей; из шерсти (сукно) – для фильтрования кислых жидкостей при температуре фильтрования $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; из металлических тканей (сетки из стали, никеля) – для фильтрования сильнощелочных жидкостей. Один из распространенных приемов фильтрования – использование самого осадка в качестве фильтрующей перегородки.

Осадки, которые образуются на поверхности фильтрующей перегородки, подразделяются на **сжимаемые** и **несжимаемые осадки**. Частицы сжимаемых осадков деформируются, размер их пор уменьшается с повышением давления. Размер и форма частиц несжимаемых осадков не изменяется с повышением давления. Характер осадка и его толщина являются основными факторами, определяющими производительность фильтра. Главную роль в процессе фильтрации играет не сопротивление перегородки (фильтровальной ткани), а сопротивление самого осадка. В начале процесса фильтрующая перегородка обладает низкой задерживающей способностью, и первые порции фильтрата

могут быть мутными. По мере накопления осадка задерживающая способность возрастает, и фильтрат получается более качественным. В процессе фильтрования толщина осадка возрастает. Поры фильтрующей перегородки забиваются. Сопротивление возрастает, скорость фильтрации снижается. Процесс прекращают, когда сопротивление возрастет настолько, что проведение процесса становится нецелесообразным. Для полного удаления фильтрата из осадка его промывают на фильтре.

Различают кристаллические и аморфные осадки. Кристаллические осадки хорошо фильтруются, так как между кристаллами остаются поры, по которым проходит жидкость. Аморфные липкие осадки фильтруются плохо. Некоторые осадки при повышении давления могут сжиматься, дополнительно увеличивая свое сопротивление. С учетом природы осадка выбирают перепад давления. Те осадки, которые фильтруются хорошо, не требуют высокого давления. Для них достаточно часто гидростатического давления небольшого слоя жидкости. Процесс фильтрования в промышленности состоит из следующих стадий:

- подача суспензии на фильтр;
- собственно фильтрование;
- отвод фильтрата и выгрузка осадка;
- регенерация фильтровальной перегородки (очистка, промывка, сушка).

Все стадии могут быть проведены как **периодически**, так и **непрерывно**. Фильтры периодического действия менее производительны, разгрузка осадка в них затруднена. Однако простота их устройства обуславливает их применение в различных отраслях промышленности.



Рис.2.12.1. Классификация фильтров

2.12.1 Фильтры периодического действия

Наиболее распространенными фильтрами периодического действия являются нутч- и друк-фильтры.

Нутч-фильтр, работающий под вакуумом представляет собой открытый цилиндрический резервуар с плоским дном, на которое укладывается фильтрующий материал. Суспензию заливают в полость аппарата на поверхность фильтрующей перегородки. Из нижней полости корпуса вакуум-насосом отсасывают воздух, создавая вакуум, который и является движущей силой процесса. Фильтрат самотеком вытекает из аппарата (рис.2.12.2, а). Основным недостатком таких фильтров является ручная выгрузка осадка. В некоторых конструкциях нутч-фильтров предусмотрены мешалки для механизированной выгрузки осадка.

Друк-фильтры отличаются от нутч-фильтров тем, что они работают под давлением. Такие фильтры представляют собой герметичные сосуды со съемной верхней частью. Движущей силой процесса фильтрования в них служит давление газа на поверхности суспензии. В закрытую полость аппарата компрессором нагнетают воздух. Под давлением воздуха фильтрат проходит через фильтрующую перегородку. Осадок накапливается на фильтрующем материале и удаляется после завершения работы фильтра вручную (рис. 2.12.2, б).

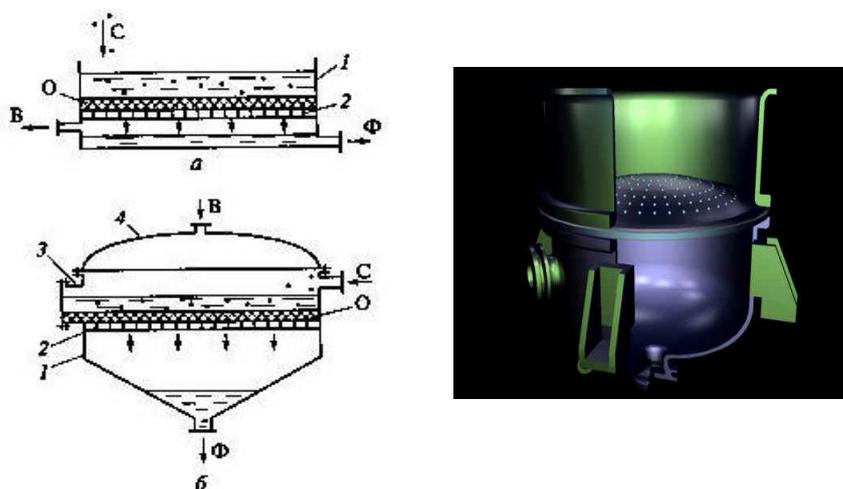


Рис. 2.12.2. Устройство нутч-фильтра (а) и друк-фильтра (б):

1- корпус; 2- фильтрующая перегородка; 3 - люк для выгрузки осадка; 4- крышка; С- суспензия; О - осадок; В - воздух; Ф - фильтрат

Достоинства: простота работы; долговечность; возможность равномерной и полной промывки осадка, т.к. промывную жидкость; можно распределить по всей поверхности осадка.

Недостатки: полезная поверхность фильтрования невелика; при их эксплуатации невозможно избежать использования ручного труда; применяют для разделения небольших объемов суспензии.

Значительно большую производительность обеспечивают рамные **фильтр-прессы**. **Фильтр-прессы** предназначены для обезвоживания осадка сточных вод, разделения суспензий, обезвоживания шлама. Данный тип фильтров распространен в промышленности благодаря большой фильтрующей поверхности, относительно низкой материалоемкости, возможности получения хорошо отжатых осадков, влажность которых не превышает 75%. Основные типы фильтр-прессов – **рамные** и **камерные**.

Фильтр-прессы рамные различных конструкций (рис.2.12.3.) состоят из пакета фильтровальных плит - элементов, которые зажимаются между неподвижной опорной и подвижными полипропиленовыми плитами с надетым на них фильтровальным материалом. Фильтрационные элементы опираются кронштейнами на опорные балки фильтр-пресса. Фильтровальные плиты изготавливают, как правило, квадратной формы 400*400 мм, 630*630 мм и 800*800 мм. Все плиты имеют на поверхности рифления для отвода фильтрата и углубления для сбора осадка.

С целью подачи и удаления осадка в плитах предусмотрены сквозные отверстия. При сборке фильтровальных плит в пакет сквозные отверстия образуют каналы для подачи суспензии, отвода фильтрата и просушки обезвоженного осадка сжатым воздухом для дополнительного снижения влажности. На неподвижной зажимной плите из нержавеющей стали находятся отверстия, соответствующие каналам и штуцера для подсоединения трубопроводов. Между плитами располагаются полотна фильтровальной ткани, в которых также находятся аналогичные отверстия.

Суспензию под давлением 6 -7 бар подают по каналам в камеры фильтр-пресса до заполнения свободного пространства осадком. Осадок при необходимости промывают, подавая воду по каналу, через который движется поток суспензии. Затем его обезвоживают продувкой сжатым воздухом под давления 6 -7 бар.

Выгрузка осадка производится при разборе пресс-фильтра путем поочередного отодвигания фильтровальных плит. Большинство фильтр - прессов работает автоматически.



Рис.2.12.3. Фильтр-пресс

Автоматизированный камерный фильтр-пресс башенного типа представлен на рис. 2.12.4.

Такие фильтры предназначены для фильтрования под избыточным давлением тонкодисперсных жидкотекучих суспензий, содержащих от 50 до 2000 кг/м³ взвешенных частиц с плотностью твердой фазы до 5000 кг/м³.

Камерный фильтр-пресс состоит из горизонтальных щелевых сит, установленных друг над другом. По поверхности сита может перемещаться лента из фильтровальной ткани, которая приводится в движение и направляется барабанами аналогично ленточным транспортерам. При прохождении такого фильтра после загрузки суспензии осадок последовательно отжимается, промывается, продувается воздухом (высушивается) и разгружается. Разгрузка осадка может происходить путем срезания его ножами с транспортной ленты.

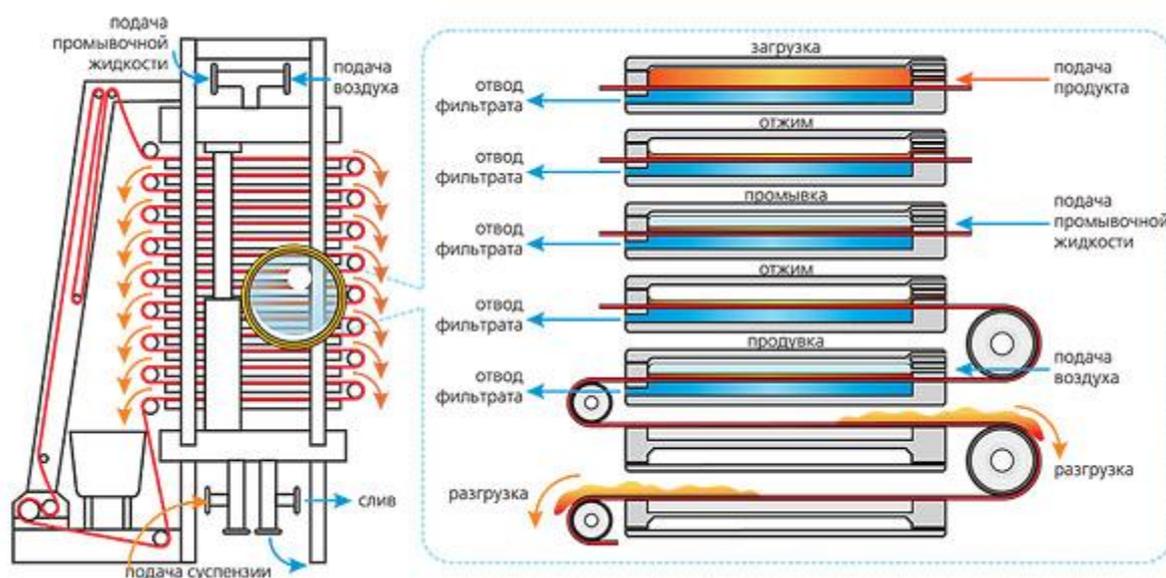


Рис.2.12.4. Автоматический камерный фильтр-пресс

2.12.2 Фильтры непрерывного действия

Фильтры непрерывного действия имеют более высокую производительность. Разгрузка осадка в них механизирована. Фильтры непрерывного действия обычно работают под вакуумом. Однако есть и фильтры, работающие под давлением. Из различных типов фильтров непрерывного действия наиболее распространенными являются барабанные, дисковые и ленточные фильтры.

Барабанные фильтры непрерывного действия

Основным элементом барабанного вакуум-фильтра является вращающийся барабан, покрытый фильтровальной тканью, внутри которого вакуум-насосом создается разрежение (рис.2.12.5.). Барабан погружен в корыто с суспензией. Внутренняя полость барабана разделена на секции. Каждая внутренняя секция соединена с распределительными головками, которые автоматически соединяют

секцию с вакуум-насосом или компрессором. При вращении барабана каждая секция последовательно проходит все фазы непрерывного процесса: 1 - фильтрацию (всасывание раствора из корыта); 2 – промывку осадка; 3 – сушку осадка; 4 – сьем осадка; 5 – продувку фильтра.

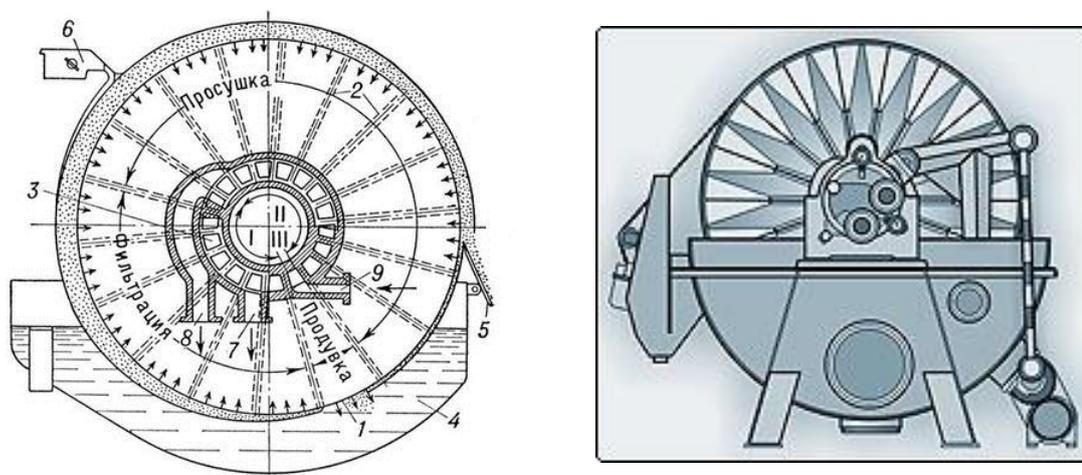


Рис. 2.12.5. Барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия: 1 — барабан; 2 — перегородки; 3 — распределительная головка (золотниковый механизм); 4 — корыто; 5 — нож для срезания осадка; 6 — распределитель воды для промывания

Первая и вторая фазы осуществляются **под вакуумом**, **четвертая и пятая фазы** – под **давлением**. Важной деталью таких фильтров является распределительная головка, при помощи которой производится чередование циклов фильтрации. Головка обычно состоит из двух тщательно шлифованных дисков: вращающегося и неподвижного. Отверстия подвижного диска, связанные с соответствующими секциями барабана, при вращении последовательно соединяются с отверстиями неподвижного диска. В процессе фильтрации под фильтрующей поверхностью создается разрежение. В результате перепада давлений жидкость через фильтрующую ткань проходит во внутреннюю полость барабана, а осадок остается на его наружной поверхности. Во время движения вверх осадок промывается, затем продувается воздухом и срезается ножом.

Недостатком барабанного вакуум-фильтра является то, что суспензия при фильтровании движется снизу вверх, в то время как осаждение суспензии под действием силы тяжести направлено в противоположную сторону. Для предотвращения осаждения крупных частиц в корыте устанавливают качающуюся мешалку. Такой недостаток отсутствует у фильтров с внутренней поверхностью фильтрации. В таком фильтре секции с отводящими трубками расположены на наружной поверхности барабана, а фильтрующая ткань находится внутри него. Суспензия поступает внутрь барабана и в нижнюю его часть. Смена циклов работы такая же, как и в барабанном фильтре с наружной поверхностью фильтрации. Осадок, срезаемый ножом, падает в бункер, расположенный внутри барабана. Выгружается с помощью шнека через открытую торцевую сторону барабана.

Промышленные варианты барабанных фильтров приведены на рис 2.12.6



Рис.2.12.6. Барабанные фильтры тонкой очистки промышленного исполнения.

Дисковый фильтр (рис.2.12.7.) состоит из ряда дисков, насаженных на пустотелый вал. Каждый диск состоит из профильного каркаса, на который натянута сетка и фильтрующая ткань, а также имеет патрубок для отвода фильтрата. Вал с дисками медленно вращается в корыте с суспензией. Суспензию подают по трубе. Фильтрат проходит через ткань внутрь диска и отводится через отводные трубы в общий коллектор. После того, как будет достигнута предельная толщина осадка, фильтрацию прекращают, и осадок промывают. После промывки оставшуюся жидкость выдавливают сжатым воздухом. Осадок просушивают воздухом. Нижнюю половину корпуса открывают и извлекают осадок вручную – срезают ножами с поверхностей дисков. Схема циклов работы такая же, как и у барабанного фильтра. По сравнению с барабанными фильтрами дисковые фильтры имеют более развитую поверхность.

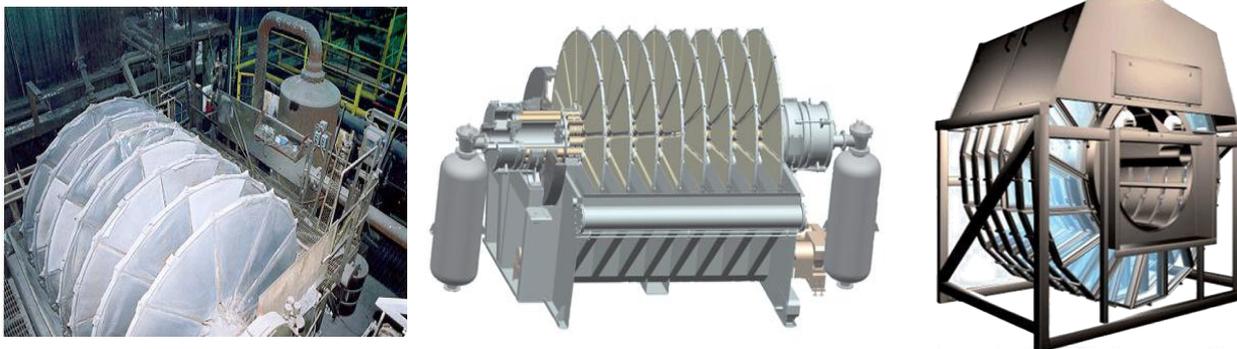


Рис.2.12.7. Дисковые фильтры

Ленточный фильтр (рис.2.12.8.) состоит из металлической станины, на которой укреплены два барабана: приводной и натяжной. Между барабанами натянута резиновая лента специального профиля с рифленой поверхностью. К ленте плотно прилегает фильтрующая ткань. По краям ленты ткань закрепляется в специальных пазах. Вдоль оси ленты расположены сквозные отверстия, через которые выводится фильтрат.

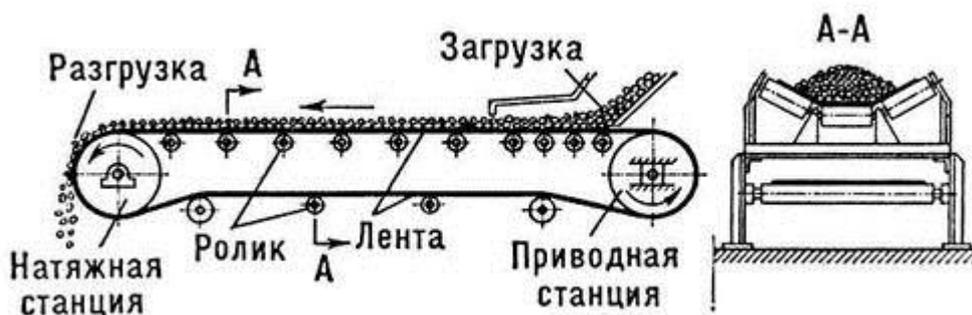


Рис.2.12.8. Схема устройства ленточного фильтра

Суспензия подается в начало ленты. Примерно в средней части на ленту подается промывная жидкость. Через отверстия в ленте фильтрат проходит в расположенный под лентой специальный отсек вакуумной камеры. Образовавшийся осадок промывают. Промывные воды отводят в следующие отделы вакуум-камеры. Выгружают осадок на последнем барабане. Промышленные варианты ленточных фильтров показаны на рис.2.12.9.



Рис.2.12.9. Ленточные пресс-фильтры

2.12.3 Контрольные вопросы по теме «Фильтры»

- Из каких операций складывается рабочий цикл барабанного фильтра?
- Какие преимущества имеет барабанный вакуум-фильтр с внутренней фильтрующей поверхностью по сравнению с фильтрами с наружной фильтрующей поверхностью?
- Чем определяется выбор материалов для фильтрующих перегородок? Приведите примеры таких материалов для различных условий фильтрования.
- Каковы функции осадка при фильтровании?
- Что является движущей силой процесса фильтрования, и какими способами её создают?
- Как устроены нутч-фильтры и рамные фильтр-прессы?
- Назовите известные конструкции механизированных фильтров.
- Как действует автоматический камерный фильтр-пресс?

2.13 Пылеочистители

2.13.1 Пылеулавливание

Очистка газовых неоднородных систем в химической технологии осуществляется с целью защиты атмосферного воздуха от вредных примесей, предупреждения загрязнения основного продукта, засорения технологической аппаратуры. Выбор метода разделения газовых неоднородных систем обуславливается, главным образом, размерами взвешенных частиц дисперсной фазы, разностью плотностей дисперсной и сплошной фаз, а также вязкостью сплошной фазы.

В Эстонии можно выделить следующие антропогенные источники пыли:

- Горнодобывающая промышленность (добыча сланца, фосфоритов, песка в карьерах, известняка);
- Химическая промышленность (производство твердых удобрений – склады, отделы гранулирования);
- Сланцехимическая промышленность;
- Процессы сжигания твердых топлив (в частности сланца);
- Промышленность стройматериалов (производство цемента, строительных блоков);
- Химико-фармацевтическая промышленность (производство порошкообразных лекарственных препаратов);
- Резинотехническая промышленность;
- Деревообработка (производство мебели, пиломатериалов);
- Текстильная промышленность.

Пыли – это взвешенные в газах мелкодисперсные твердые частицы, относящиеся к аэрозолям.

Физико-химические свойства пылей

Эффективность систем газоочистки во многом зависит от физико-химических свойств пыли и от основных параметров газовых потоков.

Плотность кг/м^3 - это важный физический параметр пыли, от которого зависит эффективность работы пылеуловителей. Чем больше диаметр пыли, тем более эффективно происходит ее удаление под действием сил тяжести, инерции и центробежных сил. Принято рассматривать истинную, насыпную и кажущуюся плотности.

Истинная плотность частицы представляет собой отношение массы монолитной частицы к занимаемому ею объему.

Кажущаяся плотность частиц представляет собой отношение массы частиц к занимаемому ими объему, включая поры, пустоты, неровности.

Насыпная плотность пыли, в отличие от истинной, учитывает наличие воздушных зазоров между частицами свеженасыпанной пыли. Насыпной плотностью пользуются для определения объема, который занимает пыль в бункерах в первое время до начала ее слеживания. Насыпная плотность слежавшейся пыли обычно в 1,2–1,5 раза больше, чем у свеженасыпанной.

Дисперсность (фракционный состав). Характеризуется диаметр для всех сферических частиц или эквивалентный диаметр для частиц произвольной формы.

Адгезионные свойства пыли. Учитывается склонность пыли к слипаемости. Слипаяемость пыли особенно мелкодисперсной повышается с повышением влажности.

По **слипаемости** пыль делится на следующие группы:

- неслипаемые пыли (кварцевая пыль, сухая глина),
- слабослипающиеся (коксовая пыль),
- среднеслипающаяся (сухой цемент, мучная пыль, сажа),
- сильнослипающаяся (цементная пыль во влажном газе, хлопковая пыль, асбестовая пыль).

Повышенная слипаемость пыли приводит к забиванию бункеров, газоходов и самих пылеуловителей пылью.

Сыпучесть. Связана со слипаемостью, чем больше слипаемость, тем меньше сыпучесть.

Абразивность пыли. Способность истирать металлы. Абразивность характеризуется износом металлического корпуса аппарата от трения частиц пыли.

Гигроскопичность. Способность поглощать влагу из воздуха. Для сухих способов очистки является отрицательным фактором, так как происходит налипание пыли в аппарате, при мокром способе очистки является положительным.

Смачиваемость. Влияет на работу мокрых пылеуловителей. По характеру смачиваемости выделяют три группы пыли:

- гидрофильные – хорошо смачиваемые (кварцевый песок, силикатный песок),
- гидрофобные – плохо смачиваемые (графит, сера, уголь),
- абсолютно гидрофобные (парафин, тефлон).

Электрические свойства пыли - удельное электрическое сопротивление определяется экспериментальным путем при прохождении тока через пыль. Электрические свойства пыли используют для их коагуляции при осаждении в поле силы тяжести и центробежных сил в электрофильтрах.

Пылеулавливание – операции улавливания пыли в местах ее выделения с последующей очисткой запыленных газов в специальных аппаратах.

Характеристики пылеулавливания

Степень очистки газов от пыли - характеризует общую эффективность пылеулавливания. Рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{очистки}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (2.13.1)$$

$C_{\text{вх}}$ – массовая концентрация пыли в газе до очистки (мг/м³);

$C_{\text{вых}}$ – массовая концентрация пыли в газе после очистки (мг/м³).

Фракционный показатель эффективности пылеулавливания - характеризует процесс улавливания пыли, заданной крупности.

$$\eta_i = \frac{C_{\text{вх}i} - C_{\text{вых}i}}{C_{\text{вх}i}} = \frac{\alpha - \beta(1 - \eta_{\text{общ}})}{\alpha} \quad (2.13.2.)$$

η_i - фракционный показатель эффективности пылеулавливания;

α - количество пыли, заданной крупности, в газе до очистки (в %);

β - количество пыли в газе после очистки (в %);

$C_{\text{вх}i}$ - массовая концентрация i - той фракции пыли до пылеуловителя;

$C_{\text{вых}i}$ – массовая концентрация i - той фракции пыли после пылеуловителя.

Скорость осаждения частиц пыли - рассчитываются по закону Стокса:

$$\omega_0 = \frac{d^2(\rho_{\text{пыли}} - \rho_{\text{газа}})g}{18\mu_{\text{газа}}} \quad (2.13.3.)$$

ω_0 - скорость осаждения (м/с); d – диаметр частиц (м);

$\rho_{\text{пыли}}$ - плотность пыли (кг/м³); $\rho_{\text{газа}}$ - плотность газа (кг/м³)

μ - вязкость газа (Па с)

Пыль диаметром меньше 75 микрон осаждаётся легко, от 5 до 75 – осаждаётся медленно. Пыль с диаметром менее 5 микрон практически не осаждаётся и проникает в лёгкие.

Коэффициент проскока частиц - показывает долю оставшихся частиц в газе.

$$K = \frac{C_{вых}}{C_{вх}}, K = 1 - \eta_{оч} \quad (2.13.4.)$$

Гидравлическое сопротивление пылеуловителей - это разность давлений потока на входе и выходе из аппарата

$$\Delta p = p_{вх} - p_{вых} = \frac{\xi \rho \omega^2}{2}, \text{ Па} \quad (2.13.5.)$$

ξ - коэффициент гидравлического сопротивления ; ρ - плотность газа (кг/м³);

ω - скорость газа (м/с).

Удельная пылеемкость (N) - это количество пыли, которое удерживает пылеуловитель за период непрерывной работы между двумя регенерациями. В процессе очень важное значение имеют физико-химические свойства пылей.

Классификация пылеулавливающего оборудования основана на принципиальных особенностях процесса отделения твердых частиц от газовой фазы, это:

- оборудование для улавливания пыли сухим способом, к которому относятся пылеосадительные камеры, циклоны, вихревые циклоны, жалюзийные и ротационные пылеуловители, фильтры, электрофильтры;
- оборудование для улавливания пыли мокрым способом, к которому относятся скрубберы Вентури, форсуночные скрубберы, пенные аппараты и др.

Таблица 2.13.1. Методы механической очистки газов от пыли.

Способы улавливания пыли	Физическая сущность	Оборудование
Механический сухой метод.	Осаждение частиц пыли под действием сил тяжести, сил инерции и центробежных сил.	Пылеосадительные камеры, инерционные пылеуловители, центробежные пылеуловители (циклоны).
Механический мокрый метод.	Смачивание частиц пыли водой и улавливание их жидкостью.	Скрубберы (с насадкой или без нее), пленочные пылеуловители, пенные и другие.

Существует две основных системы пылеулавливания: технологическое и санитарное.

Технологическая система пылеулавливания предназначена для очистки от пыли воздуха или газов, используемая для технических целей.

Санитарная система пылеулавливания предназначена для защиты воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами.

2.13.2 Механические сухие пылеуловители

Гравитационное осаждение основано на осаждении взвешенных частиц под действием силы тяжести при движении запыленного газа с малой скоростью без изменения направления потока. Процесс проводят в отстойных газоходах и пылеосадительных камерах. Для уменьшения высоты осаждения частиц в осадительных камерах установлено на расстоянии 40–100 мм множество горизонтальных полок, разбивающих газовый поток на плоские струи.

Механические сухие пылеуловители условно делятся на три группы:

- Пылеосадительные камеры.
- Инерционные пылеуловители.
- Центробежные пылеуловители.

Пылеосадительные камеры. Принцип работы основан на гравитационном осаждении частиц пыли из газового потока. Гидравлическое сопротивление таких аппаратов 50 – 150 Па. Применяются для улавливания частицы диаметром 50 – 500 микрометров и более. Применяются в металлической и химической промышленности и отличаются большими габаритами. $\eta = 30 - 40\%$.

В нижней части имеются бункеры для сбора пыли. В пылеосадительных камерах скорость воздуха снижается до 0,05 м/с за счет увеличения размеров камер, при выполнении камер с перегородками в виде лабиринта увеличивается эффективность очистки, но увеличивается сопротивление движению воздуха. Метод пригоден лишь для предварительной, грубой очистки газов.

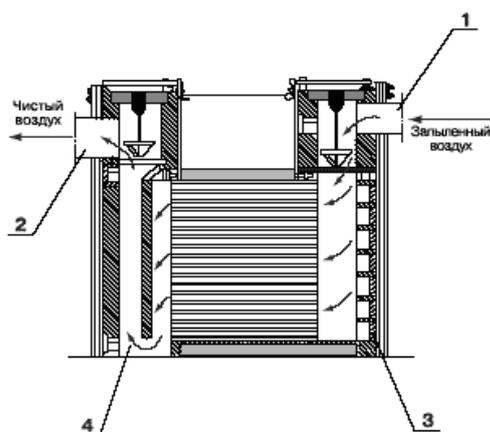


Рис.2.13.1. Пылеосадительная камера: 1 - входной патрубок; 2 - выходной патрубок; 3 - корпус; 4 - бункер взвешенных частиц.

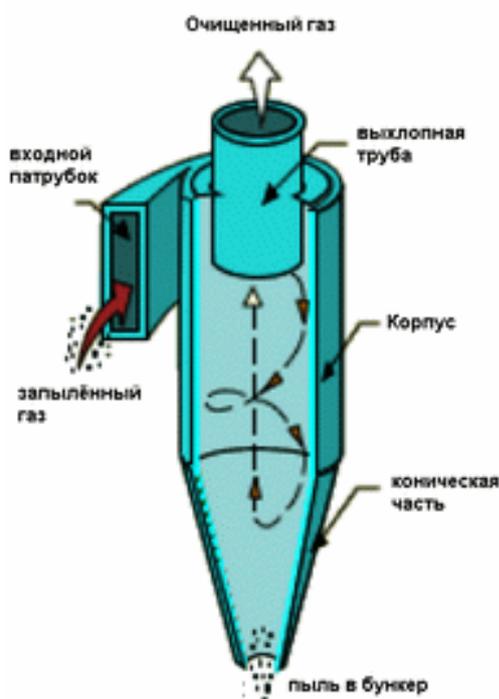
Инерционное осаждение основано на стремлении взвешенных частиц сохранять первоначальное направление движения при изменении направления газового потока. Среди инерционных аппаратов наиболее часто применяют жалюзийные пылеуловители с большим числом щелей (жалюзи). Частицы пыли $d < 20$ мкм в жалюзийных аппаратах не улавливаются. Инерционный метод можно применять лишь для грубой очистки газа. Помимо малой эффективности недостаток этого метода – быстрое истирание или забивание щелей.

Инерционные пылеуловители (пылевые мешки) основаны на действии сил тяжести и сил инерции. В аппарате поток газа меняет направление движения, а пыль под действием сил инерции и сил тяжести оседает в бункере. Газ поступает в аппарат со скоростью 5 – 15 м/с, скорость в цилиндрической зоне около 1 м/с, гидравлическое сопротивление – 150 – 390 Па, $\eta = 65 - 80\%$. Применяются в химической промышленности для предварительной очистки газов.

Центробежные методы очистки газов основаны на действии центробежной силы, возникающей при вращении очищаемого газового потока в очистном аппарате или при вращении частей самого аппарата.

Циклоны

В качестве центробежных аппаратов пылеочистки применяют **ЦИКЛОНЫ** различных типов: батарейные циклоны, вращающиеся пылеуловители (ротоклоны) и др. Циклоны наиболее часто применяют в промышленности для осаждения твердых аэрозолей.



Основными элементами циклона являются: корпус, выхлопная труба, бункер для сбора пыли. Запыленный газ поступает тангенциально со скоростью (20-30 м/с) через патрубок прямоугольного сечения в верхнюю часть корпуса циклона. В корпусе поток запыленного газа движется вниз по спирали вдоль внутренней поверхности стенок циклона. При таком вращательном движении частицы пыли, как более тяжелые, перемещаются в направлении действия центробежной силы быстрее, прижимаются к стенкам аппарата и переносятся потоком в пылесборник. Здесь пыль оседает, а очищенный газ, продолжая вращаться по спирали, поднимается кверху через выхлопную трубу.

Рис.2.13.2. Принцип работы циклона

Циклоны характеризуются высокой производительностью по газу, простотой устройства, надежностью в работе. Степень очистки газа в циклоне зависит не только от скорости вращения газового потока, от конфигурации основных элементов и соотношения геометрических размеров циклона, но и от размеров отделяемых частиц. Для частиц с $d = 5 \div 30$ мкм степень очистки снижается до 80%, а при $d = 2 \div 5$ мкм она составляет менее 40%.

Гидравлическое сопротивление высокопроизводительных циклонов составляет около 1080 Па. Циклоны широко применяют при грубой и средней очистке газа.

Циклоны изготавливаются из нержавеющей стали методом сварки, исключаящих какую либо коррозию сварных швов. Циклоны изготавливаются в двух исполнениях: на опорных лапах и опорных стойках (напольное исполнение). Циклоны оснащены устройствами (затворами специальной конструкции и отъемными сборниками), благодаря чему могут использоваться в режимах непрерывного отбора твердых частиц.

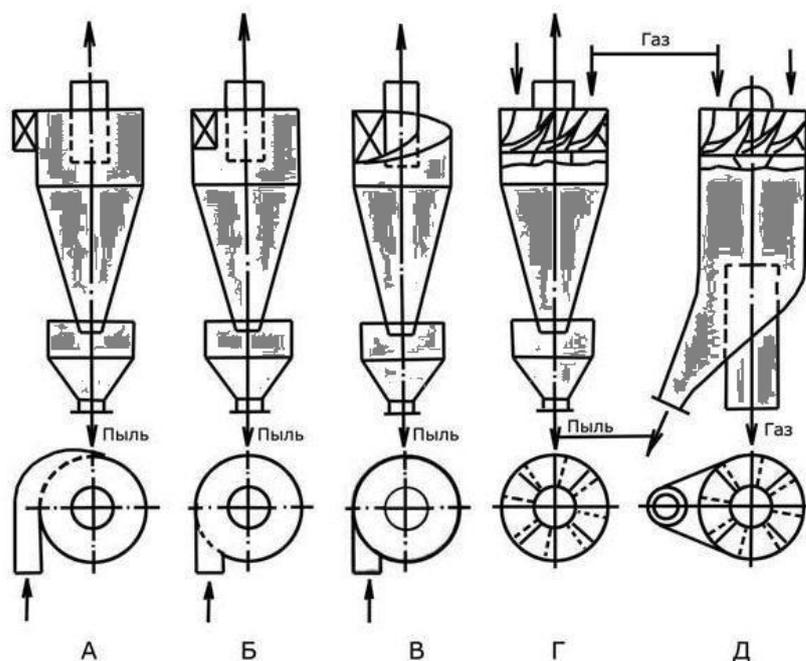


Рис.2.13.3. Способы подвода газа в циклоны

Циклоны различаются по способу подвода газа (рис.2.13.3.), который может быть спиральным (А), тангенциальным или обычным (Б), винтообразным (В) и осевым; циклоны с осевым (розеточным) подводом газа работают как с возвратом газа в верхнюю часть аппарата (Г), так и без него (Д). Аппараты последнего типа (так называемые прямоточные циклоны) отличаются низким гидравлическим сопротивлением и меньшей по сравнению с циклонами иных типов эффективностью пылеулавливания. Простота конструкции прямоточных циклонов облегчает нанесение на них футеровки, что позволяет применять эти аппараты для осаждения крупных абразивных частиц пыли.

Рекомендуются следующие типы циклонов:

- **Циклоны с винтовым входом газа** имеют относительно высокую производительность при небольших габаритах. Применяются для грубой очистки газа от пыли с размером частиц более 20 мкм.
- **Циклоны со спиральным входом газа** относятся к высокоэффективным циклонам. Используются для тонкой очистки газа с размером частиц более 10 мкм.

- **Циклон с обратным конусом** применяется для улавливания волокнистых пылей в легкой промышленности.
- **Циклоны со спиральным входом** рекомендуется для улавливания абразивных пылей.

Батарейный циклон состоит из групп циклонов малого диаметра ($d = 200-250$ мм), число которых достигает несколько десятков, а то и сотен, которые включаются в один корпус и имеют общий коллектор запыленного газа и общий пылевой бункер. Они работают параллельно. Для закрученного потока газа элементы батарейного циклона имеют направляющие лопасти, типа винт или розетка. Лопасти (типа винт) обеспечивают меньшую эффективность очистки, чем лопасти (типа розетка).

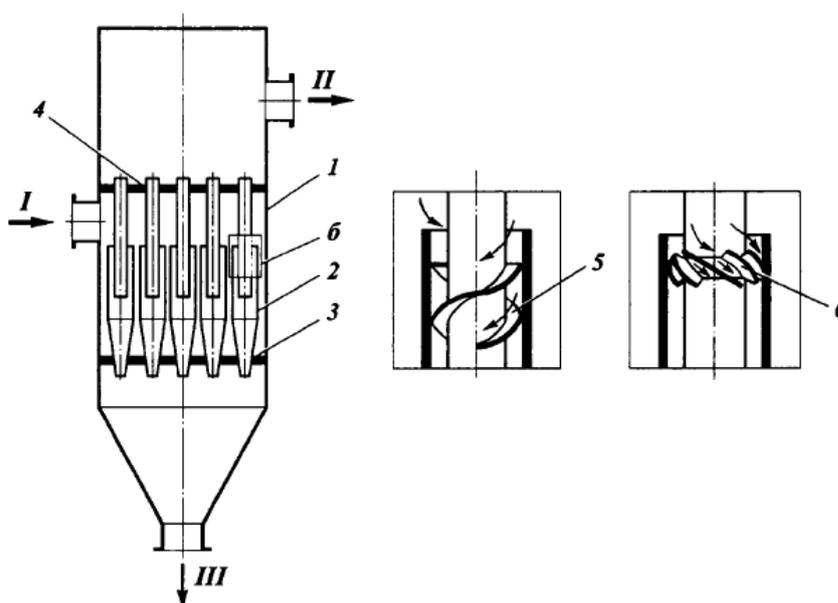


Рис.2.13.4. Конструкция батарейного циклона: а — продольный разрез; б — конструкции закручивающих устройств; 1 - корпус; 2 - циклонные элементы; 3, 4 - трубные решетки; 5 – винтовая лента; 6 - лопастная розетка.

Потоки: I — запыленный газ; II — очищенный газ; III — уловленные частицы

Лопасти (типа винт) меньше забиваются пылью и обеспечивают меньшие потери давления в циклоне. Скорость газа на входе в батарейный циклон равна 11 - 23 м/с, средняя степень очистки газа $\eta = 0,75 - 0,85$. Батарейные мультициклоны обладают повышенной эффективностью при разделении пылегазовых смесей, содержащих частицы сравнительно большой степени дисперсности: частицы размером до 5 мкм и менее. Для батарейных циклонов (производительностью более 20000 м³/ч), степень очистки составляет около 90% при диаметре частиц $d > 30$ мкм.

Рукавные фильтры

Рукавные фильтры относятся к пылеулавливающему оборудованию «сухого» типа. Рукавные фильтры имеют более высокую эффективность очистки газов по сравнению с любыми видами электрофильтров и аппаратами мокрой очистки

газов. Остаточная запылённость пылевых выбросов на выходе после рукавных фильтров обычно составляет не более 10 мг/м^3 (существуют модификации фильтров с более низкой остаточной запылённостью, до 1 мг/м^3). Рукавные фильтры могут быть укомплектованы фильтрующими рукавами, сшитыми из высокотемпературных фильтрующих материалов (политетрафторэтилен, полиимид) с температурой эксплуатации до $+260 \text{ C}^\circ$.

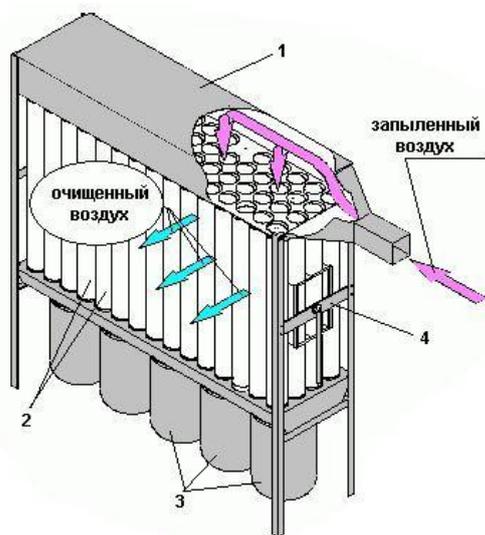


Рис.2.13.5. Рукавный фильтр: 1- расширительная камера; 2-рукавные фильтры; 3-бункеры-накопители; 4-рама встряхивания

Принцип работы фильтра основан на улавливании пыли фильтрующей тканью при прохождении через нее запыленного воздуха. По мере увеличения толщины слоя пыли на поверхности рукавов возрастает сопротивление движению воздуха и снижается пропускная способность фильтра, во избежание чего предусмотрена регенерация запыленных рукавов при помощи электромеханических вибраторов. В представленном фильтре воздух подается в фильтр сверху и частички опускаются вниз под действием собственного веса, не испытывая противодействия, направленного в противоположную сторону, воздушного потока. В такой конструкции забивание фильтров практически невозможно, так как образующаяся на стенках фильтра пыль и опилки постоянно сдуваются потоком воздуха.

2.13.3 Аппараты мокрой механической очистки.

В основе мокрого пылеулавливания лежит контакт запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама.

Достоинства мокрых пылеуловителей:

- сравнительно небольшая стоимость изготовления;
- высокая эффективность улавливания взвешенных частиц, например, скрубберы Вентури могут быть применены для очистки газов от частиц меньше 1 мкм ;

- возможность использования при высокой температуре и повышенной влажности газов, а также в случае опасности самовозгорания или взрыва очищаемых газов или улавливаемой пыли;
- возможность одновременного осуществления очистки газов от взвешенных частиц (пылеулавливание), извлечения газообразных примесей (абсорбция) и охлаждения газов (контактный теплообмен).

Недостатки метода мокрого обеспыливания:

- улавливаемый продукт выделяется в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод и, следовательно, с удорожанием процесса очистки;
- в случае очистки агрессивных газов аппаратуру и коммуникации необходимо изготавливать из антикоррозионных материалов или применять антикоррозионные покрытия.

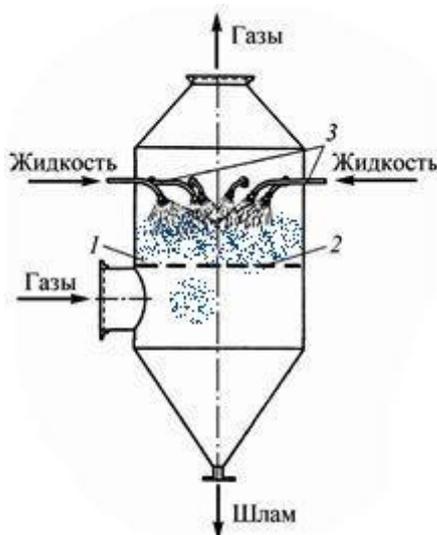
В качестве орошающей жидкости в мокрых пылеуловителях чаще всего применяют воду. В целях уменьшения количества отработанной жидкости при работе мокрых пылеуловителей применяют замкнутую систему орошения. Наиболее принятая в технической литературе классификация мокрых пылеуловителей основывается на способе действия и обычно включает следующие группы:

- **Полые газопромыватели** – газы пропускаются через завесу распыленной жидкости, капли которой захватывают частицы пыли - полые скрубберы;
- **Насадочные газопромыватели (скрубберы)** – в корпус аппарата на опорную решетку засыпается насадка, чаще всего представляющая собой кольца различной конфигурации - насадочные скрубберы;
- **Барботажные аппараты** – запыленный газ проходит через слой жидкости в виде пузырьков, на поверхности которых и происходит осаждение частиц пыли-барботеры.
- **Пенные аппараты** – чаще всего снабжены провальными тарелками (щелевыми или дырчатыми), которые поливаются жидкостью; образующаяся на них пена захватывает частицы пыли, удаляемые из аппарата в виде шлама - тарельчатые скрубберы
- **Пылеуловители ударно-инерционного действия** представляют собой вертикальную колонну. В слой жидкости, находящийся в нижней ее части, ударяется запыленный газовый поток и, при повороте потока в обратном направлении, частицы пыли осаждаются на поверхности воды - скрубберы ударно-инерционного действия (ротоклоны);
- **Мокрые аппараты центробежного действия** – запыленный газовый поток приводится во вращение направляющими лопатками или

тангенциальным подводом газа в корпус аппарата, орошаемого форсунками - центробежные скрубберы;

- **Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)** представляют собой трубу Вентури, движущийся в ней с высокой скоростью газовый поток дробит орошающую его жидкость на капли, на которых осаждается пыль и образуется шлам, удаляемый из аппарата. Скрубберы Вентури являются наиболее эффективными аппаратами мокрого типа - скоростные скрубберы Вентури;
- **Динамические газопромыватели** – очищаемые газы приводятся в соприкосновение с жидкостью, которая разбрызгивается вращающимся механизмом. Наибольшее распространение получили дезинтеграторы, представляющие собой мокрый пылеуловитель-вентилятор - эжекторные скрубберы.

Полые форсуночные скрубберы представляют собой колонны круглого или прямоугольного сечения, в которых осуществляется контакт между газами и каплями жидкости, распыливаемой форсунками.



По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости. При мокром обеспыливании обычно применяют аппараты с противонаправленным движением газов и жидкости, реже – с поперечным подводом жидкости. Прямоточные полые скрубберы широко используются при испарительном охлаждении газов.

Рис. 2.13.6. Полый форсуночный скруббер: 1 – корпус; 2 – газораспределительная решетка; 3 – форсунки

В противоточном скруббере (рис. 2.13.6.) капли из форсунок падают навстречу запыленному потоку газов. Капли должны быть достаточно крупными, чтобы не быть унесенными газовым потоком, скорость которого обычно составляет 0,61-2 м/с. При скоростях газов более 5 м/с после газопромывателя необходима установка каплеуловителя.

Если полый скруббер используют для очистки газа от пыли, то расход жидкости составляет от 3 до 10 м³ на 1000 м³ газа.

Степень улавливания пыли тем больше, чем больше расход орошающей жидкости, запыленность газа и размер частиц пыли, но обычно она не превышает 50%.

Мелкие фракции (менее 10 мкм) практически не улавливаются в полном скруббере. Поэтому полые скрубберы применяют в основном для охлаждения и увлажнения газа. Их устанавливают перед аппаратами, предназначенными для тонкой очистки газа. Гидравлическое сопротивление полых скрубберов невелико и составляет 100-250 Па.

Насадочные газопромыватели

В насадочных скрубберах сечение колонны заполнено насадкой, по которой в виде пленки стекает жидкость. Противотоком к ней движется газ, подаваемый в нижнюю часть колонны. Смоченная поверхность насадки и является поверхностью контакта фаз.

При недостаточном орошении насадки на ее элементах может налипать пыль, что приводит к росту гидравлического сопротивления и снижения производительности скруббера. Очистка насадки от пыли представляет собой довольно трудоемкую операцию, связанную с удалением насадки из аппарата. Поэтому для очистки запыленных газов используют только регулярную насадку с крупными элементами или хордовую насадку.

Расход жидкости в насадочных скрубберах составляет 1,5-6 м³ на 1000 м³ газа. Гидравлическое сопротивление их невелико, хотя и больше, чем полых скрубберов.

Степень улавливания пыли в насадочных скрубберах зависит от тех же факторов, что и в полых. Обычно улавливается до 70% частиц размером 25 мкм, более крупная пыль улавливается на 80-90%.

Разновидностью аппаратов для улавливания пыли осаждением частиц на каплях жидкости являются форсуночные скрубберы (рис.2.13.7.,а). Запыленный газовый поток поступает в скруббер по патрубку 3 и направляется на зеркало воды; где осаждаются наиболее крупные частицы пыли. Газовый поток и мелкодисперсная пыль, распределяясь по всему сечению корпуса 1, поднимаются вверх навстречу потоку капель, подаваемых в скруббер через форсуночные пояса 2. Удельный расход воды в форсуночных скрубберах составляет 3,0-6,0 л/м³, гидравлическое сопротивление аппарата до 250 Па при скоростях движения потока газа в корпусе скруббера 0,7-1,5 м/с.

Общая эффективность очистки, получаемая на форсуночных скрубберах, невысока и составляет, например, 0,6-0,7 при очистке доменного газа. В форсуночных скрубберах эффективно улавливаются частицы размером >10 мкм.

Одновременно с очисткой газ, проходящий через форсуночный скруббер, охлаждается и увлажняется до состояния насыщения.

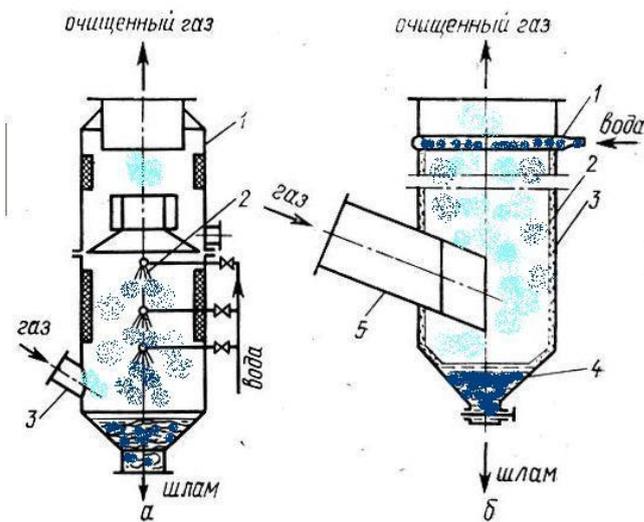


Рис.2.13.7. Форсуночный (а) и центробежный (б) скрубберы

В тех случаях, когда требуется очистка небольших масс горячих газов от загрязнений с размером частиц более 15-20 мкм, можно применять простейшие оросительные устройства, которые выполняются в виде ряда форсунок, встроенных в газопоток.

Удельный расход воды в таких системах выбирается равным от 0,1 до 0,3 л/м³.

Скорость газового потока в газопроводе в целях исключения интенсивного каплеуноса не должна превышать 3 м/с.

Барботажно-пенные пылеуловители

К мокрым пылеуловителям относятся барботажно-пенные пылеуловители с провальной и переливной решетками. В таких аппаратах газ на очистку поступает под решетку 3, проходит через отверстия в решетке и, барботируя через слой жидкости и пены 2, очищается от частиц пыли за счет осаждения частиц на внутренние поверхности газовых пузырей.

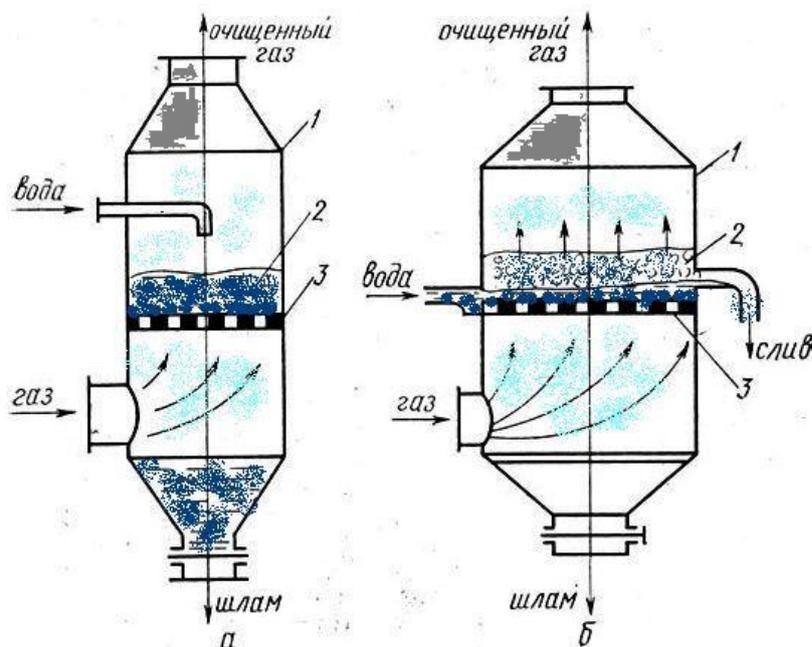


Рис.2.13.8. Барботажно-пенные пылеуловители

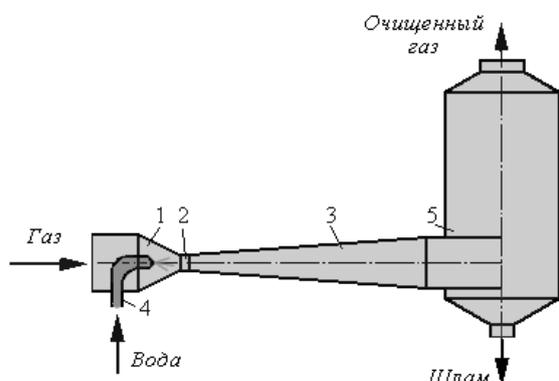
Режим работы аппаратов зависит от скорости подачи воздуха под решетку. При скорости до 1 м/с наблюдается барботажный режим работы аппарата. Дальнейший рост скорости газа в корпусе аппарата до 2-2,5 м/с сопровождается возникновением пенного слоя над жидкостью, что приводит к повышению эффективности очистки газа и брызгоуноса из аппарата.

Современные барботажно-пенные аппараты обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли около 0,95-0,96 при удельных расходах воды 0,4-0,5 л/м³.

Скруббер Вентури

Простейший скруббер Вентури включает в себя трубу Вентури и прямоточный циклон. Труба Вентури состоит из конфузора 1, служащего для увеличения скорости газа, в котором размещают оросительное устройство 4; горловины 2, где происходит осаждение частиц пыли на каплях воды; и диффузора 3, в котором протекают процессы коагуляции, а также за счет снижения скорости восстанавливается часть давления, затраченного на создание высокой скорости газа в горловине.

Скрубберы Вентури объединяют большую группу аппаратов, общим для которых является наличие трубы распылителя, в которой осуществляется интенсивное дробление газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 40-150 м/с), орошающей его жидкости и установленного за ней каплеуловителя. Первоначально в качестве трубы-распылителя использовалась труба Вентури в



ее чистом виде. Расход воды в скрубберах Вентури относительно высок: 0,7-3 м³ на 1000 м³ газа. Гидравлическое сопротивление больше, чем в других аппаратах мокрой очистки: 3000-7000 Па. Мокрые скоростные золоуловители обеспечивают эффективность очистки газов от золы, равную 91-94%.

Рис.2.13.9. Скруббер Вентури

В последнее время применяют комбинированные системы очистки газа. В качестве примера на рис.2.13.10. приведена принципиальная схема установки для мокрой очистки газов, включающая скруббер Вентури и барботажный пылеуловитель с тремя клапанными тарелками.

Запыленный газ подается на вход трубы Вентури I и при прохождении горловины интенсивно смешивается с водой, часть которой подается по двум тангенциальным вводам в верхней части конфузора 4, а другая часть вводится непосредственно в область горловины. Работа скрубберов Вентури основана на дроблении жидкости газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (40-150 м/с). Образовавшаяся газоводяная смесь поступает в промывную секцию, при входе в которую она проходит сквозь поток жидкости, сливающейся из переливного устройства нижней тарелки. Затем газовый поток последовательно проходит через барботажные слои трех клапанных тарелок 6. Отделение капель жидкости происходит в сетчатом отбойнике 5, установленном над верхней тарелкой.

Основной недостаток всех методов мокрой очистки газов - это образование больших объемов жидких отходов (шлама). Таким образом, если не

предусмотрены замкнутая система водооборота и утилизация всех компонентов шлама, то мокрые способы газоочистки по существу только переносят загрязнители из газовых выбросов в сточные воды, то есть из атмосферы в водоемы.

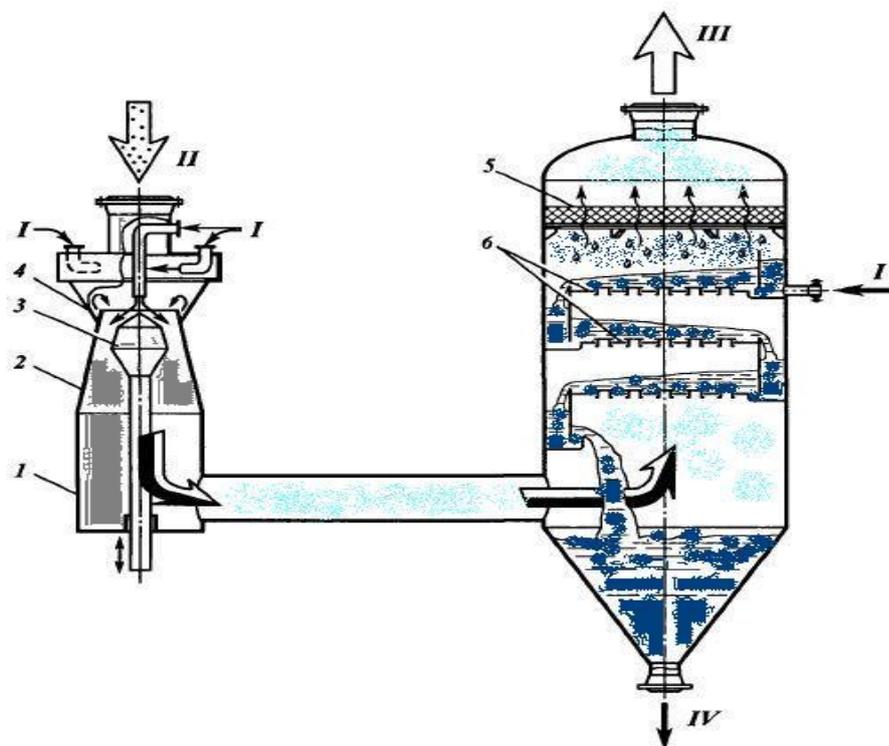


Рис. 2.13.10. Схема установки для очистки газа: 1 - труба Вентури; 2 - диффузор, 3 - регулирующий конус; 4 - конфузор; 5 – сетчатый отбойник (демистер); 6 - клапанные тарелки. Поток: I - вода; II - исходный газ; III - очищенный газ; IV — шлам.

2.13.4 Электрофилтры

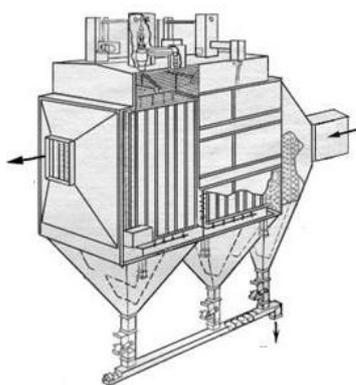


Рис.2.13.11. Горизонтальный однозонный пластинчатый электрофилтр.

При пропускании запыленного газового потока через сильное электрическое поле частицы пыли получают электрический заряд и ускорение, заставляющее их двигаться вдоль силовых линий поля с последующим осаждением на электродах. Вследствие того, что силы, вызывающие осаждение частиц пыли, приложены в этом случае только к этим частицам, а не ко всему потоку газа, расход энергии при электрической очистке значительно ниже, чем для большинства других пылеулавливающих аппаратов.

В большинстве случаев электрофилтр состоит из двух частей: собственно электрофилтра –

осадительной камеры с коронирующими и осадительными электродами – и источника напряжения. В электрофильтре зоны ионизации и осаждения могут быть совмещены или отделены одна от другой.

Работают электрофильтры только на постоянном электрическом токе высокого напряжения (60-80 кВ); коронирующие электроды всегда подключены к отрицательному полюсу источника тока.

Электрофильтры классифицируются по нескольким признакам:

- по расположению зон зарядки и осаждения электрофильтры делят на однозонные и двухзонные. В однозонных электрофильтрах зоны зарядки и осаждения совмещены, а в двухзонных коронирующие и осадительные электроды разделены и размещены в разных конструктивных зонах. В соответствии с направлением движения газового потока фильтры разделяют на горизонтальные и вертикальные.
- по форме осадительных электродов различают электрофильтры пластинчатые и трубчатые (здесь: 1 - коронирующие электроды; 2 - осадительные электроды).
- по числу последовательно расположенных полей электрофильтры бывают однополюсными и многополюсными.
- по числу параллельно работающих секций - односекционными и многосекционными.

Вывод уловленной пыли из электрофильтра может осуществляться в сухом виде посредством встряхивания электродов и в мокром виде смывом водой. В соответствии с этим различают сухие и мокрые электрофильтры.

В зависимости от условий эксплуатации, состава, температуры, давления и влажности газов, физико-химических свойств пыли, требуемой степени очистки и т. д. создано много различных конструкций электрофильтров. Эти конструкции, часто значительно отличающиеся друг от друга, включают в себя следующие основные элементы:

- корпус электрофильтра;
- узлы подвода, распределения и отвода очищаемых газов;
- электроды;
- коронирующие и осадительные устройства для удаления условленной пыли с электродов;
- изоляторные коробки - узлы для подачи на электроды высокого напряжения;
- устройства для сбора и вывода уловленной пыли из аппарата.

Основным технологическим элементом, решающим образом, влияющим на работу электрофилтра, являются электроды - коронирующие и осадительные. Коронирующие электроды могут быть гладкими или иметь фиксированные точки разряда. Гладкие электроды могут быть круглого, квадратного, звездообразного или ленточного сечений.

Электрическая проводимость слоя пыли. Этот показатель оценивается по удельному электрическому сопротивлению слоя пыли, которое зависит от свойств отдельных частиц (от поверхностной и внутренней электропроводности, формы и размеров частиц), а также от структуры слоя и параметров газового потока. Оно оказывает существенное влияние на работу электрофилтров.

В зависимости от удельного электрического сопротивления пыли делят на три группы:

- низкоомные пыли <104 Ом·см. При осаждении на электроде частицы пыли мгновенно разряжаются, что может привести к вторичному уносу;
- пыли с удельным сопротивлением в диапазоне 104-1010 Ом·см. Эти пыли хорошо улавливаются в электрофилтре, так как разрядка частиц происходит не сразу, а в течение времени, необходимого для накопления слоя;
- пыли с удельным сопротивлением в диапазоне 1010-1013 Ом·см. Улавливание пыли этой группы в электрофилтрах из-за образования на электроде пористого изолирующего слоя вызывает большие трудности.

Электрическая заряженность частиц. Знак заряда частиц зависит от способа их образования, химического состава, а также от свойств веществ, с которыми они соприкасаются. Этот показатель оказывает влияние на эффективность улавливания в газоочистных аппаратах (мокрых пылеуловителях, филтрах и др.), на взрывоопасность и адгезионные свойства частиц.

Способность частиц пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом. Горючая пыль вследствие сильно развитой поверхности контакта частиц (около $1 \text{ м}^2/\text{г}$) с кислородом воздуха способна к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом. Способностью к воспламенению обладают некоторые пыли органических веществ, образующиеся при переработке красителей пластмасс, волокон, а также пыли металлов; магния, алюминия и цинка.

Минимальные взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли - примерно $20-500 \text{ г/м}^3$, максимальные $700-800 \text{ г/м}^3$. Чем больше содержание кислорода в газовой смеси, тем вероятнее взрыв и больше его сила. При содержании кислорода менее 16% пылевое облако не взрывается.

2.13.5 Контрольные вопросы по теме «Пылеочистители»

- Дайте характеристику следующих свойств пыли: адгезия, абразивность, и гигроскопичность.
- Назовите методы механической очистки газов от пыли.
- В чём отличие жалюзных пылеуловителей от пылеосадительных камер?
- Из каких основных частей состоит циклон и в чём его отличие от батарейного циклона?
- От чего зависит гидравлическое сопротивление рукавного фильтра?
- Из какой ткани изготавливают рукавные фильтры для очистки газов в интервале температур 150-300 °С?
- Укажите достоинства и недостатки мокрых пылеуловителей.
- В чем отличие полых и насадочных газопромывателей?
- Опишите принцип действия скруббера Вентури.
- На какие группы в зависимости от удельного электрического сопротивления делят пыли?

2.14 Дробилки и мельницы

2.14.1 Измельчение твердых материалов

Измельчение твердых материалов широко используется в технологических процессах. Чем мельче твердые частицы, принимающие участие в нем, тем быстрее протекает процесс, так как увеличивается суммарная поверхность контакта реагирующих или контактирующих частиц. Многие процессы протекают именно на поверхности твердой фазы, например, растворение, горение, химическая реакция. Поэтому перед проведением какого-либо процесса используемый материал необходимо измельчить. Любое измельчение характеризуется степенью измельчения n , которая равна отношению среднего диаметра кусков материала до измельчения d_n к среднему диаметру кусков (частиц) после измельчения d_k . Степень измельчения может колебаться в широких пределах от 3-6 при грубом измельчении до > 100 при сверхмелком дроблении. При этом размер зерен (крупность) является показателем гранулометрического состава. Практически всегда частицы твердого материала не имеют правильной формы и их размеры трудно сопоставить. Для того, чтобы их сравнить, используют так называемый ситовый анализ. Для этого материал просеивают через систему сит с разными размерами ячеек. Получают несколько фракций. В каждой фракции содержатся частицы неодинаковых размеров, но находящиеся в узком диапазоне размеров частиц. Поэтому, как правило, сравнивают диапазоны размеров частиц, содержащихся в разных фракциях, а не размеры отдельных частиц.

Основные принципы измельчения:

- Не измельчать ничего лишнего
- Измельчение вести только до той степени, которая требуется для дальнейшей переработки материала.
- До измельчения необходимо использовать классификаторы (грохоты)
- Частицы после измельчения необходимо сразу удалять
- При измельчении не должно быть побочных процессов

Если необходима большая степень измельчения, необходимо проводить дробление в несколько стадий.

В зависимости от **конечного размера частиц** различают:

- крупное дробление – размер получаемых кусков до 40 мм;
- среднее дробление – до 6 мм;
- мелкое дробление – до 1 мм;

- тонкое измельчение – примерно до 0,1 мм;
- сверхтонкое измельчение (размол) – до 0,01 мм.

Таблица 2.14.1.Классификация видов измельчения в зависимости от размера конечных частиц

Измельчение	d_n , мм	d_n , мм	n
Крупное (дробление)	1500-150	250-40	2-6
Среднее (дробление)	250-40	40-6	5-10
Мелкое (дробление)	25-3	6-1	10-50
Тонкое (размол)	10-1	$1-75 \cdot 10^{-3}$	> 50
Сверхтонкое (размол)	12-0,1	$75 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	> 100

Крупное и среднее дробление проводят так называемым «сухим» способом, мелкое дробление и размол – «сухим» или «мокрым» (с добавлением воды) способами. При «мокром» способе уменьшается пылеобразование, получаются частицы более равномерных размеров.

По **характеру механического воздействия** различают следующие способы измельчения твердых материалов(рис.2.14.1.): раздавливание (а); удар (г); истирание (в); раскалывание (б)

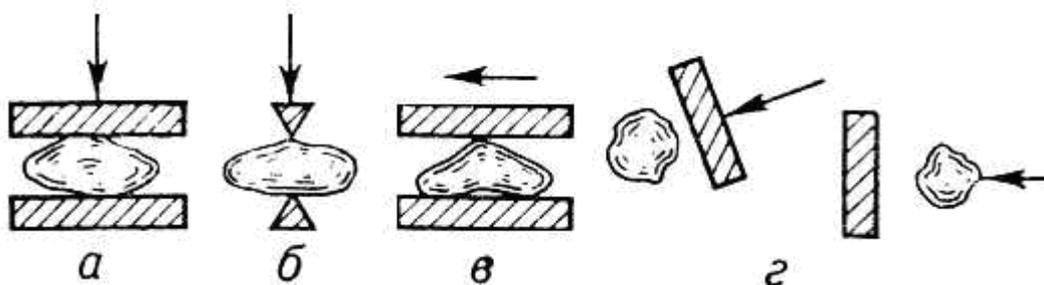


Рис.2.14.1. Способы измельчения твердых материалов

Выбор механического воздействия зависит от крупности и прочности измельчаемого материала. В зависимости от значения предела прочности при раздавливании измельчаемые материалы подразделяются на **твердые** (гранит), **средней твердости** (известняк, каменная соль), **мягкие** (глина, уголь). Раздавливание обычно применяют при крупном и среднем дроблении, а истирание – при тонком измельчении. В производственных условиях обычно перечисленные способы комбинируют. Например, для измельчения хрупких материалов средней твердости могут быть использованы методы: удар, раскалывание, истирание, так и сочетание этих методов.

В зависимости от того, сколько раз материал проходит через измельчающую машину, различают **открытую** или **замкнутую схему проведения процесса измельчения**. При **открытой схеме** материал проходит через дробилку или

мельницу один раз. При **замкнутой системе измельчения** материал с размерами частиц, превышающими требуемый, возвращают на повторное измельчение. Перед возвращением измельченный материал разделяют на фракции. Мелкие частицы выводят из цикла измельчения согласно принципу «не дробить ничего лишнего». Машины для измельчения подразделяют на **дробилки**, которые служат для крупного, среднего и мелкого дробления, и мельницы, предназначенные для тонкого и сверхтонкого измельчения.

Таблица 2.14.2. Машины для измельчения материалов различной твердости

Способ измельчения	Размер и вид зерен продукта	Машины для твердых материалов	Машины для средней твердости и мягких материалов
Крупное дробление	>50 мм крупные куски	щековая дробилка конусная дробилка	молотковая дробилка
Мелкое дробление	5....50 мм мелкий щебень	конусная дробилка валковая дробилка	валковая дробилка
Грубое измельчение	0,5....5 мм гравий, «семечко»	молотковая дробилка валковая дробилка	стирающая мельница стержневая мельница
Тонкое и сверхтонкое измельчение	0,05...0,5 мм 0,005....0,05 мм мука, пудра	стирающая мельница штифтовая мельница конусная мельница	мельница стирающая, ножевая, вибрационная
Коллоидное измельчение	< 0,005 мм коллоидная пудра	шаровая мельница струйная мельница	мельница шаровая, вибрационная (обе для мокрого размола)

Мельницы и дробилки классифицируют по конструктивному исполнению измельчающих элементов. В конструкциях может быть реализован как один способ измельчения, так и сочетание различных методов. Например, в щековой дробилке происходит раздавливание, а в молотковой дробилке наряду с «ударным» методом измельчения есть истирание.

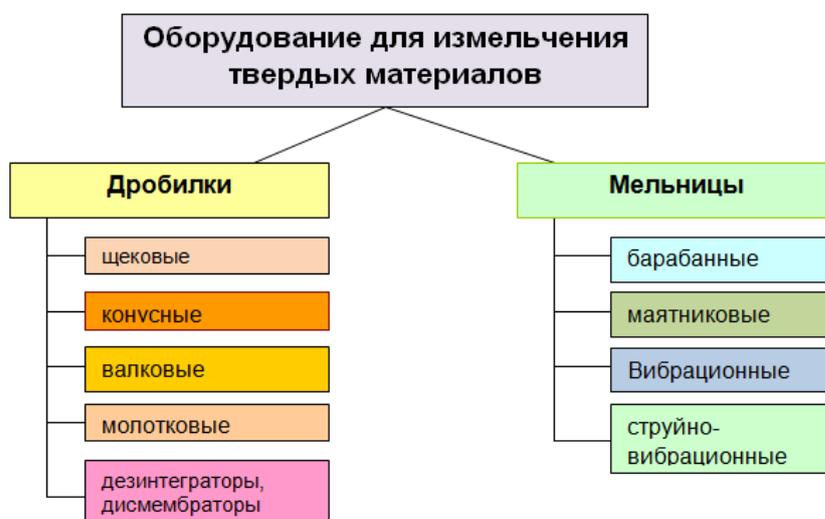


Рис. 2.14.2 Классификация мельниц и дробилок

Требования к измельчающим машинам:

- Равномерность кусков измельченного материала;
- Немедленное удаление измельченных кусков из рабочего пространства;
- Минимальное пылеобразование;
- Непрерывная и автоматическая разгрузка;
- Возможность регулирования степени измельчения;
- Возможность легкой смены изнашивающихся частей;
- Небольшой расход энергии на единицу продукции.

2.14.2 Виды дробилок

Щековые дробилки предназначены для измельчения крупнокускового материала методом раздавливания.

Состоит из двух так называемых щек: неподвижной плиты, закрепленной на массивной станине, и подвижной щеки, подвешенной на оси, относительно которой она качается. Материал измельчается раздавливанием путем прижатия его движущейся щекой к неподвижной. Измельченный материал выпадает из машины во время обратного хода подвижной щеки.

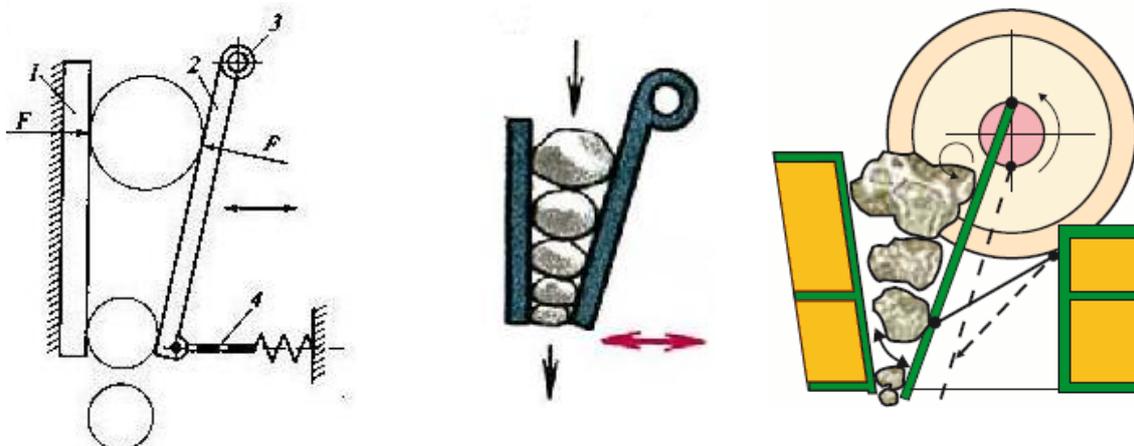


Рис.2.14.3. Щековая дробилка: 1 – неподвижная плита (щека); 2 – подвижная щека; 3 – ось; 4 – тяга с пружиной; F – сила раздавливания

Работает периодически. Щеки таких дробилок изнашиваются, поэтому их делают из износостойких материалов. Материал подбирают в зависимости от того, что измельчают. Например, для измельчения мягких материалов – определенные сорта чугуна, твердых материалов – сталь с повышенным содержанием марганца и хрома. Щеки могут быть гладкими и ребристыми. Гладкие щеки используют при мелком дроблении или измельчении хрупких материалов; ребристые – для крупного измельчения твердых материалов.

Щековые дробилки отличаются компактностью, простотой устройства, возможностью замены частей, надежностью конструкции. Однако из-за неуравновешенности движущихся частей их работа бывает шумной, приводящей к сотрясению зданий. Для их установки необходимы мощные фундаменты. Кроме того, в дробилках такой конструкции наблюдается забивание рабочего пространства при неравномерной подаче измельчаемых кусков. Используется, в основном, ручная загрузка.

Обычно такие дробилки выпускают производительностью 1000-1500 т/час. Мощность привода 300-400 кВт.

Конусные дробилки. В такой машине куски материала раздавливаются в результате непрерывного нажатия вертикального усеченного конуса (дробящей головки), эксцентрично вращающегося в другом полем конусе (корпусе). Оба конуса имеют гладкую или ребристую поверхность. Материал попадает в рабочее пространство дробилки, которое представляет собой воронку, и измельчается между внутренней поверхностью корпуса и внешней поверхностью внутреннего конуса (дробящей головки). Внутренний конус, вращающийся подобно коническому маятнику, измельчает мелкие куски материала посредством давления, а крупные – путем раздавливания и изгиба. Благодаря использованию изгиба снижается расход энергии на дробление.

Таким образом, в конусной дробилке между дробящей головкой и корпусом образуется зазор переменной ширины. При его уменьшении материал раздавливается, при увеличении – высыпается из рабочей зоны дробилки.

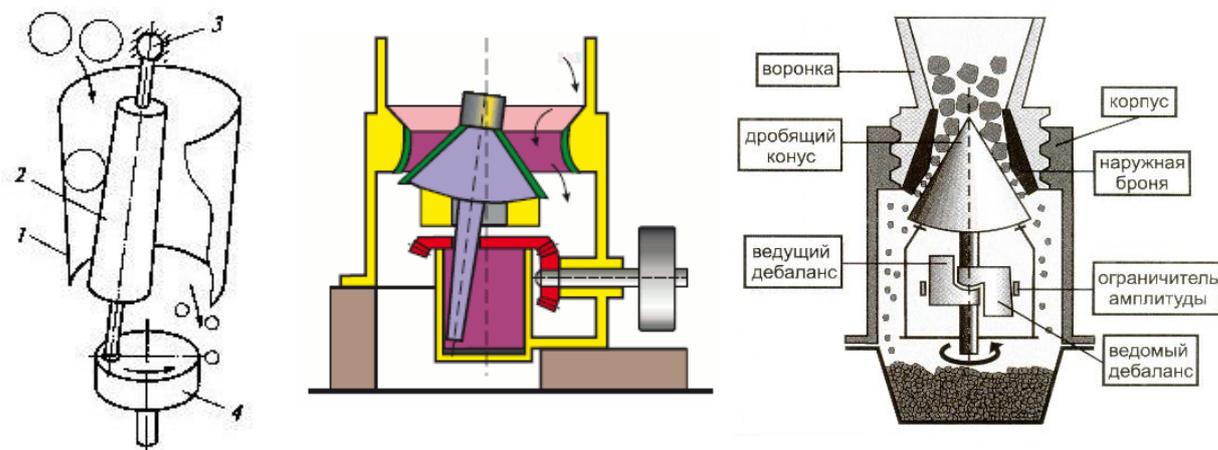


Рис.2.14.4. Конусная дробилка: 1 – корпус; 2 – дробящая головка; 3 – шаровая опора; 4 – эксцентрик

Конусные дробилки имеют большую, чем щековые дробилки, производительность (от 280 т/ч). Они работают более равномерно, имеют удобную загрузку, небольшой расход энергии на измельчение.

Кроме того, многие из них имеют специальные предохранительные устройства для пропуска случайно попавших кусков металла. Конструктивно и в

обслуживании они более сложные, чем щековые дробилки. Такие дробилки не пригодны для измельчения вязких материалов.

Валковые дробилки. Такие машины измельчают куски материала при попадании его в зазор между вращающимися навстречу друг другу валками.

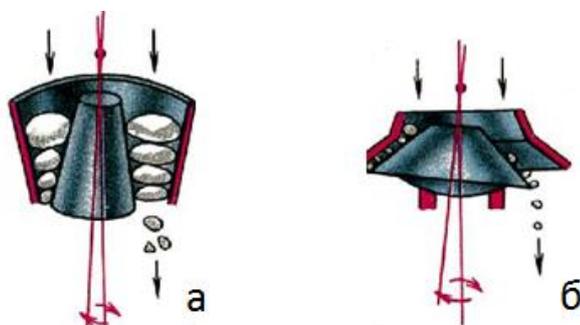


Рис.2.14.5. а – конусная дробилка крупного дробления; б - конусная дробилка среднего и мелкого дробления

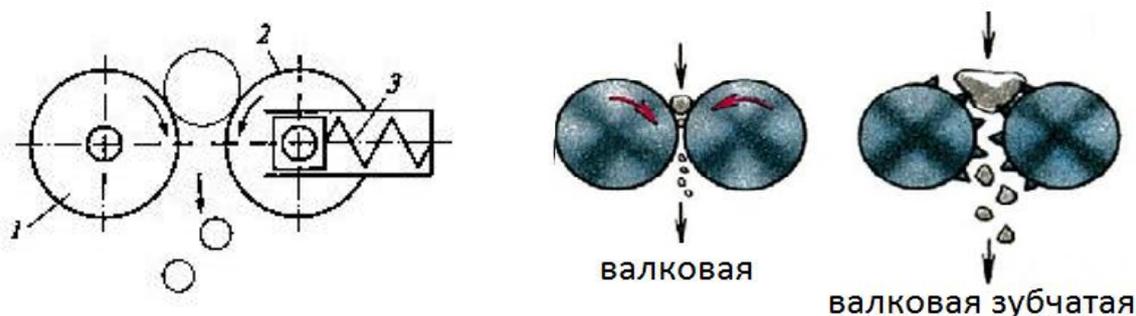


Рис.2.14.6. Валковая дробилка: 1 – неподвижный валок; 2 – подвижный валок; 3 - пружина

Материал поступает в машину сверху, захватывается валками. Силой трения он увлекается в щель между валками, постепенно измельчается и выбрасывается из дробилки. Степень измельчения регулируется шириной щели между валками. Для того, чтобы избежать деформацию и поломку валков при попадании в них кусков больших размеров или очень твердых материалов, одна ось установлена неподвижно, другая – вращается в подвижных подшипниках, закрепленных на станине. Подвижная ось может отодвигаться пружиной, чтобы пропустить «опасный» кусок материала. Этот кусок проваливается, не причиняя вред машине.

Валки могут быть гладкими или с зубчатой поверхностью. Валками с гладкой поверхностью материал раздавливается. Если поверхность валков зубчатая, то

хрупкий материал разрушается путем раскалывания и раздавливания. Валковые дробилки используют для измельчения материалов средней твердости (известняк, соль, мел).

Валковые дробилки просты по устройству, компактны, надёжны в работе. Однако они не пригодны для дробления высокопрочных материалов.

Молотковые дробилки. Служат для промежуточного измельчения путем удара и раскалывания. Для того чтобы их использовать, нужно, чтобы влажность измельчаемого материала была не более 15%.

Молотковая дробилка состоит из корпуса, горизонтального вала (ротора), на котором подвижно на шарнирах подвешены молотки из твердой стали. Измельченный материал проталкивается через колосниковую решетку.

Измельчаемый материал поступает в корпус дробилки через воронку. Молотки, движущиеся с большой скоростью, ударяют по падающим кускам материала, частично разрушая его. Материал отбрасывается к стальной плите, ударяясь о которую, дополнительно измельчается.

Измельчение в такой дробилке происходит под действием ударов молотков, а также путем трения частиц друг о друга и о стенки дробилки. Измельченный материал высыпается через решетку.

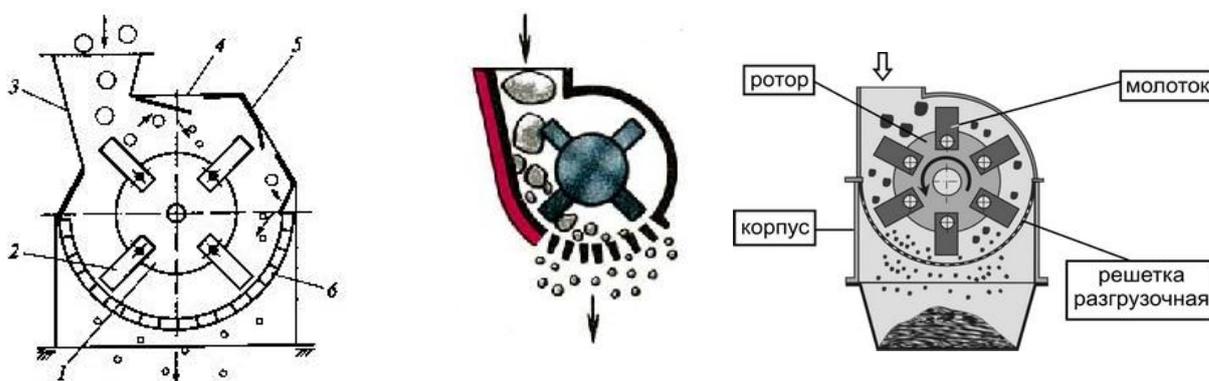


Рис.2.14.7. Молотковая дробилка: 1 – ротор; 2 – молоток; 3 – воронка; 4 – корпус; 5 – плита; 6 – колосниковая решетка

Дезинтеграторы. В корпусе дезинтегратора имеются два ротора, которые установлены параллельно друг другу. Они вращаются в противоположных направлениях. На каждом роторе по окружностям закреплены пальцы. Ряды пальцев одного ротора входят в пространство между рядами пальцев другого ротора (рис.2.14.8.).Материал подается в центральную часть дезинтегратора через воронку. В рабочей зоне он измельчается ударами движущихся пальцев. Затем измельченный материал проваливается через решетку. Куски материала, у которых размер остался больше заданного, остаются в рабочей зоне и продолжают дробиться.

Дисмембраторы. Конструктивно отличаются от дезинтегратора тем, что только один из роторов вращается. Кроме этого, пальцы дисмембратора имеют форму ножей. Такие машины предназначены для измельчения волокнистых материалов. Они одновременно и срезают и разрывают волокна.



Рис.2.14.8 Дезинтегратор и его составные части: 1,2 – роторы; 3 – воронка; 4 – пальцы; 5 – решетка

2.14.3 Мельницы

Шаровые мельницы. Представляет собой вращающийся полый барабан, заполненный шарами. Измельчение происходит под действием ударов падающих стальных или кремниевых шаров, а также путем истирания материала между шарами и внутренней поверхностью корпуса мельницы. Для таких мельниц необходимо найти правильное соотношение между величиной шаров и кусков загружаемого материала. Диаметр шаров должен составлять $1/18 - 1/24$ часть от внутреннего диаметра барабана. Заполнение шарами составляет 30-35 % от объема барабана, так как поднимающиеся шары не должны сталкиваться с падающими шарами. В барабанных мельницах используют как «сухой», так и «мокрый» способы измельчения.

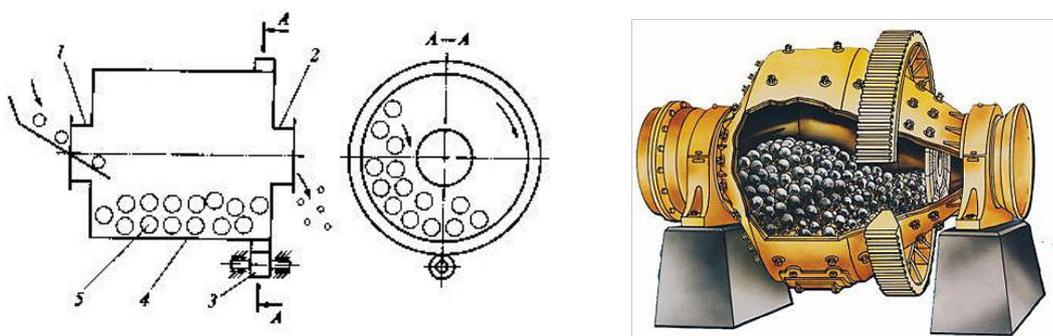


Рис.2.14.9. Шаровая (барабанная) мельница: 1 – загрузочное отверстие (полая цапфа); 2 – разгрузочное отверстие; 3 – приводная шестерня; 4 – барабан; 5 – шары

Конструктивно, в зависимости от формы корпуса, шаровые мельницы бывают цилиндрические, трубчатые, конические. По методу выгрузки готового продукта различают мельницы:

- со свободным выходом измельченного продукта через пустотелую цапфу;
- с выгрузкой по всей длине барабана через цилиндрическое сито;
- с внешней системой сепарации, при которой готовый продукт отделяется от недомолотого материала в сепараторах вне мельницы.

Такие мельницы просты по устройству, надежны и безопасны в работе, универсальны. Однако они достаточно громоздки, шумно работают, требуют больших затрат энергии.

Маятниковые мельницы. Некоторые материалы, такие как мел, тальк, различные пигменты, могут налипать на поверхности шаров в шаровых мельницах. Это затрудняет обработку этих веществ. Для их тонкого измельчения используют маятниковые мельницы, у которых отсутствуют указанные выше недостатки. В корпусе такой мельницы на вертикальном валу закреплена крестовина, к которой подвешены маятники, на нижних концах которых вращаются ролики. Ролики при вращении крестовины начинают перетирать материал, который попадает в зазор между ними и кольцом, приваренным на корпус. Таким образом, измельчаемый материал раздавливается и истирается. Измельченные частицы засасываются воздухом в пневмотранспортную трубу.

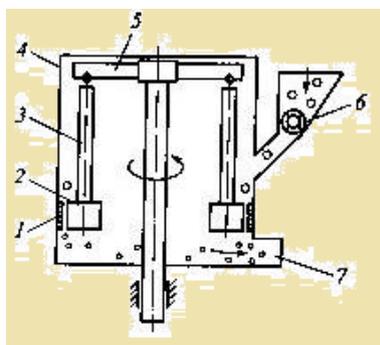


Рис. 2.14.10. Маятниковая мельница: 1 – кольцо; 2 – ролик; 3 – маятник; 4 – корпус; 5 – крестовина; 6 – питатель; 7 – пневмотранспортная труба

Вибрационные мельницы. В основу действия такой мельницы (рис.2.14.11.) положено влияние вибрации на материал. Силы вибрации небольшие, но если они действуют многократно и без остановок, то происходит разрушение материала. Сначала образуются микротрещины из-за усталости материала, которые разрастаются до разлома. Мельница имеет цилиндрический корпус, который установлен на пружинной опоре. Через подшипники корпус связан с валом. На валу эксцентрически закреплен груз-дисбаланс. Когда вал вращается, его колебания передаются корпусу. Шары, загруженные в корпус, начинают перемещаться в сторону, обратную направлению вращения вала. Они

перекатываются, сталкиваются друг с другом. Как результат этого - истирание материала. В таких мельницах материал достигает категории тонкого или сверхтонкого измельчения. Измельченные частицы выносятся из корпуса потоком воздуха.

Кроме вибрационных мельниц, есть так называемые **струйно-вибрационные** мельницы. В них измельчение происходит при многократном взаимном столкновении частиц, движущихся с большой скоростью под действием воздушных струй.

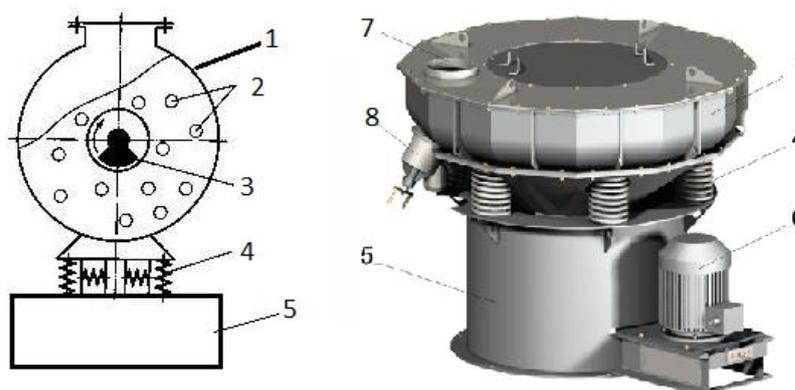


Рис.2.14.11. Вибрационная мельница: 1 – корпус; 2 – шары; 3 – груз-дебаланс; 4 – пружинная опора; 5 - опорная рама, 6 – электродвигатель; 7 - патрубок загрузки, 8 - клапан разгрузки,

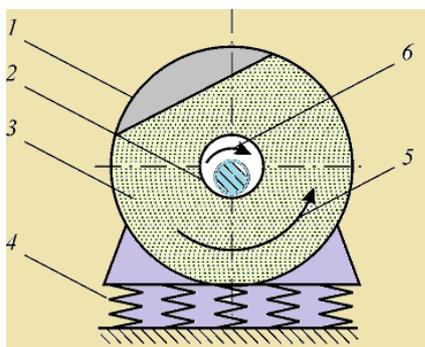


Рис.2.14.12. Схема вибрационной мельницы с внутренним эксцентриковым валом: 1 - корпус мельницы; 2- эксцентриковый (или дебалансный) вал; 3 – шаровая загрузка с измельчаемым материалом; 4 – пружинные опоры; 5 – направление циркуляции загрузки; 6 – направление движения вала

2.14.4 Контрольные вопросы по теме «Дробилки и мельницы»

- Зачем проводят измельчение твердых материалов в технологических процессах?
- Как классифицируют измельчение по крупности частиц материала?
- Перечислите способы разрушения материала, которые лежат в основе конструкций измельчающих машин.
- Что такое измельчение по замкнутому циклу?
- Приведите примеры дробилок и мельниц. Опишите их устройство и принцип действия.

3 РАЗДЕЛ. ОСНОВЫ СКЛАДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

3.1 Типы складов и организация складских работ

Запасы материалов, сырья, топлива, полуфабрикатов, оборудования, готовой продукции хранятся на различных складах предприятий.

Склады представляют собой хранилища различного рода производственных запасов. Помимо хранения на складах выполняется большой комплекс работ по подготовке материалов к потреблению и снабжению ими цехов и других подразделений предприятия.

Рациональная организация складского хозяйства предусматривает наличие достаточного количества складских помещений, размещение их по территории заводов, механизацию складских работ, а также активизацию складов по контролю использования **сырья** и отгрузки **готовой продукции**.

Основными **задачами** складского хозяйства являются;

- приемка и хранение веществ и материалов;
- подготовка веществ и материалов к производственному потреблению;
- снабжение цехов;
- соблюдение норм запасов;
- контроль расходования веществ и материалов.

Различие в условиях поставки (получения продукции) и их расходования (отгрузки потребителям) требует создания соответствующей **системы складов** и организации складского хозяйства. Оно призвано обеспечить бесперебойное снабжение производства всеми видами веществ и материалов (сырьем, топливом, запчастями и т.д.), необходимую их подготовку.

Структура складского хозяйства предприятия определяется в зависимости от

- номенклатуры потребляемых веществ и материалов;
- типа и объемов производства;
- уровня специализации производства и кооперирования.

Склады классифицируются:

- по их месту в производственном процессе;
- по роду хранимых веществ и материалов;
- по техническому устройству;
- по степени пожарной опасности.

По месту в производственном процессе (назначению и подчиненности) склады предприятия делятся на: материальные (снабженческие), производственные и сбытовые.

Материальные склады подчинены отделу материально-технического снабжения. Это склады производственных запасов сырья, материалов и других материальных ресурсов до их включения в процесс производства. К производственным складам относятся склады полуфабрикатов, оборудования и запасных частей к нему. Эти склады подчинены соответственно отделам производства. На сбытовых складах хранится готовая продукция предприятия, и подчинены они отделу сбыта.

По сфере и масштабу деятельности склады делятся на:

- центральные, снабжающие всех потребителей;
- участковые, снабжающие группу близко расположенных цехов;
- цеховые.

Центральные и участковые склады находятся в ведении отдела снабжения. Цеховые склады и склады готовой продукции находятся в ведении цехов.

В зависимости от перерабатываемых материалов склады подразделяются на:

- специализированные, предназначенные для хранения определенных видов веществ, материалов и изделий;
- универсальные, на которых хранятся различные предметы и материалы производственно-технического назначения.

Среди специализированных выделяются специальные склады с соответствующими оборудованием и режимом хранения. К ним относятся хранилища нефтепродуктов, химикатов, газов, топлива.

По характеру технического устройства склады классифицируются на:

- открытые (площадки);
- полузакрытые (навесы);
- закрытые (здания).

Открытые склады предназначены для хранения веществ, материалов и изделий, не подверженных влиянию атмосферных осадков; полузакрытые – для хранения веществ и материалов, не подверженных влиянию температурных изменений, но подверженных атмосферным воздействиям. Закрытые склады – это здания и другие хранилища, полностью защищающие содержимое от атмосферных

воздействий.



Рис 3.1.1. Виды складов по характеру устройства:
а – закрытый; б – открытый; в – полузакрытый.

Организация работ на складах предусматривает

- приемку,
- размещение,
- хранение,
- подготовку к выдаче,
- выдачу веществ и материалов,
- учет движения веществ и материалов.

Руководство центральным **складом** осуществляет заведующий складом. В его ведении находятся заведующие секциями, старшие кладовщики (если склад большой) или кладовщики, работающие посменно, а также бригады складских рабочих, занимающихся перемещением и обработкой грузов. Заведующий складом осуществляет руководство приемкой, размещением, хранением, подготовкой к отпуску материальных ценностей, закрепленных за данным складом. В его обязанности входят организация труда работников склада, создание условий для высокопроизводительного труда, обеспечение наименьших затрат, связанных с производством складских операций.

Завоз на склад производится по планам. Поступившие материалы подвергаются количественной и качественной приемке в соответствии с сопроводительными документами (накладными, сертификатами и др.) и техническими условиями. В случае недостачи или отсутствия качества у веществ и материалов составляются **акты**.

При **размещении и хранении** материалов должны обеспечиваться сохранность материалов, максимальное использование площадей, а также удобство выполнения приемно-отпускных и учетных операций. Организация **отпуска материалов** предусматривает подготовку их к производственному потреблению, то есть расфасовку, упаковку, комплектование и т.д. Это обеспечивает экономию материалов и контроль их использования.



Рис.3.1.2. Открытые и закрытые самосвалы для доставки твердых и сыпучих материалов.

Основанием для отпуска материалов со складов являются соответствующие **документы**. По массовым видам сырья и топлива требование оформляется на основе данных о расходе, фиксируемых в журналах и отчетах. Доставка веществ и материалов в цехи производится самими цехами (пассивная форма) или складами по графику (активная форма).

Инвентаризация материальных ценностей на складах производится систематически. Совершенствование организации работы складов осуществляется в направлении централизации обслуживания цехов, внедрения контейнеров, а также **средств механизации и автоматизации**.

Централизованная система обеспечения цехов материальными ресурсами предусматривает составление графиков снабжения цехов и потребителей, которые передаются складам и диспетчерской службе предприятия. Транспортная экспедиция в составе бригад грузчиков, используя транспортные средства и погрузочно-разгрузочные механизмы, обеспечивает передачу веществ и материалов для каждого цеха по графику или потребителю. Соответствующие склады своевременно подготавливают материалы к отгрузке, а диспетчерская служба следит за соблюдением графика поставки.

Работа складов характеризуется следующими **показателями**, по которым следует судить об их эффективности:

- выполнение плана завоза материальных ресурсов по количеству, качеству, номенклатуре;
- размер расходов по доставке материалов на склад;
- расходы по хранению и выдаче в производство материальных ресурсов всего и на n -ую сумму готовой продукции;
- расходы по содержанию склада;
- отсутствие перебоев в снабжении производства и потребителя;
- своевременность заключения договоров на поставку продукции;
- соблюдение лимитов материальных затрат и общая экономия материальных ресурсов.

На предприятиях химической промышленности складское хозяйство является важным звеном в общем комплексе вспомогательных служб, которое должно обеспечивать сохранность сырья, материалов, топлива и других материальных ресурсов.

Особенности организации складского хозяйства на химических предприятиях обусловлены специфическими свойствами и агрегатным состоянием химических материалов и сырья, хранящихся на складах: агрессивностью, токсичностью, а также огне- и взрывоопасностью. Многие химические вещества вступают в реакцию друг с другом.

В химических производствах образуется большое количество используемых и неиспользуемых **отходов**, которые нередко обладают вредными свойствами и для хранения которых также требуются складские площади.

Специфику организации складирования химических продуктов в значительной мере определяют их физико-химические свойства:

- плотность,
- температура кристаллизации (замерзания),
- температура воспламенения,
- гигроскопичность и др.

Так, плотность некоторых химических жидкостей влияет на выбор высоты резервуаров в связи с выбором системы для сливных устройств.

Способы хранения некоторых химических жидкостей зависят и от температуры замерзания. Например, в закрытых и отапливаемых складских помещениях должны храниться те химические жидкости, температура замерзания которых близка к нулю (органические кислоты, олеум, ледяная уксусная кислота и др.). С другой стороны, большинство минеральных кислот средней концентрации – серная (башенная), соляная и азотная, а также растворы некоторых солей, практически не замерзают в наземных цистернах и баках.

Складирование некоторых химических веществ, характеризующихся повышенной гигроскопичностью (например, аминопластов), также сопряжено с определенными особенностями.



Рис.3.1.3. Автоцистерны для перевозки опасных грузов

Особых мер предосторожности требует организация складирования ядовитых и радиоактивных веществ. Порядок перевозки, устройства хранилищ и условия хранения этих веществ предусмотрены государственными постановлениями.

Необходимо соблюдение особых условий:

- прочность и надежность применяемой тары;
- механизация транспортировки на заводской территории различных химических продуктов;
- механизация разлива агрессивных жидкостей в цехах и на складах;
- использование трубопроводов для транспортировки газов и жидкостей;
- строгое соблюдение правил совместного хранения огнеопасных и взрывоопасных веществ;
- строгое соблюдение рабочими складов правил безопасности работы и противопожарной безопасности;
- сооружение складов и резервуаров в полном соответствии с действующими правилами и нормами.

Помимо осуществления непосредственной функции хранения материальных ценностей работники складов должны обеспечивать своевременную выгрузку материалов, чтобы не вызывать излишнего простоя железнодорожного и автомобильного транспорта, не допускать потерь химических продуктов при разгрузочных работах.

С помощью технического контроля и лабораторного анализа работники складов проводят проверку качества материальных ценностей, их количества, номенклатуры, ассортимента; своевременно оформляют соответствующие складские документы. Хранение материалов должно быть организовано таким образом, чтобы не происходило их порчи и снижения качества.

Снабжение производственных цехов химических предприятий сырьем и материалами осуществляется без перегрузки его на центральные склады. Отправление готовой продукции потребителям осуществляется через цеховые склады. Это повышает роль работников цеховых складов, так как своевременная отгрузка продукции заказчикам обеспечивает выполнение предприятием плана поставок.

В отдельных случаях цеховые склады, выполняя функцию хранения готовой продукции, служат также как бы для *продолжения технологического процесса*. Например, простой суперфосфат, поступая на хранение, проходит стадию созревания на складах в течение 16-18 часов. Только после этого удобрения отправляют потребителям. Как правило, такие склады размещаются около или

внутри выпускающих цехов (к ним должны быть подведены пути внешнего транспорта).

Размещение складов на производственной площадке должно обеспечивать *наименьший пробег грузов*. Местонахождение каждого склада должно быть увязано с размещением цехов и служб на производственной площадке, а также с расположением транспортных путей. Склады должны находиться на путях главных грузопотоков и при этом расположены ближе всего к основным цехам-потребителям или к поставщику. При размещении складов на производственной площадке необходимо учитывать свойства отдельных химических материалов.

В основу разработки плана деятельности складов на химических предприятиях принимается их **годовой план**. По цеховым складам работа планируется в системе общих показателей хозяйственной деятельности отдельных цехов.

Планирование технико-экономических показателей работы складов, в свою очередь, требует тщательного анализа их выполнения. **Анализу** подлежат:

- размеры годового грузооборота складов;
- скорость складского оборота материалов;
- использование складских площадей;
- использование подъемно-транспортного оборудования складов и степень механизации складских работ;
- себестоимость складской переработки единицы хранящихся материалов;
- производительность труда работников склада;
- обеспечение сохранности материалов на складе;
- обеспечение бесперебойности снабжения потребителей материалами;
- сокращение простоя автомобильного и железнодорожного транспорта.



Рис.3.1.4. Железнодорожные цистерны для перевозки жидкостей

Годовой оборот материалов (грузооборот склада), проходящих через склад, определяется по поступлению и отпуску материальных ценностей, исходя из утвержденных фондов предприятия. Размер грузооборота склада характеризует объем работы и общую трудоемкость этой работы.

Грузооборотом называется общая масса грузов, транспортируемых на предприятии за определенный период (сутки, месяц, год).

Объем грузов, перемещаемых в определенном направлении между пунктом погрузки и выгрузки или через данный пункт за отдельный период времени, называется **грузопотоком**.

Размеры (мощность) грузопотоков определяются на основе объемов производства и норм расхода материалов с учетом условий производства. Различают **внешние** (отправления и прибытия) и **внутренние** (межцеховые, внутрицеховые) грузопотоки и грузообороты.

Комплексная технология производственного процесса предусматривает организацию и механизацию всех без исключения работ, осуществляемых на предприятии, начиная от поступления сырья и кончая отгрузкой готовой продукции. Комплексная технология соединяет воедино все звенья основного и вспомогательного производства и делает их равнозначными элементами, которые берутся под технологический контроль.

3.2 Оборудование складов

Процесс изготовления продукции на предприятиях различного типа сопровождается перемещением большого количества разнообразных грузов: сырья, материалов, полуфабрикатов, топлива, готовой продукции, отходов.

В течение производственного цикла все эти грузы подвергаются многочисленным перемещениям и погрузочно-разгрузочным операциям, многократно увеличивающим объем транспортных работ. Это обуславливает большие затраты на транспортные работы, которые составляют до 10–30% косвенных расходов в себестоимости продукции, а численность транспортников может достигать до 12% общего числа рабочих.

Транспортные средства – неотъемлемая часть складского хозяйства.

Таким образом, транспортное хозяйство предприятия должно решать следующие **задачи**:

- своевременное обеспечение производства всеми видами транспортных средств и услуг;
- рациональная организация эксплуатации транспортных средств и подъемных механизмов при минимальных затратах на транспортирование;

- развитие технической базы и механизация всех трудоемких транспортных процессов.

Структура транспортного хозяйства определяется главным образом объемом грузооборота, особенностями грузов и объемом производства. В **состав транспортного хозяйства** завода могут входить:



- железнодорожный транспорт с подъездными путями и депо;
- колесный транспорт с гаражами и ремонтными мастерскими;
- водный транспорт с причалами;
- подвесные дороги и т.д.

Рис.3.2.1 Грузовая канатная дорога

На крупных заводах с большим грузооборотом, требующим применения всех видов транспорта, организуются специализированные цехи железнодорожного, безрельсового (автомобильного) и водного транспорта.

Складские помещения оснащаются **стеллажами, подъемно-транспортным, весовым** и другим оборудованием. Средства оснащения должны обеспечивать условия хранения материалов, удобство выполнения складских работ и увеличение вместимости складов.

В настоящее время используются механизированные и автоматизированные склады, на которых продукция в унифицированной таре помещается автоматическими штабелёрами в свободные ячейки высотных стеллажей или выдаются со склада по команде компьютера. Информация об уровнях запаса продукции также получается с помощью компьютеров.



На химических предприятиях такой способ можно применять в том случае, если мелкие штучные грузы формируются как удобные в обращении тарно-упаковочные единицы (места). Но на химических предприятиях конструктивная высота таких складов составляет порядка 10 м, так что на таких

складах для погрузки и выгрузки вполне могут использоваться вилочные погрузчики, а не ричтраки.

Рис. 3.2.2. Ричтак (высотный штабелер)
– одна из наиболее производительных
внутрискладских машин

Для того, чтобы вилочный погрузчик легко мог захватить груз, штучные грузы укладывают на поддоны.



Рис.3.2.3. Использование поддонов на складе

На предприятиях используют различные **виды транспортных средств**:

- **по сфере обслуживания** – средства межцехового и внутрицехового транспорта;
- в зависимости от **назначения и места действия** – внешний (железнодорожный, автомобильный) и внутренний;
- в зависимости от **места перемещения грузов** – напольный (тележки, электрокары, аккумуляторные тягачи и т.п.) и подвесной (электротали, конвейеры, кран-балки);
- в зависимости от **режима работы** – транспортные средства непрерывного (конвейерные системы и т.п.) и периодического действия (автомшины, самоходные тележки и т.п.);
- по **направлениям движения** – транспортные средства для горизонтального (транспортеры, рольганги), вертикального (лифты, элеваторы и т.п.) и смешанного перемещения (краны, канатные и монорельсовые дороги);
- по **уровню автоматизации** – автоматические, механизированные, ручные;
- по **виду перемещаемых грузов** – транспортные средства для перемещения сыпучих, наливных и штучных грузов.

Способ транспортировки грузов может быть тарный и бестарный.

Тарный способ предусматривает транспортировку грузов в специальной таре (контейнеры, ящики, бутылки и т.п.). Он обеспечивает хорошую сохранность груза, позволяет сократить время на погрузку и разгрузку, упрощает учет грузов в случае использования мерной тары.

Бестарный способ применяется для навалочных, штучных, жидких грузов и при пневмотранспортировке. Этот способ не трудоемок, не требует затрат на тару и упаковку груза и может использоваться в том случае, когда не возникает опасений за повреждение продукции и снижение ее качества. Бестарный способ требует больших затрат на изготовление и монтаж транспортных устройств, но позволяет достичь высокой степени механизации и автоматизации операций транспортировки.



Рис.3.2.4. Использование погрузчика на складе

Железнодорожный транспорт (мото- и тепловозы, вагоны, платформы, цистерны, специальные вагоны) обладает высокой провозной способностью и пригодностью для перевозки различных грузов. Использование его наиболее целесообразно для внешних перевозок.

Безрельсовый транспорт (автомобили, тракторы, прицепы, мотороллеры) применяется для внешних и внутренних (межцеховых, внутрицеховых) перевозок. В качестве транспортных средств безрельсового транспорта применяются автомобили (в том числе тягачи с прицепами), авто- и электрокары, автопогрузчики.

Автомобильный транспорт самый распространенный, но его целесообразнее использовать для внешних перевозок в целях большей загрузки и использования скорости. Остальной транспорт данного вида под названием напольно-тележечный широко используется для межцеховых и внутрицеховых перевозок. Малые габариты и маневренность тележек позволяет осуществлять подачу грузов на рабочие места.

Водный транспорт (буксиры, катера, баржи) используется для перевозки главным образом топлива, формовочных, строительных материалов.

Механический транспорт используется для внутрицеховых, межоперационных перевозок, иногда межцеховых. В качестве средств механического транспорта применяются мостовые краны, монорельсовые пути, подвесные пути, лифты, подъемники, конвейеры и т.д.



Рис.3.2.5. Конвейер

Наиболее перспективным и экономичным видом транспорта являются подвесные толкающие конвейеры с автоматическим адресованием грузов. В сочетании с пакетированием и контейнеризацией грузов такие конвейеры сводят до минимума количество перегрузок.

Кроме транспортных средств заводы располагают большой номенклатурой **погрузочно-разгрузочных и подъемно-транспортных механизмов** (механические лопаты, полиспасты, тали, домкраты, лебедки и т.п.). Эти простейшие устройства механизмируют самые трудоемкие транспортные работы, обычно выполняемые грузчиками.

Характер транспортных средств должен соответствовать техническим и организационным особенностям обслуживаемого производства. Это достигается разработкой и внедрением технологии транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ как составного элемента комплексной технологии производственного процесса в целом.

По характеру выполняемых работ на химических предприятиях транспорт подразделяется на: внешний, межцеховой и внутрицеховой.

Межцеховой транспорт обеспечивает перевозки различных грузов, а также полуфабрикатов и отходов производства внутри предприятия: цех – цех, склад – цех, цех – склад.

Внутрицеховой транспорт обеспечивает перемещение грузов внутри цехов, в нем можно выделить еще и межоперационный.

Межоперационный транспорт перемещает грузы (компоненты, полуфабрикаты, комплектующие изделия и др.) в последовательности и ритме технологического процесса между рабочими местами. Для этих целей используются в основном такие разновидности транспортных средств, как **транспортёры** различных видов, **шнеки**, **пневмотранспорт**,

трубопроводы. Эти виды межоперационного транспорта во многих случаях являются частью технологического оборудования, причем насосы, компрессоры, вакуум - установки, включенные в систему трубопроводов, агрегируются с технологической аппаратурой.

Специфика химических производств, многотоннажность, высокая материалоемкость, наличие агрессивных сред, характер сырья и материалов, готовой продукции оказывают влияние на *особенности применяемых транспортных средств*. Так, сырье для азотных и нефтехимических предприятий – природный газ и нефть – подаются **трубопроводами**.

Химические продукты за пределы предприятия транспортируются, как правило, в специализированных **вагонах** или **цистернах**, что обеспечивает их полную сохранность в количественном и качественном отношении, а также предохраняет окружающую среду от загрязнения.

На химических предприятиях широко используются (в виде внутрицехового транспорта) **ленточные конвейеры** (транспортировка угля, серы, колчедана, сульфата натрия, извести и т.д.). По мере перевода химических производств на режим непрерывного действия на предприятиях все шире и шире используется транспорт непрерывного действия (трубопроводный и пневматический, элеваторы и различные виды транспортеров). При этом ликвидируются непроизводительные простои, сокращается потребность в рабочей силе.

Виды оборудования и особенности их устройства в зависимости от агрегатного состояния хранящихся в них веществ будут рассмотрены в следующих подтемах.

3.3 Хранение газов

Способы хранения газов и сосуды для хранения газов зависят от вида газа, его объема и давления.

Сосуд – это изделие (устройство), имеющее внутреннюю полость, предназначенную для проведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ.

Резервуар – емкость для хранения жидкостей и газов. Широко распространены металлические и железобетонные резервуары. В зависимости от назначения и вида хранимого вещества резервуары покрывают слоем тепло- и/или гидроизоляции, а их внутренние стенки облицовывают (например, кислотоупорными материалами).

Газгольдер – резервуар для приема, хранения и выдачи газа в установки по его переработке. Газгольдеры предназначены для хранения газов на металлургических, коксохимических и газовых заводах, в химической и нефтяной промышленности, в городском хозяйстве.

В зависимости от давления делят на газгольдеры высокого и низкого давления.



Рис.3.3.1. Газгольдер

Газгольдеры высокого давления

Небольшие объемы газа могут помещаться в стальные баллоны цилиндрической формы с давлением наполнения 200 бар. Они обладают емкостью 50 л и при нормальных условиях (0 °С; 1,013 бар) содержат около 10 м³ газа. Такие баллоны сжатого газа удобны в обращении, легки в перевозке и всегда доступны. Рабочее давление в них устанавливается посредством редукционного клапана. Стальной баллон сжатого газа снабжается специальной маркировкой и (или) ярлыком с предупреждением об опасности, а также покрытием соответствующего цвета.

Цветовые коды в зависимости от свойств газа:

- Желтый ядовитый и (или) коррозионноактивный газ;
- Голубой газ окисляющего действия;
- Красный горючий газ
- Зеленый инертный газ (без окисляющего действия).

Цветная маркировка специальных газов:

- Кислород белый;
- углекислый газ серый;
- ацетилен каштановый;
- азот черный;
- гелий коричневый.

В одном помещении или складской секции строения **не складироваться** баллоны с горючим газом вместе с кислородными баллонами, за исключением случая, если для работы устройства необходим как горючий газ, так и кислород.

Кислородный баллон не должен соприкасаться с жиром, маслом или другой горючей жидкостью.

К газгольдерам высокого давления можно отнести горизонтально или вертикально расположенные стальные сосуды цилиндрической формы для хранения средних объемов газа. Они служат, например, в качестве компенсационного буфера в компрессорных установках с резко меняющимся газопотреблением.

Для хранения больших объемов газов широко используются **сосуды сферической формы** из сварных стальных пластин. Такие шаровые резервуары обладают наиболее благоприятной формой для восприятия исходящих от сжатого газа сил, поэтому толщина их стенок вполтину меньше стенок цилиндрических сосудов, рассчитанных на такое же давление. Большие шаровые резервуары для сжатых газов рассчитаны на максимальное давление примерно до 25 бар.

При таких давлениях ряд технических газов находится в жидком состоянии, поскольку их критическая температура выше температуры окружающей среды, а критическое давление составляет всего несколько бар. Например, для пропана критическая температура 96,8 °С, а критическое давление 42,6 бар; для аммиака критическая температура 132,4 °С, а критическое давление 112,6 бар.

Эти так называемые сжиженные газы присутствуют в сосуде высокого давления в виде жидкостей. Так как в жидком состоянии они занимают гораздо меньший объем, то в одном газгольдере можно хранить большие объемы газов.



Рис.3.3.2. Шаровой резервуар.

Сферические одностенные резервуары служат для хранения под давлением топливных газов и легкоиспаряющихся веществ. В зависимости от выполняемой функции сферические резервуары будут отличаться вместимостью и рабочим давлением. Резервуары, предназначенные для хранения топливных газов, имеют, как правило, большой диаметр, а рабочее давление не превышает в них обычно 1 МПа.

Резервуары для легко испаряющихся веществ имеют меньшие диаметры, чаще всего в пределах 10...18 м, однако они проектируются на гораздо большее эксплуатационное давление, достигающее до 4 МПа.

Кроме одностенных резервуаров сооружаются также **двустенные сферические резервуары**. Они предназначены для хранения сжиженных газов при обычном давлении, но при пониженной температуре, достигающей до 0 К при хранении сжиженного гелия или водорода. Эти резервуары состоят из двух концентрических сферических оболочек, отличающихся диаметром в пределах 2 м. Внутренняя оболочка является емкостью для хранения продуктов, а внешняя оболочка обеспечивает защиту изоляции и дает возможность создать требуемое незначительное избыточное давление в изолирующем пространстве.

Газгольдеры высокого давления снабжают фирменной **табличкой**, содержащей следующую информацию:

- изготовитель,
- год выпуска,
- заводской номер,
- допустимое избыточное рабочее давление,
- рабочая температура,
- объем.

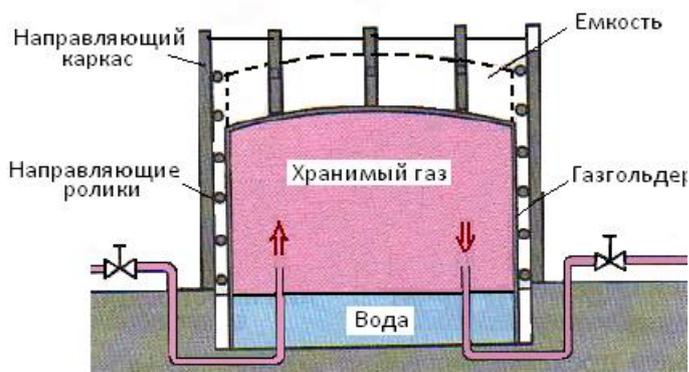
Каждый такой резервуар оснащен манометром, показывающим рабочее давление, и красной маркировкой с указанием допустимого избыточного рабочего давления. Кроме того, он должен иметь предохранительный клапан и предохранительную мембрану.

Резервуары со сжатым горючим газом должны храниться в специальной защитной зоне, в которой абсолютно исключаются очаги воспламенения.

Газгольдеры низкого давления

Газгольдеры переменного объема могут быть мокрые и сухие, давление газа в них не превышает 0,005 МПа (то есть это газгольдеры низкого давления).

Мокрые газгольдеры имеют вместимость 100 м³...32000 м³. Мокрые газгольдеры состоят из стоящего в водяном бассейне открытого книзу стального цилиндра. Снизу газовая камера уплотнена водой. Когда газ накачивается в резервуар, тот приподнимается с дна водяного бассейна. Своим весом он давит на хранимый газ, обеспечивая его сжатие. Резервуар может подниматься



максимум на уровень воды в бассейне. Увеличенная газовая камера соответствует емкости хранилища. Более значительную емкость хранилища создают шаровые резервуары с несколькими телескопически входящими друг в друга сосудами.

Рис.3.3.3. Мокрый газгольдер

Сухие газгольдеры вместимостью $10 \text{ м}^3 \dots 100000 \text{ м}^3$ представляют собой цилиндр с плоским дном. Внутри газгольдера перемещается диск (поршень), плотно прилегающий к внутренней поверхности цилиндра и делящий пространство резервуара на две камеры. Диск направляется роликами и обеспечивает газонепроницаемое уплотнение относительно стенки резервуара посредством жидкотекучего битума, запирающего зазор между диском и стенкой в уплотнительной канавке.

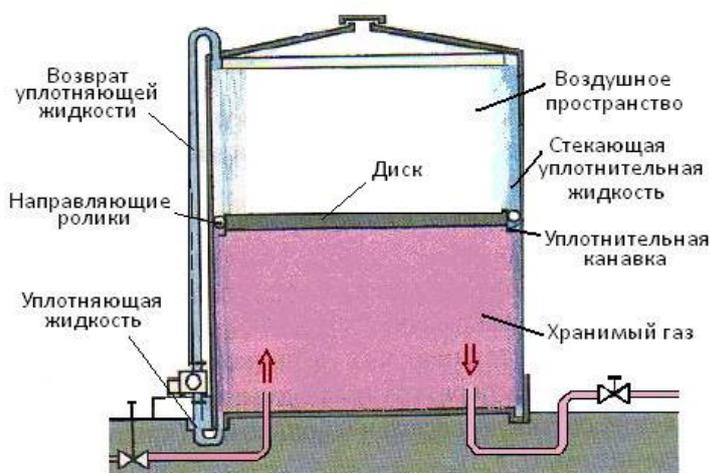


Рис.3.3.4. Сухой газгольдер

Битум подается сверху по периметру на внутреннюю стенку, собирается в уплотнительной канавке, образуя гидравлический затвор, и соскальзывает затем дальше вниз, где он улавливается и вновь подкачивается к крышке резервуара. Диск своим весом давит на хранимый газ, создавая необходимое для транспортировки газа давление. При закачивании газа в резервуар диск поднимается, при опорожнении емкости – опускается вниз.

Мягкий резервуар для хранения газа используется для хранения азота, водорода, аргона и природного газа, а также легко воспламеняющихся газов, таких как ацетилен.



Рис.3.3.5. Мягкий резервуар для хранения газа

Мягкий резервуар для хранения газа широко используется в промышленном хранении газа, особенно в хранении газа низкого давления объемом от 2 м^3 до 400 м^3 .

3.4 Хранение жидкостей

Жидкости для химической промышленности хранятся преимущественно в закрытых емкостях. Материалы, из которых изготовлены такие емкости, должны обладать стойкостью к действию содержащихся в них жидкостей и, в свою очередь, не загрязнять их.

Небольшие объемы жидкостей (примерно до 100 литров) могут содержаться в пластиковых баллонах или (в случае жидкостей с высокой агрессивностью) в оплетенных стеклянных бутылках.

Средние объемы (до нескольких десятков тысяч литров) хранятся в цистернах из армированной стекловолокном пластмассы или стали.

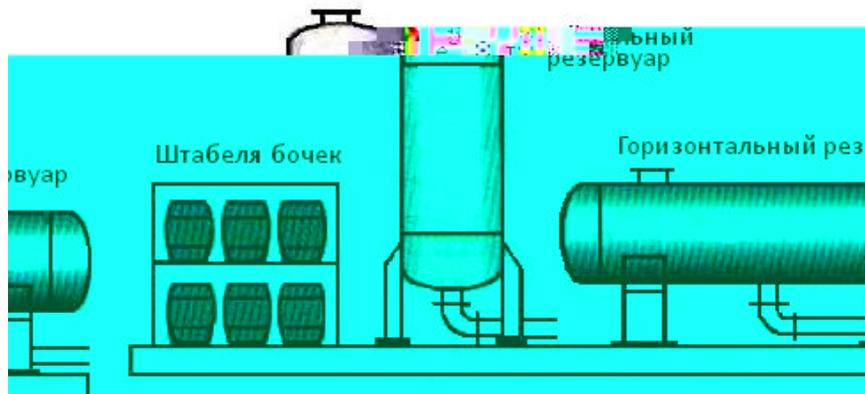


Рис.3.4.1. Резервуары для хранения жидкостей: бочки, цилиндрические танки

Баки с горючими жидкостями должны храниться на безопасном расстоянии от ближайших строений или даже под землей.



На рис. 3.4.2. показана кубическая емкость (1000 литров) на деревянном **поддоне**, предназначенная для транспортировки и хранения жидких химических продуктов, в том числе изопропилового спирта, кислот, щелочей, уксусной кислоты и др.

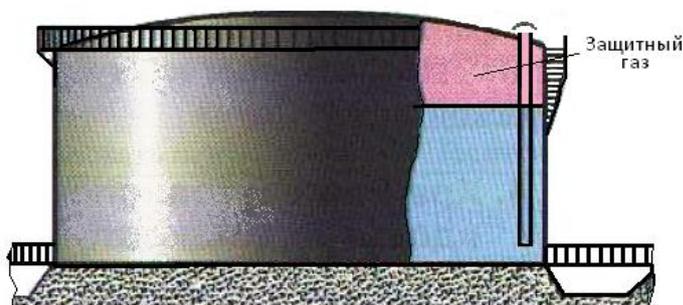
Рис.3.4.2. Кубическая емкость на деревянном поддоне

В резервуарных парках для хранения **очень больших объемов** жидкостей (до нескольких десятков тысяч кубометров) баки имеют форму усеченного цилиндра или шара.

Резервуары **вертикальные стальные** являются наиболее распространенными хранилищами для жидкостей. Они по внутреннему давлению подразделяются на резервуары:

- **без давления** (с понтоном, плавающей крышкой и др.),
- **низкого давления** (2 кПа или вакуум 250 Па),
- **повышенного давления** (70 кПа или вакуум до 1 кПа).

Резервуар покоится на основании, состоящем из надежно уплотненного грунта и песчаной подушки, поверх которой нанесен слой изоляции для предохранения дна от коррозии. Основания резервуаров для хранения токсичных веществ покрывают бетоном. Резервуары могут иметь коническую, сферическую и сфероидальную форму покрытий. Некоторые резервуары снабжены



неподвижной выпуклой крышкой. Пространство между поверхностью жидкости и крышкой заполнено или воздухом, или (в случае взрывоопасных жидкостей) защитным газом, например, азотом.

Рис.3.4.3. Резервуар с неподвижной крышкой

Вертикальные резервуары могут изготавливаться **с плавающей крышкой** или **понтонем**. Плавающая крышка, находящаяся внутри резервуара на поверхности жидкости, предназначена для сокращения потерь ее от испарения и исключения возможности возникновения взрыва и пожара.

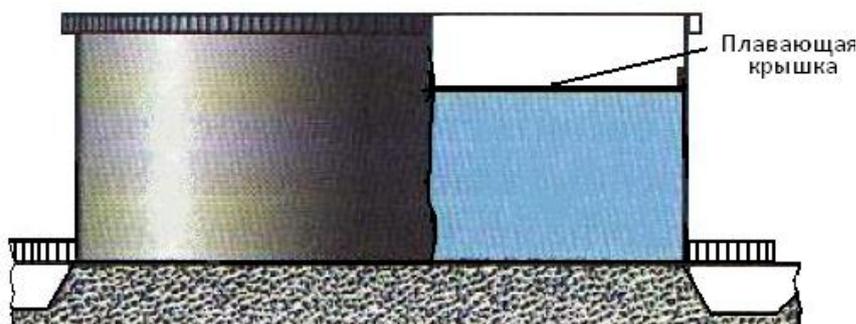


Рис 3.4.4. Резервуар с плавающей крышкой

Для того, чтобы предотвратить повышение давления или вакуума сверх допустимых значений, на крышках резервуаров устанавливают **грузовые дыхательные клапаны**. Предусматривается также установка предохранительных клапанов с **разрывной мембраной**, предотвращающей повышение давления или вакуума выше допустимых значений при отказе дыхательных клапанов.

В комплекте с дыхательными и предохранительными клапанами на резервуарах устанавливают **огнепреградители**, закрывающие доступ в резервуар извне пламени или искрам.

Резервуары с плавающими и неподвижными крышками пригодны для хранения жидкостей с низкой упругостью паров.

Сферические резервуары используются для хранения жидкостей с высокой упругостью паров или для сжиженных газов. Сферическая форма более всего подходит для восприятия усилий сжатия упругости паров.

Они могут работать при давлении до 25 кПа и вакууме до 980 Па. Эти резервуары снабжены кольцами жесткости, опоясывающими резервуар на расчетных расстояниях друг от друга.

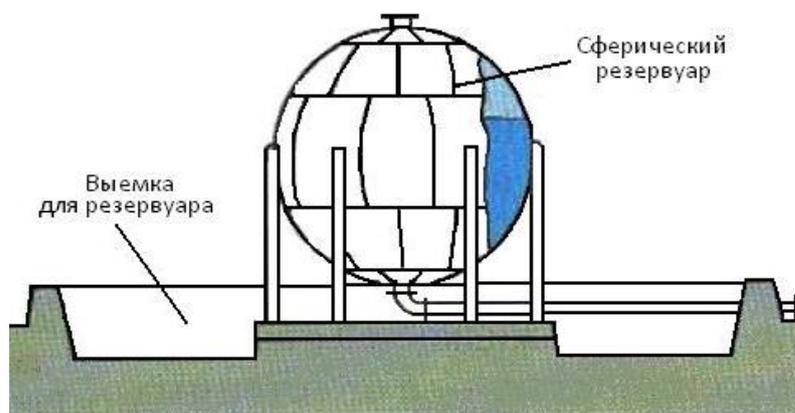


Рис.3.4.5. Резервуар для хранения жидкостей сферический

Условия хранения кислот и щелочей выбираются в зависимости от их физико-химических свойств. Запрещается хранение кислот и щелочей в подвалах, полуподвальных помещениях и верхних этажах зданий. На складе для хранения кислот должны быть установлены емкости для хранения необходимого количества извести, соды для нейтрализации случайно разлитых жидкостей, а также песка для их сбора.

Легковоспламеняющиеся и горючие жидкие вещества (бензин, ацетон, керосин, масла органические и др.) надлежит хранить с соблюдением требований пожарной безопасности в помещениях с несгораемыми конструкциями или в помещениях, заглубленных в землю, оборудованных вентиляцией.

3.5 Хранение твердых веществ

Простейшим способом хранения сыпучих грузов является отвал – производимая без всяких ограничений насыпка под открытым небом. И все же даже открытые места хранения в большинстве случаев снабжаются бетонным основанием и хотя бы невысоким ограждением; кроме того, там могут находиться те или иные погрузочно-разгрузочные механизмы.

Крутизна отвала определяется так называемым углом естественного откоса. Под ним понимается угол, образуемый отвалом при свободной отсыпке. Поскольку угол естественного откоса может изменяться (например, из-за дождя), то у основания крутых отвалов не исключена опасность осыпания.

В местах хранения открытым способом можно складировать лишь материалы, способные выдерживать любые атмосферные воздействия (руда, уголь, гравий, песок).

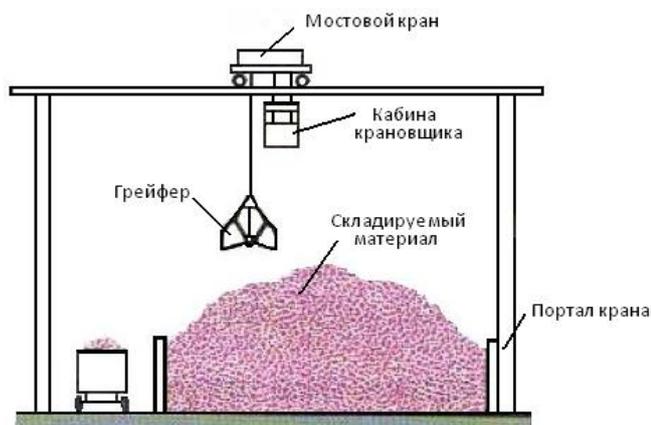


Рис.3.5.1. Открытое хранилище сыпучих материалов.

Закрытые склады – это складские помещения, в которых хранимый материал защищен от атмосферных воздействий (дождя, снега, мороза) и солнечных лучей. Также и температура в этих помещениях подвержена лишь незначительным колебаниям, так что в таких условиях можно хранить даже такие навалочные грузы, как удобрения или соли.

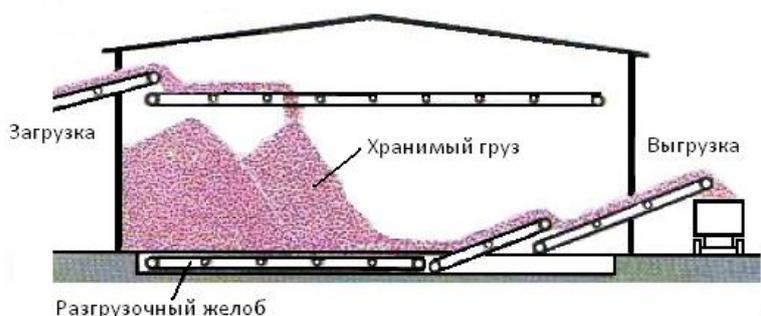


Рис.3.5.2. Закрытый склад сыпучих материалов.

Загрузка материалов в эти склады осуществляется с помощью высоко расположенных подающих ленточных конвейеров, а выгрузка – посредством смонтированных под полом транспортеров и ковшовых погрузчиков.

Многие продукты химического производства выпускаются в форме гранул, порошков или таблеток. Пластиковые гранулы и порошки хранятся в высоких и узких **силосах** с пневматической загрузкой. Удобрения по ленточному транспортеру загружаются в большие **бункеры** или складываются **насыпью**.

Бункеры и силосы — сооружения, предназначенные для хранения руды, угля, кокса, известняка, гравия, песка, цемента, цементного шлама и др.

Бункер — это хранилище в виде оболочки или коробки с воронкой внизу. Высота его не превышает полуторного наибольшего поперечного размера. Более высокие хранилища называются **силосами**. Бункеры делают с плоскими стенками, параболические и круглые.

Бункеры и силосы загружают через отверстие в верхней части, а разгрузка происходит под действием собственной массы материалов через выпускные отверстия. Бункеры для хранения твердых кусковых материалов с внутренней стороны футеруют листовой сталью, чтобы предохранить их от истирания и образования вмятин.

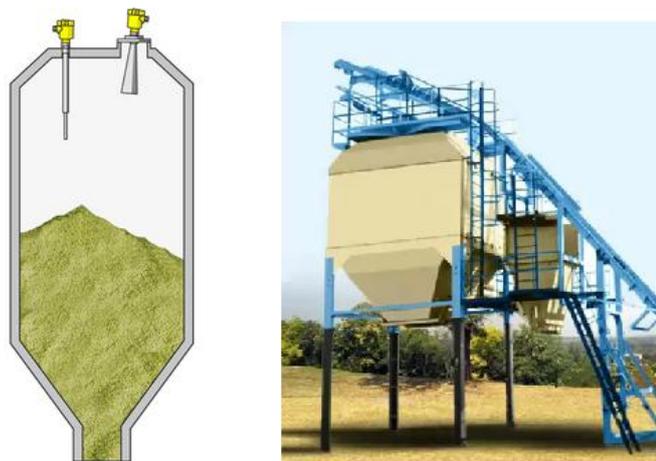


Рис.2.5.3. Бункеры для хранения сыпучих веществ

Бункеры с плоскими стенками состоят из верхней призматической части и нижней — пирамидальной. Такие бункеры опираются на балки перекрытия или колонны и имеют размеры до 12 м по длине и ширине и до 8 м по высоте при вместимости до 500 м³. Достоинства бункеров с плоскими стенками: простота их изготовления, удобство крепления к конструкциям зданий и лучшее использование площади, чем в круглых бункерах.

Различают три основных видов штучных грузов сыпучих продуктов в зависимости от **вида упаковки**:

- мешки,
- «БИГ-БЭГ» (мягкие контейнеры из полимерных материалов),
- мелкая фасовка (пакеты).

Мешки являются преимущественно транспортной упаковкой, вместимость которых (10-50 кг) ограничена физическими возможностями человека.

Специализированный контейнер FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container), мягкий контейнер, массой от 500 кг до 2 000 кг, называемый «БИГ-БЭГ», предназначен для хранения и транспортировки сыпучих материалов и используются в химической промышленности как тара разового употребления.

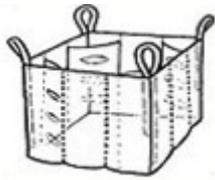
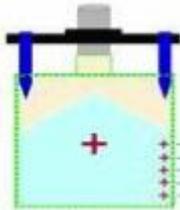
БИГ-БЭГ — это мешок большого размера и грузоподъемности, имеющий стропы. Мягкий контейнер производится из полипропиленовой ткани. Для большей защиты от влаги полипропиленовая ткань может быть ламинирована и/или содержать полиэтиленовый вкладыш. Стандартный размер биг-бэга — 90x90 см, высота — от 90 см до 200 см. Грузоподъемность биг-бэга в среднем составляет 1000 кг. Мягкий контейнер может иметь от одной до четырех строп, различные опции для облегчения погрузки и выгрузки (верхний и нижний клапан, фартук, раскрывающееся дно). Пыленепроницаемые швы для перевозки порошковых грузов обеспечивают герметичность. На мешки легко наносится цветной логотип.



Рис.3.5.4 Полипропиленовый БИГ-БЭГ

Преимущества БИГ-БЭГа: удобный в эксплуатации, прочный, и в то же время гибкий, наличие различных размеров, легкий и удобный в хранении, легко утилизируется.

Таблица 3.5.1. Модели БИГ-БЭГов

Биг - бэг "Форма"	Биб - бэг «ООН» (UN Bag)	Токопроводящий биг – бэг (Type C)	Биг – бэг антистатический (Type D)
			
<ul style="list-style-type: none"> • Эффективное использование полезного объема, • Увеличение объема перевозимого продукта на 30% • Хорошая жесткость формы (формоустойчивость) 	<p>Для перевозки опасных грузов 2 и 3 класса опасности. Подлежит специальной маркировке согласно регламентам по перевозке опасных грузов.</p>	<p>Изготавливается из токопроводящего полотна с вплетенными проводящими нитями. Имеет заземляющие элементы.</p>	<p>Имеет специальные покрытия и конструкцию для рассеивания статического электричества. Не должен быть заземлен, что снимает риск взрыва.</p>

Вкладыш биг-бега служит для дополнительной защиты продукта. Вкладыш точно повторяет форму мягкого контейнера и соответствует его внутренним размерам, что упрощает насыпание и высыпание продукта. Вкладыш может **крепиться** следующими способами: свободно вложенный, клеенный, вшитый.

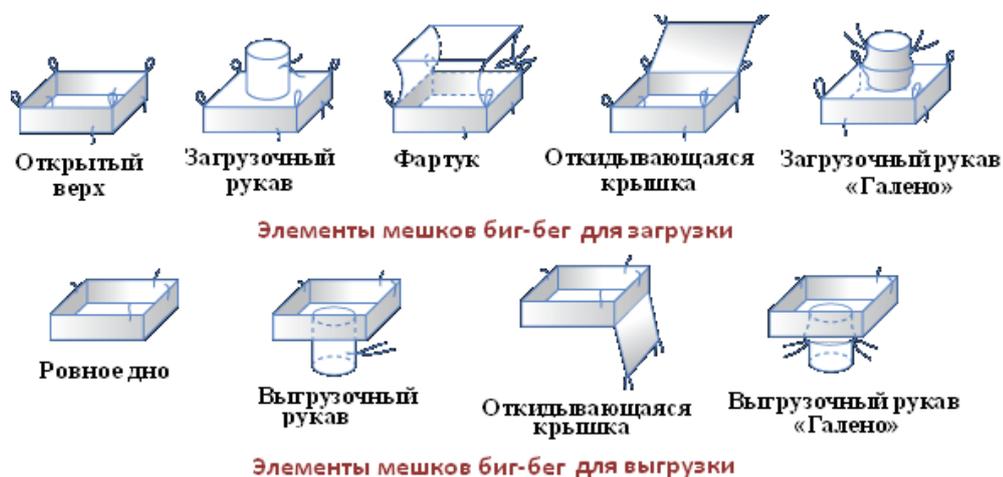


Рис.3.5.5. Элементы загрузки и выгрузки биг-бегов

Хранение сыпучих химических веществ должно производиться в закрытых, защищенных от ветра складских зданиях. Подачу и разгрузку необходимо осуществлять механизированным способом.

3.6 Требования к учету, упаковке и маркировке опасных химикатов

Ведение учета опасного химиката

На складе ведется учет находящихся в обращении опасных химикатов в течение всего времени обращения, если химикат хранится на складе вне транспортного средства более 24 часов.

На складе назначается лицо, ответственное за ведение учета опасных химикатов. Учет ведется так, что можно сразу получить информацию об опасных химикатах, находящихся на складе.

При ведении учета опасных химикатов указывается:

- 1) наименование опасного химиката;
- 2) время приема опасного химиката и полученное количество;
- 3) время передачи опасного химиката в обращение и количество;
- 4) время передачи опасного химиката как отхода (в место обращения отходов) и количество;
- 5) в случае запрещенного химиката или химиката со строго ограниченным обращением - регистрационный номер информационного листа и сферы обращения.

Об опасных химикатах, подлежащих учету, в учетной единице составляется **ежегодный отчет** об обращении опасных химикатов.

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- 1) наименование опасного химиката;
- 2) состояние склада на начало и конец отчетного периода;
- 3) количества опасных химикатов, полученные в течение отчетного периода;
- 4) количество, переданное в обращение отходов.

В случае запрещенного химиката или химиката со строго ограниченным обращением в отчете указываются дополнительно **сферы обращения**.

С 1 февраля каждого календарного года отчет об опасных химикатах за предыдущий год должен быть доступен чиновникам надзора по их требованию. Данные учета опасного химиката должны сохраняться на предприятии, по крайней мере, десять лет.

Карту безопасности представляет лицо, ответственное за сбыт химиката в Эстонии, пользователю химикатов и Центру информации о химикатах. Вносимая в карту безопасности информация должна давать работодателю и лицу, использующему химикат в своей профессиональной деятельности, определить на рабочем месте имеющиеся химические факторы опасности и оценить исходящий от использования химиката риск для здоровья работников и окружающей среды. Это необходимо, чтобы принять соответствующие меры для защиты здоровья, окружающей среды и для обеспечения безопасности.

Информация, требуемая в карте безопасности:

- 1) идентификация химиката и лица, ответственного за сбыт химиката;
- 2) информация о составляющих веществах;
- 3) опасность;
- 4) методы первой помощи;
- 5) методы тушения пожара;
- 6) методы в случае случайного попадания в окружающую среду;
- 7) обращение и хранение;
- 8) управление соприкосновением и индивидуальная защита;
- 9) физические и химические свойства;
- 10) стойкость и реакционная способность;
- 11) информация о токсичности;
- 12) экологическая информация;
- 13) обращение с отходами;
- 14) требования к перевозке;
- 15) обязательная информация на маркировке.

Упаковка опасного химиката. Торговая упаковка опасных химикатов должна отвечать следующим требованиям:

- 1) упаковка и её замок должны быть прочные в случае предусмотренных условий использования химиката;
- 2) упаковка и её замок должны быть из материала, который не реагирует с содержимым упаковки и не образует с ним опасных соединений;
- 3) упаковка с повторным замком должна быть изготовлена так, чтобы упаковку было бы возможно повторно устойчиво к протечкам открывать и закрывать.

Упаковка опасного химиката для розничной торговли не должна:

- 1) своим видом и графическими украшениями возбуждать интерес в детях и сбивать потребителя;
- 2) быть похожей по обозначению и представлению с упаковкой пищи, корма, лекарств или косметических изделий.

Недоступным детям замком безопасности надо снабдить упаковки розничной торговли, которые содержат:

- 1) химикат, классифицированный как очень ядовитый, ядовитый или едкий;
- 2) вредный и при проглатывании вызывающий повреждения легких химикат, для которого определено предложение риска R65 и символ опасности "Xn";
- 3) метанол (CAS № 67-56-1) > 3% и/или дихлорметан (CAS № 75-09-2) > 1%.

Требование недоступного детям замка безопасности не действует для химиката, продаваемого в аэрозольной упаковке. Недоступные детям замки безопасности с повторным использованием должны отвечать требованиям стандарта EVS-EN 28317 и недоступные детям замки безопасности с однократным использованием стандарту EVS-EN 862.

Ясно различимым знаком опасности следует маркировать торговые упаковки, которые содержат химикат, классифицированный как очень ядовитый, ядовитый, едкий, вредный, особо огнеопасный или очень огнеопасный.

Ясно различимым знаком опасности не следует маркировать продаваемый в аэрозольной упаковке химикат, классифицированный как особо огнеопасный или очень огнеопасный, и согласно этому замаркированный.

Ясно различимый знак опасности должен отвечать требованиям стандарта EVS-EN ISO 11683.



Маркировка химиката. На маркировке химиката должны быть представлены следующие данные:

- 1) наименование вещества или препарата;
- 2) номер E (EC №), если вещество есть в перечне EINECS или ELINCS;
- 3) наименования опасных составляющих веществ, содержащихся в препарате;
- 4) символ опасности химиката и словесное изложение опасности;
- 5) предложения риска химиката;
- 6) предложения безопасности химиката;
- 7) данные для идентификации лица, ответственного за сбыт химиката: имя или коммерческое имя и адрес места расположения или место расположения согласно регистру, номер телефона, по возможности адрес e-почты;
- 8) слова “маркировка E” (EC label) в отношении веществ, которые представлены в Постановлении (E) 1272/2008; (№ 44 от 28.05.2009)
- 9) номинальное количество химиката, выраженное в массовых или объемных единицах системы SI (номинальная масса или номинальный объем) – в случае химикатов, продаваемых в розничной продаже.

На маркировке представляется информация о химикате, упакованном для продажи, но не в отношении его различных форм, в каком виде его можно далее использовать (разбавленным или в другом виде).

На маркировке нельзя использовать выражения “не ядовитый”, “не вредный”, “безвредный”, “не загрязняет”, “экологический” или другие такие выражения, которые ссылаются на безопасность вещества или препарата или которые могли бы обусловить недооценку опасности вещества или препарата.

Маркировка наименования составляющих веществ представляется следующим образом:

- 1) в отношении препарата, классифицированного очень ядовитым (“Т+”), ядовитым (“Т”) или вредным (“Хп”) только наименования очень ядовитых, ядовитых или вредных составляющих веществ, если содержание составляющего вещества в препарате больше или равно, чем содержание, на основании которого вещества классифицированы как опасные;
- 2) в отношении препарата, классифицированного как едкий (“С”) только наименования едких веществ, если содержание составляющего вещества в препарате больше или равно, чем содержание, на основании которого вещества классифицированы как раздражающие (“Xi”);

- 3) наименования таких составляющих веществ, на основании которых препарат классифицирован как канцерогенный 1, 2 или 3 категории;
- 4) наименования таких составляющих веществ, на основании которых препарат классифицирован как мутагенный 1, 2 или 3 категории;
- 5) наименования таких составляющих веществ, на основании которых препарат классифицирован как репродуктивно-токсичный 1, 2 или 3 категории;
- 6) наименования таких составляющих веществ, на основании которых препарат классифицирован как сенсibiliзирующий.

На маркировке представляются в общем случае наименования составляющего вещества *не больше чем с четырьмя опасными для здоровья свойствами*, которые являются основой при классификации и маркировке препарата. В виде исключения, для того чтобы на маркировке было бы достаточно информации обо всех опасных свойствах препарата, представляются наименования больше чем четырех составляющих веществ.

Лицо, ответственное за сбыт концентрированных препаратов, предусмотренных для парфюмерной промышленности, может наносить на маркировку таких препаратов только наименование одного вещества с сенсibiliзирующим действием, которое он считает первой причиной этого действия.

Если веществу или препарату приписано больше чем один символ опасности, то:

- 1) при обязательном использовании символа опасности "Т" не являются символы опасности "С" и "Х" на маркировке упаковки обязательными;
- 2) при обязательном использовании символа опасности "С" не является символом опасности "Х" на маркировке обязательным;
- 3) при обязательном использовании символа опасности "Е" не являются символы опасности "F" и "O" на маркировке обязательными;
- 4) при обязательном использовании символа опасности "Xn" не является символом опасности "Xi" на маркировке обязательным.

3.7 Требования к складированию горючих веществ и других опасных химикатов

Везде, где хранятся, загружаются и транспортируются горючие вещества, должны быть предприняты меры по предотвращению возникновения и распространения пожаров и взрывов.

Горючий материал складировается в строении таким образом, чтобы это не стало причиной пожара, не препятствовало бы эвакуации, а также не усложняло бы возможность осуществления спасательных работ. Упаковка не должна иметь признаки течи.

Чтобы оценить степень опасности, исходящей от горючих жидкостей, их делят на **классы по огнеопасности**.

Классы огнеопасности устанавливаются в зависимости от температуры вспышки жидкости и ее смешиваемости с водой.

Таблица 3.7.1. Классы огнеопасности горючих жидкостей

Жидкости, не смешиваемые с водой			Жидкости, смешиваемые с водой
Класс огнеопасности AI	Класс огнеопасности AII	Класс огнеопасности AIII	Класс огнеопасности B
Жидкости с температурой вспышки ниже 21°C, например бензин	Жидкости с температурой вспышки от 21°C до 55°C, например керосин	Жидкости с температурой вспышки выше 55°C, например мазут	Жидкости с температурой вспышки ниже 21°C, например этанол
Максимальная опасность	Возрастание опасности	Умеренная опасность	Легкая воспламеняемость
Не гасят водой. Для тушения использовать пену			Гасится водой

Температура вспышки – это самая низкая температура горючей жидкости, при которой последняя выделяет столько паров, что при приближении к очагу воспламенения (например, искре) она воспламеняется. При удалении от очага воспламенения пламя гаснет.

Смешиваемость с водой играет решающую роль с точки зрения возможностей тушения. Не растворимые в воде жидкости (класс огнеопасности A) не поддаются тушению водой, поскольку они, обладая малой плотностью, находятся на воде, в то время как смешиваемые с водой жидкости (класс огнеопасности B) могут быть потушены водой.

Самыми опасными горючими жидкостями являются относящиеся к классу огнеопасности AI, AII и B. Летом наружные температуры могут превышать температуру вспышки этих жидкостей.

Горючие жидкости можно хранить только в специально предназначенных для них резервуарах. Но это требование не относится к небольшим объемам, требуемым для работы и оставленным на короткое время.

На огороженных участках можно без специального разрешения хранить в подходящих емкостях определенные ограниченные объемы горючих жидкостей. Хранение большого количества горючих жидкостей требует особого контроля и специального разрешения.

Вблизи баков или резервуарных парков категорически запрещается разводить открытый огонь (не курить, не осуществлять сварку), а также выполнять какие бы то ни было работы, связанные с возможным искрообразованием или сильным нагревом (не сверлить, не пилить, не рихтовать). Электрические приборы (выключатели, инструменты, двигатели) могут применяться только во взрывобезопасном исполнении. Запрещается носить подбитую гвоздями обувь, которая может искрить.



Рис.3.7.1. Предупреждающие знаки

На самом видном месте следует разместить предупреждающие и запрещающие знаки. Резервуары маркируются с указанием названия содержащейся в них жидкости, заправленного объема и класса огнеопасности.



Рис.3.7.2. Запрещающие знаки

Любые вещества, материалы или изготовленная из них продукция размещаются на полках кладовой или укладываются в штабель и группируются по типам гасящих веществ, предусмотренных для их тушения.

В строении и в пожароопасном его окружении не складировются **самовозгорающиеся вещества** без регулярного контроля их температуры и фиксации результатов проверки либо без применения мер для исключения их воспламенения.

Складирование горючих материалов рядом с внешней стеной строения и внешней границей земельного участка не должно представлять угрозы пожара

или препятствовать проведению спасательных работ, в том числе возможности доступа спасательной команде.

Место складирования горючих материалов от здания, в котором постоянно находятся люди, должно находиться на безопасном расстоянии.

Если на территории объекта складировается горючий материал в объеме более 1000 м³, составляется **план места складирования горючих материалов** на территории объекта, который представляется на согласование в спасательный центр по месту нахождения.

Химикат, упаковка которого не устойчива к погодным условиям, хранят в закрытом помещении, которое технически приспособлено для хранения химикатов (закрытое хранилище).

Химикаты, способные вступать между собой в реакцию, хранят в хранилище отдельно друг от друга, располагая их таким образом, чтобы исключить вступление их в реакцию и в случае повреждения упаковки или емкости.

Окислительные химикаты в закрытых хранилищах отделяют от горючих химикатов или материалов глухой огнестойкой стеной, при наличии которой стандартный пожар по истечении 120 минут после его возникновения не способен причинить повышение температуры более 140°С возле стены, расположенной напротив огнестойкой стены.

Вентиляционное оборудование закрытого хранилища для химикатов, выделяющих токсичные, огнеопасные и/или едкие пары, или самовозгорающихся химикатов обеспечивает эффективное проветривание, чтобы с расчетом на пустое помещение замена воздуха происходила не менее четырех раз в течение одного часа. Вентиляционное оборудование в хранилище для взрывоопасных, чрезвычайно огнеопасных, особенно огнеопасных или огнеопасных химикатов не должно вызывать искру.

Находящиеся вне вытяжного шкафа и расфасованные в мелкую упаковку очень токсичные, токсичные, канцерогенные, мутагенные или нарушающие репродуктивную функцию или опасные для окружающей среды химикаты можно хранить в **закрытом хранилище**. Пол этого хранилища должен представлять собою ванну с обособленной от нее или соединенной с ней сборной системой, способной вместить воду, используемую для тушения огня. Сборная система должна быть изолирована от общей канализации или водоприемника, ведущего в водоем общего пользования. В существующем закрытом помещении с каменными стенами можно ограничиться также наличием достаточно высоких порогов, что не должно препятствовать передвижению из одного помещения в другое.

Хранилище для веществ, выделяющих при вступлении их **в реакцию с водой** токсичные, огнеопасные или опасные для окружающей среды вещества - это хорошо проветриваемое одноэтажное здание без чердака, пол которого должен

располагаться выше окружающей его территории, чтобы попавшая на соседнюю территорию вода не могла проникнуть на пол хранилища.

Самовоспламеняющиеся вещества или материалы, упаковка которых не устойчива к погодным условиям, хранят в хорошо проветриваемом сухом одноэтажном здании. Хранилище для самовоспламеняющихся веществ или материалов оборудуется средствами, необходимыми для непосредственного и постоянного слежения за температурой хранимого вещества или материала.

Наземные емкости на территории без крышки, где газы и пары не могут скапливаться и быстро рассеиваются в воздухе, если в емкостях содержатся жидкие химикаты (чрезвычайно огнеопасные или имеющие при обращении с ними температуру, равную температуре воспламенения или выше нее), должны располагаться на расстоянии, которое от величины диаметра (Д) наибольшей емкости составляет:

- 1) в случае емкости с неподвижной крышкой – не менее 0,5 Д;
- 2) в случае емкости с плавающей крышкой – не менее 0,3 Д.

От ближайшего места погрузки/разгрузки или здания, от которого не исходит прямой огнеопасности, емкость с неподвижной крышкой должна располагаться на расстоянии не менее 15 м, емкость с плавающей крышкой – на расстоянии не менее 10 м.

3.8 Приемка и складирование сырья

Сырье – один из основных элементов технологического процесса, который определяет в значительной степени экономичность процесса, выбор технологии.

В химическом производстве на различных стадиях переработки можно выделить следующие материальные объекты:

- исходное вещество или собственно сырье,
- промежуточные продукты (полупродукты),
- побочные продукты и отходы.

Химическое сырье классифицируется по различным признакам: по происхождению, химическому составу, запасам и агрегатному состоянию.

Химическое сырье принято делить на:

- первичное (извлекаемое из природного источника);
- вторичное (промежуточные и побочные продукты);
- природное;
- искусственное (полученное в результате переработки природного сырья).

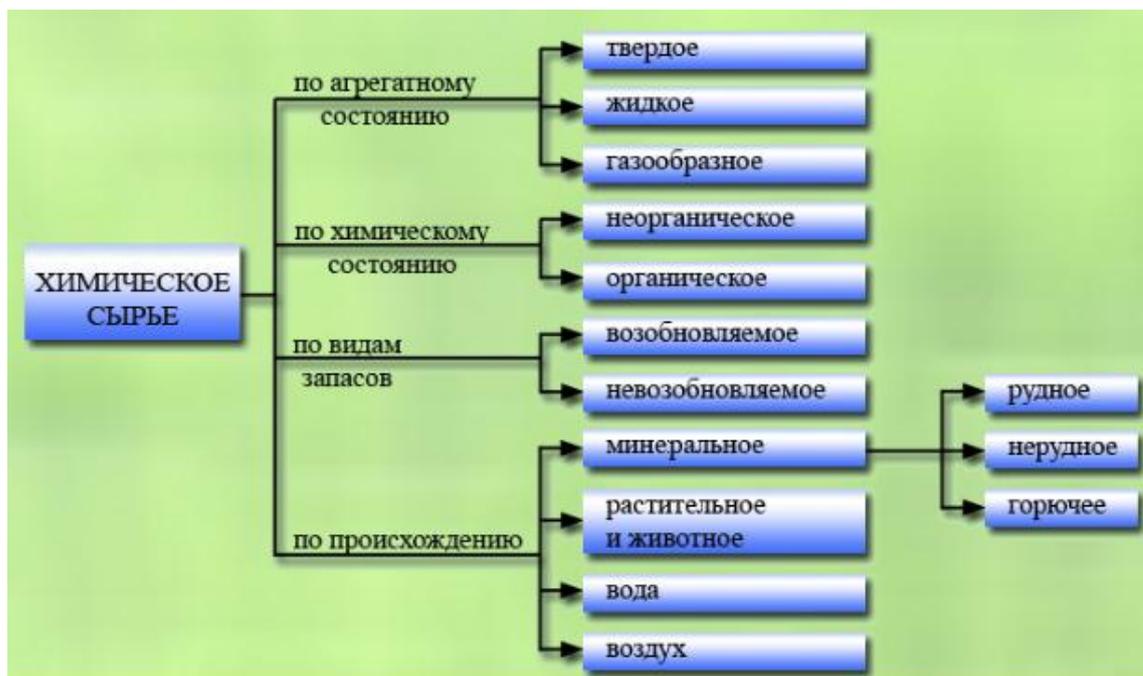


Рис.3.8.1. Сырье химического производства

Приемке сырья, его хранению и экономному расходованию должно уделяться значительное внимание.

Сырьевые, вспомогательные и другие материалы, поступающие на химическое предприятие, помещают в специально оборудованные **склады**, а при наружном хранении — на отведенные для этих целей **площадки**, над которыми должны быть устроены навесы. Площадки необходимо приподнять над поверхностью земли, чтобы предохранить их от загрязнения, а также сделать стоки для удаления атмосферных вод.

В закрытых складах для хранения сырьевых материалов без тары предусматривается устройство отсеков. Материалы на складе хранят отдельно по видам, исключая смешивание или загрязнение. Для учета запасов сырья на складе служат складские карточки учета.

3.9 Складирование, маркировка и отгрузка готовой продукции

Под **реализацией химикатов** подразумевается деятельность, посредством которой третьим лицам за плату или бесплатно предоставляется доступ к химикатам в целях распространения или применения ими химикатов. Ввоз химикатов на территорию Европейского Союза также считается реализацией химикатов. Лицом, ответственным за сбыт химикатов, является **изготовитель** или **производитель химикатов**, уполномоченный представитель изготовителя, импортер или распространитель химикатов.

Опасный химикат классифицируется, маркируется и упаковывается в соответствии с Постановлением Европейского Парламента и Совета (ЕС) № 1272/2008 по классификации, маркировке и упаковке веществ и смесей.

Не допускается завоз и хранение на складе химических веществ при отсутствии маркировки и соответствующих надписей на таре.

Транспортирование кислот, щелочей в стеклянной таре от места разгрузки до склада и от склада до места использования осуществляются на приспособленных для этого транспортных средствах, обеспечивающих полную безопасность.

Все работы с химическими веществами производятся специально обученными работниками с использованием специальной одежды, специальной обуви и средств индивидуальной защиты.

На **месте погрузки** находятся средства для устранения мелкого загрязнения и безопасного сбора отходов химикатов. Применяют адсорбент, не вступающий с химикатом в опасную реакцию.

При погрузке опасного химиката вместо сливного шланга отдают предпочтение стержню для слива химиката.

На случай поломки погрузочно-разгрузочного устройства должна существовать возможность для скорейшего и надежного перекрытия притока химиката. Предусмотренный для этого аварийный запорный вентиль запрещено использовать в обычной ситуации.

Трубопровод и погрузочно-разгрузочное устройство должны без поломки выдерживать гидравлический удар, возникающий при включении аварийного запорного вентиля, находящегося в системе погрузки.

Сливной шланг должен быть устойчив к воздействию химиката и до принятия его в эксплуатацию и менее, чем за 12 месяцев, подвергается тестированию на сжатие, а максимально допустимая рабочая температура шланга должна быть выше температуры загружаемого химиката.

При погрузке химиката погрузочно-разгрузочное устройство и грузовая емкость должны быть заземлены.

От соединенного с береговым трубопроводом причала, где осуществляется погрузка опасного химиката, должен существовать безопасный эвакуационный путь на берег, не пересекающийся с трубопроводом или погрузочно-разгрузочным устройством, используемым для погрузки химиката.

В случае, если загружаемый химикат при попадании в воду остается на плаву, не растворяется и полностью не испаряется, на месте погрузки должно находиться технически исправное и готовое к применению ограждение от загрязнения, изготовленное из материала, устойчивого к воздействию химиката.

После завершения погрузочно-разгрузочных работ трубопровод и погрузочно-разгрузочное устройство следует опорожнять.

Особые меры предосторожности предусматриваются относительно аммиачной селитры. Ввоз на таможенную территорию Эстонии **аммиачной селитры** с высоким содержанием азота разрешается только в случае, если она соответствует требованиям. Аммиачной селитрой с высоким содержанием азота является твердый азотнокислый аммоний, как вещество, так и в составе готового изделия, содержащее более 28 процентов массы азота в качестве производного от нитрата аммония. Аммиачная селитра должна быть подвергнута испытаниям на устойчивость к детонации.

Упаковка опасных химикатов должна быть маркирована в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности обращения с химикатами и быть прочной для предотвращения утечки химикатов из упаковки.

Нитрат аммония необходимо хранить отдельно от других химикатов в одноэтажном, защищенном от осадков и ветра, запирающемся строении, не имеющем чердака и подвала. Количество нитрата аммония, которое согласно Директиве Союза ЕС № 2003/105 меньше минимального размера опасности опасного предприятия, можно хранить также в одноэтажном общем хранилище, при условии, что помещение для хранения нитрата аммония представляет собой отдельную огнеупорную секцию, а остальная часть общего хранилища относится по меньшей мере к классу огнестойкости **ТР 2**. Исходя из пожарной безопасности, строения и его части разделяют следующим образом:

- 1) огнестойкое (обозначение ТР1) – несущая конструкция строения не должна в течение предусмотренного времени разрушиться при пожаре;
- 2) препятствующее огню (обозначение ТР2) – несущая конструкция строения не должна в течение предусмотренного времени разрушиться при пожаре, причем предусмотренное время короче времени, предусмотренного в отношении огнестойкого строения;
- 3) чувствительное к огню (обозначение ТР3) – к несущей конструкции строения не устанавливаются требования в отношении огнестойкости несущей конструкции.

В один штабель можно уложить 300 тонн упакованного нитрата аммония. Расстояние между штабелей с упакованным нитратом аммония и от стен и потолка должно составлять не менее одного метра. Упакованный нитрат аммония можно хранить в течение шести месяцев вне помещения, в защищенном от солнца месте, при условии, что на территории хранения исключена возможность скопления воды.

Запрещено:

- 1) хранение нитрата аммония в жилых помещениях;
- 2) использование в хранилище аварийного освещения;
- 3) расположение над хранилищем воздушных линий электропередач;

4) размещать нитрат аммония на расстоянии менее 0,5 м от светильников, отопительных установок, электропроводки, электромоторов и щитов.

Нитрат аммония следует хранить таким образом, чтобы исключить его соприкосновение:

- 1) со взрывчатыми материалами;
- 2) с едкими химикатами (кислоты, щелочи и т.д.);
- 3) хлоридами, хлоритами, хлоратами, перхлоратами, гипохлоритами;
- 4) с перманганатами и хроматами;
- 5) со сжатыми, сжиженными или находящимися под давлением газами;
- 6) с горючими жидкостями и топливом;
- 7) с органическими и горючими материалами (сено, солома, торф, уголь, бумага, тонко измельченная древесина, опилки и т.д.)
- 8) с маслами, жирами, смазочными веществами и воском;
- 9) с серой;
- 10) с металлами в виде порошка (например, хром, медь, кобальт, никель, цинк, алюминий, свинец);
- 11) с любым другим материалом, увеличивающим огнеопасность и взрывоопасность.

Поврежденную упаковку и высыпавшийся из нее нитрат аммония необходимо сразу обеззаразить, если можно предположить, что нитрат аммония загрязнен посторонними веществами. Освобожденные от нитрата аммония поддоны следует из хранилища удалить.

Расстояние от строения, используемого для хранения нитрата аммония, до жилых районов, отелей, лечебных и детских учреждений, стадионов и других зданий общего пользования, а также железнодорожных и шоссейных путей общего пользования должно составлять не менее 500 метров. Расстояние от строения для хранения нитрата аммония до бензозаправочных станций и топливных хранилищ, газовых трасс, заводов и прочих промышленных сооружений должно составлять не менее 50 метров, за исключением случая, если проведенный на предприятии анализ риска допускает отклонение от вышеуказанной дальности расстояния. Пол строения, используемого для хранения нитрата аммония, должен быть из бетона или другого негорючего материала и не должен иметь углублений или каналов, за исключением углубления, предусмотренного для люка, предназначенного для погрузки/разгрузки снизу. Места для проникновения в канализацию изолируют с помощью негорючего материала. Строение для хранения нитрата аммония должно позволять возникающим при возгорании газам легко выйти через настенные, дверные или оконные конструкции либо через специальные редуционные люки. На 5 тонн нитрата аммония должно быть не менее одного редуционного люка на 1 м².

Транспортные средства, в том числе автокары и подъемники, по окончании погрузки следует удалить из строения, предназначенного для хранения нитрата аммония, или припарковать в предусмотренное для этого в строении место,

которое от остальной части строения должно быть отделено заграждением, препятствующим распространению огня.

Если в строении для хранения нитрата аммония отсутствует необходимость в электричестве, электрооборудование следует выключить. При необходимости электрорубильник следует в выключенном состоянии запереть и снабдить сигнальной лампочкой, указывающей на отсутствие напряжения.

В здании хранилища, в котором хранится более 3000 тонн нитрата аммония, не реже двух раз за сутки следует с помощью калиброванных температурных и газовых датчиков проводить измерение температуры внутри копны и проверять содержание оксида азота в воздухе.

Вне здания, используемого для обращения с нитратом аммония, следует на видном месте, стене или двери поместить табличку с надписью “Нитрат аммония”, выполненную на белом фоне буквами черного цвета, имеющими высоту не менее 10 см. У каждого входа в здание, используемое для хранения нитрата аммония, необходимо прикрепить табличку с надписью, запрещающей курение и использование открытого огня.

При обращении с нитратом аммония запрещается курение и использование открытого огня.

3.10 Контрольные вопросы по разделу «Основы складского хозяйства»

- Каковы преимущества силоса по сравнению со складским помещением?
- Для чего служат поддоны?
- Какие жидкости лучше всего хранить в резервуарах сферической формы?
- На какие классы огнеопасности делятся жидкости?
- Какие меры предосторожности следует принимать при обращении с горючими жидкостями?
- Что указано в фирменной табличке газгольдера высокого давления?
- Что означает этот знак? В каком случае он размещается на предприятии?



ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Издательство: Техносфера, 2007
2. Клименко В.Л., Табурчак П.П., Иванова С.Н. Организация и планирование химического производства. Л.: Химия, 1989
3. Виноградов С. Н., Таранцев К. В. Конструирование и расчет элементов тонкостенных сосудов. Учебное пособие. Издательство Пензенского государственного университета, 2004
4. Требования пожарной безопасности к складированию опасных материалов и веществ. Постановление министра внутренних дел от 2 сентября 2010 г. № 44 (RT I 2010, 63, 468)
5. Закон о химикатах. Принят 6 мая 1998 г.(RT I 1998, 47, 697)
6. Требования, предъявляемые к местам хранения, погрузки, разгрузки и перевалки химикатов, а также к другим необходимым для обращения с химикатами строениям в портах, автомобильных терминалах, железнодорожных станциях и аэропортах, а также особые требования, предъявляемые к обращению с нитратом аммония. Постановление министра транспорта и связи от 6 декабря 2000 года № 106 (RTL 2001, 7, 110)
7. Порядок учета опасных химикатов. Постановление министра социальных дел от 17 декабря 2004 года № 131 (RTL 2004, 158, 2379)
8. Требования к карте безопасности химиката. Постановление министра социальных дел от 17 декабря 2004 г. № 130 (RTL 2004, 158, 2378)
9. Требования и порядок идентификации, классификации, упаковки и маркировки опасных химикатов `1. Постановление министра социальных дел от 3 декабря 2004 года № 122. (RTL 2004, 154, 2326)
10. <http://www.fam.de/russkij/izdelija/skladskoe-oborudovanie/index.html> - складское оборудование
11. http://www.flexitankchina.ru/big_img.html?etw_path=http://www.flexitankchina.ru/1-2-flexible-gas-tank.html&big_etw_img=1-flexitank/2-1b.jpg - мягкий резервуар для хранения газа
12. http://eplus.kz/katalog_produkcii/oborudovanie_dlya_avtonomnogo_gazosnabzheniya_i_otopleniya_fas/oborudovanie_dlya_propanbutana/gazonapolnitelnye_stancii/oborudovanie_rezervuarnogo_parka/
13. <http://tgs.su/video/video-gazosnabgenie/> - система размещения небольшого газгольдера

14. <http://www.tehnola.ru/gazgoldery.html> - шаровой резервуар
15. <http://neft-rus.ru/pontony-alyuminevye/ponton-alyuminievj.html> - понтоны на резервуары с нефтепродуктами
16. <http://www.dobi.oglib.ru/bgl/1057/56.html> - подробно о газгольдерах
17. <http://www.fabbri-inox.com/product3.htm> - цилиндрический вертикальный резервуар
18. <http://www.beton-karkas.ru/index.php/2009-10-13-08-09-56/68-2009-10-12-05-37-22/612-2010-03-08-17-51-10> - схема газгольдера
19. http://evropac.ru/production/big_bag.php - мешки биг-бэг
20. <http://www.vkg.ee/>
21. Плановский А. П., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. 5-е изд., пер. и доп. М.: Химия, 1968. 847
22. Романков П. Г., Курочкина М. И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности»: Учеб. пособие для техникумов. Л.: Химия, 1985. 56 с.4.
23. Стабников В. Н., Баранцев В. И, Процессы и аппараты пищевых производств. 3-е изд., пер. и доп. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 328 с.5. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности, М.: Химия, 1977. 368 с.
24. Оборудование для переработки сыпучих материалов : учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. — М. «Издательство Машиностроение-1», 2006.г.
25. <http://www.tstu.ru/education/elib/pdf/2006/borchev1.pdf>
26. http://www.agro-mash.ru/0811_SER_smes_sypuch.html
27. <http://www.desi.ee/et/tooted/segamisseadmed/v-s.html>
28. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов ВА.С44 Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии:
29. Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. - 677 с:
30. Старк. С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. –М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
31. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И. Промышленность и окружающая среда. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.

32. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
33. <http://www.gazoochistca.ru/index.htm>
34. http://www.library.vstu.edu.ru/biblio/bgd_oh/61.htm
35. <http://donkorp.narod.ru>
36. <http://www.kondore.newmail.ru>
37. http://www.eurazprom.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=29
38. eurazprom.ru/index.php...
39. http://tisys.ru/files/catalog/files_rub/1720/obsheiy_katalog_vam_.pdf
40. http://www.membrane.msk.ru/books/?id_b=9&id_bp=196 - Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, материалы кафедры мембранной технологии
41. <http://www.ds64.ru/goods/1056834/> - картинка клапана
42. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Плутунь> - Wikipedia -свободная энциклопедия
43. <http://gasequip.ru/market/kreo/113/> - каталог оборудования для систем хранения, транспортировки, анализа и регулирования параметров газов и жидкостей
44. <http://www.rosmks.com/catalog/118/> - производство титановых отливок
45. <http://specmetal.ru/primenenie-tantala> -применение тантала
46. http://window.edu.ru/window/library/pdf2txt?p_id=52984&p_page=2 – основы конструирования
47. <http://www.lrs.ru/3/022.shtml> - гуммирование
48. <http://www.refractory-materials.ru/index.php> - огнеупоры, футеровки
49. <http://www.rus-kit.ru/bezasbestovye-salnikovye-nabivki> - безасбестовые набивки
50. http://himsnab-spb.ru/announce/09-03-2011_3/ - термостойкий химически устойчивый каучук
51. <http://www.est-kaliningrad.ru/rockwool/use.php> - теплоизоляция
52. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/KOMPOZITSIONNIE_MATERIALI.html?page=0,3 – композиционные материалы
53. <http://www.plastopolimer.com/proizvodstvo.html> - футерованные трубы

54. <http://kremz.rosprom.org/index.php?p=radioprom> – изделия из фенoplasta
55. <http://www.buchiglas.ch/ru/home.html> - стеклянное оборудование

56. Беляев В. М., Миронов В. М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. пособие. Том. политех. ун-т. Томск, 2003
57. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов. Под ред. А. И. Михайличенко. М.: ИКЦ. Академкнига, 2010.