



М И Р Х И М И И

Э. Игнатович
при участии Г. Фастерта

Химическая техника

Перевод с немецкого под ред.
А.Е. Думбара, А.А. Курганова

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2022

**УДК 543
ББК 24.4
И26**

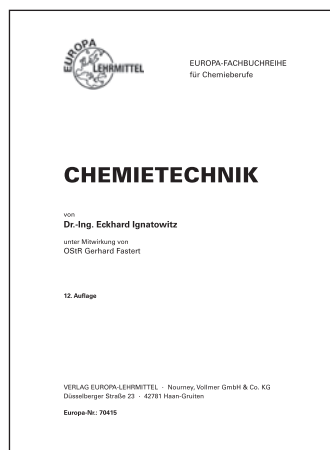
И26 Игнатович Э.

при участии Фастерта Г.

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2022. – 892 с. ISBN 978-5-94836-644-9

Перевод 12-го издания основополагающего учебно-справочного руководства для профессионального обучения и специалистов-практиков. Книга дает максимально полное представление о конструкционном исполнении химических установок и сути технологических процессов, технике регулирования и управления ими. Дополнительно рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и техники безопасности.

Наличие более 1000 уникальных цветных иллюстраций, схем, диаграмм и фотографий, широкое использование наглядных таблиц делают книгу одним из лучших в мире справочников по химической технике.



**УДК 543
ББК 24.4**

Original Title: Chemietechnik, 12th edition 2015

© 2015: Verlag Europa-Lehrmittel,

Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten (Germany)

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», перевод на русский язык, оригинал-макет,
оформление, 2022

ISBN 978-5-94836-644-9

ISBN 978-3-8085-7120-0 (нем.)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	25
Введение	27
Химия и окружающая среда	27
Безопасность на химическом производстве	28
Начальные сведения о химическом производстве	31
Разработка химического технологического процесса	35
ГЛАВА I. ХИМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА	37
1. Трубопроводы	38
1.1. Условный проход DN	38
1.2. Номинальное давление PN	40
1.3. Трубы и размеры труб, используемых для построения трубопроводов	42
1.4. Фасонные части трубопроводов	44
1.5. Соединения труб	44
1.6. Материалы для промышленных трубопроводов	48
1.7. Классы трубопроводов	50
1.8. Крепления труб	51
1.9. Маркировка трубопроводов	51
1.10. Компенсация расширения трубопроводов	53
1.11. Изоляция труб	55
1.12. Графическое представление трубопроводов	56
2. Арматура	59
2.1. Задвижки, заслонки, краны	60
2.2. Клапаны	61
2.2.1. Запорные и регулирующие клапаны	61
2.2.2. Приводы для арматуры	63
2.2.3. Регулируемые клапаны	64
2.2.4. Представление арматуры на R&I-технологических схемах	65
2.3. Монтажные прокладки для трубопроводов	65
2.4. Устройства блокирования обратного потока	66
2.5. Предохранительные клапаны	67
2.6. Предохранительная разрывная мембрана	69
2.7. Редукционные клапаны	70
2.8. Конденсатоотводчики	71
2.9. Воздушные клапаны	74
2.10. Грязеуловители	75
3. Гидродинамические процессы в трубопроводах	76
3.1. Объемный расход, масснй поток, скорость течения	76
3.2. Поток в трубе переменного диаметра	77
3.3. Изменение давления у потока в трубе переменного сечения	78
3.4. Внутреннее трение, вязкость	79
3.5. Разновидности течений	80
3.6. Потеря давления в трубопроводах	81
3.7. Характеристика трубопровода	83
3.8. Эпюра давления в трубопроводах	84

4. Транспортировка жидкостей.....	85
4.1. Обзор видов транспортировки.....	85
4.2. Транспортировка насосами.....	86
4.3. Центробежные насосы	87
4.3.1. Конструкция и принцип действия	87
4.3.2. Рабочее колесо насоса.....	88
4.3.3. Конструктивные исполнения центробежных насосов	89
4.3.4. Уплотнение валов центробежных насосов	90
4.3.5. Центробежная насосная установка	91
4.3.6. Центробежный насос с магнитной муфтой.....	92
4.3.7. Использование центробежных насосов	93
4.3.8. Вихревой насос с боковым каналом	93
4.3.9. Пропеллерный насос.....	94
4.4. Рабочие характеристики центробежных насосов	95
4.4.1. Объемная подача и напор насоса.....	95
4.4.2. Высота подачи установки.....	95
4.4.3. Необходимая мощность и эффективность насоса.....	96
4.4.4. Характеристика центробежного насоса	97
4.4.5. Характеристика установки.....	97
4.4.6. Рабочий режим работы насоса.....	98
4.4.7. Совместное включение насосов	99
4.4.8. Поля характеристик центробежных насосов	99
4.4.9. Кавитация у центробежных насосов	99
4.4.10. Определение условий для безкавитационной работы насосов, величина КВВ.....	101
4.4.11. Запуск и выключение центробежного насоса	103
4.5. Поршневые насосы	105
4.5.1. Конструкция и принцип действия поршневых насосов	105
4.5.2. Характерные признаки и применение	106
4.6. Поршневые мембранные насосы	107
4.7. Циркуляционные насосы.....	108
4.7.1. Винтовой ротационный насос	108
4.7.2. Одновинтовые насосы	108
4.7.3. Шестеренчатые насосы.....	109
4.7.4. Ротационные насосы.....	109
4.7.5. Рукавные насосы	109
4.8. Струйные насосы	110
4.9. Обзор: свойства и области применения насосов	111
4.10. Дозировка жидкостей.....	112
4.11. Дозировка и очистка с помощью пробки	113
5. Перемещение и сжижение газов.....	116
5.1. Закономерности изменений состояния определенного объема газа	116
5.2. Процессы при сжижении газов.....	118
5.3. Транспортные устройства и компрессоры для газов.....	119
5.4. Поршневой компрессор.....	119
5.5. Ротационно-поршневые компрессоры	123
5.6. Турбокомпрессоры	124

5.7. Воздуходувки	125
5.8. Вентиляторы	126
6. Создание разряжения (вакуума)	128
6.1. Жидкостные вакуумные насосы	128
6.2. Вакуумные насосы с рабочей средой.....	129
6.3. Комбинированные системы струйных насосов.....	130
6.4. Ротационный вакуумный насос.....	131
6.5. Диффузионные вакуумные насосы	133
6.6. Турбомолекулярные насосы.....	134
6.7. Выбор подходящего вакуумного насоса	135
6.7.1. Откачивание сухих газов	135
6.7.2. Откачивание паросодержащих газов.....	136
7. Транспортировка твердых веществ.....	137
7.1. Описание сыпучих материалов.....	137
7.1.1. Пористость и насыпная плотность.....	137
7.1.2. Поведение и обращение с сыпучими грузами.....	138
7.2. Механические конвейеры для насыпных грузов	139
7.3. Пневматические транспортеры сыпучих грузов	142
7.4. Дозаторы сыпучих материалов	144
7.5. Транспортеры для штучных грузов	145
7.6. Подъемно-транспортные машины периодического действия.....	147
7.7. Обращение с сыпучими материалами и штучным грузом.....	148
8. Оборудование для хранения материалов на химических предприятиях	151
8.1. Склады сыпучих материалов.....	152
8.2. Хранение штучных грузов.....	154
8.3. Складирование жидкостей.....	156
8.4. Хранение и транспортировка горючих и ядовитых жидкостей.....	159
8.5. Хранение газов	161
9. Обзор машин и аппаратов.....	165
9.1. Электромоторы и приводы	166
9.2. Реакторы с мешалкой.....	166
9.3. Дробилки	167
9.4. Фильтровальные аппараты	168
9.5. Теплообменники	169
9.6. Ректификационные колонны	169
10. Проектирование химических аппаратов	170
11. Графическое представление химической установки.....	173
11.1. Основная технологическая схема	173
11.2. Блок-схема технологического химического процесса	175
11.3. Мнемосхема трубопроводов и встроенных приборов.....	177
11.4. Примеры технологических схем пилотной установки.....	178
11.5. Графические символы на технологической схеме пилотной установки (выдержка из DIN EN ISO 10628-3 (2013-07) и DIN 2800-4, -5 (2014-07))	181
12. Функционирование и эксплуатация химической установки	185
12.1. Эксплуатация химической установки	185
12.2. Поддержание установки в исправности	185

12.2.1. Техническое обслуживание	186
12.2.2. Осмотры	188
12.2.3. Ремонт	190
12.2.4. Концепции поддержания оборудования в рабочем состоянии	190
13. Техника безопасности на химической установке	191
13.1. Правила безопасной эксплуатации	192
13.2. Концепция техники безопасности химической установки	193
13.3. Защитные мероприятия на химической установке по предотвращению взрывоопасных ситуаций	197
14. Предотвращение несчастных случаев и безопасность труда	198
14.1. Опасные участки работы	199
14.2. Защита от пожара и защита от взрыва	201
14.2.1. Пожаро- и взрывоопасные вещества	201
14.2.2. Предупреждение пожаров и взрывов	203
14.2.3. Борьба с пожаром и защита от пожара	204
14.3. Обращение с вредными для здоровья веществами	204
14.4. Обозначения опасных веществ	205
14.4.1. Пиктограммы опасных веществ согласно GHS	205
14.4.2. H-предложения и P-предложения	205
14.4.3. Старые символы опасных веществ	206
14.5. Виды опасных веществ	207
14.5.1. Едкие вещества	207
14.5.2. Едкие и раздражающие газы	208
14.5.3. Дыхательные яды	208
14.5.4. Удушающие газы	209
14.5.5. Растворители и ядовитые жидкости	209
14.5.6. Ядовитые твердые вещества	210
14.5.7. Долговременные вредные вещества	211
14.5.8. Граничные значения производственных веществ на рабочем месте	212
14.6. Избежание причинения вреда здоровью за счет физического воздействия	213
14.6.1. Защита от шума	214
14.6.2. Защита от облучения	214
ГЛАВА II. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА В ХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	216
1. Основы электротехники	216
1.1. Использование электроэнергии	216
1.2. Основные понятия из области электротехники	217
1.3. Основные электрические параметры	219
1.4. Закон Ома	221
1.5. Электрическая мощность, работа, коэффициент полезного действия	222
1.6. Электрические схемы включения потребителей	223
1.7. Измерение электрических параметров	225
1.8. Род тока	227
2. Электропитание и безопасное обращение с электричеством	228
2.1. Электрическая сеть и электрическое подключение	228

2.2. Электрический монтаж и подключения.....	229
2.3. Меры безопасности в электрооборудовании	230
2.4. Возможные неисправности в действующем оборудовании	232
2.5. Опасность воздействия электрического тока на человека	233
2.6. Техника безопасности при работе с электропроводкой и оборудованием.....	233
2.7. Графические изображения на электрических машинах и устройствах.....	234
3. Электрические приводные механизмы в химических установках	235
3.1. Электродвигатели.....	236
3.1.1. Трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором	236
3.1.2. Двигатели постоянного тока.....	240
3.1.3. Виды защиты двигателей	243
3.2. Передаточные механизмы электродвигателей.....	243
3.2.1. Клиноременная передача.....	244
3.2.2. Зубчатые передачи.....	244
3.2.3. Кулачковая передача	246
3.2.4. Ступенчатая дисковая передача.....	247
3.2.5. Передача гибкой связью	248
4. Электрохимические аспекты	249
4.1. Гальванические элементы	249
4.2. Электролиз.....	252
4.2.1. Электролиз водных растворов	252
4.2.2. Законы Фарадея	253
4.2.3. Технические способы электролиза	253

ГЛАВА III. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН

И АППАРАТОВ.....	256
1. Конструктивные элементы вращения.....	256
1.1. Валы, оси, болты	257
1.2. Зубчатые колеса.....	258
1.3. Соединение вал – ступица.....	259
1.4. Муфты валов.....	260
2. Подшипники	261
2.1. Подшипники скольжения.....	262
2.2 Подшипники качения.....	262
3. Уплотнения.....	263
3.1. Уплотнение неподвижных поверхностей	263
3.2. Уплотнение валов	264
4. Соединительные элементы для машин и аппаратов.....	266
4.1. Резьбовые соединения	266
4.2. Виды винтов	268
4.3. Гайки	269
4.4. Стопорящие элементы резьбовых соединений.....	269
4.5. Классы прочности винтов и гаек.....	270
4.6. Штифты	270
5. Затворы для крышек.....	270
6. Сварные и паяные соединения	272

6.1. Ручная дуговая сварка	272
6.2. Сварка в среде защитного газа	273
6.3. Газовая сварка	273
6.4. Пайка	274
7. Гидравлические системы машин	275
8. Пневматические системы в химической промышленности.....	277
ГЛАВА IV. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	281
1. Введение в основные и вспомогательные материалы	281
2. Свойства материалов.....	284
2.1. Физические свойства	284
2.2. Механические свойства	285
2.3. Химико-технологические свойства	287
2.4. Технологические свойства	288
2.5. Экологическая безопасность	289
3. Стали	290
3.1. Конструкционные стали для механических нагрузок	290
3.2. Конструкционные стали для механических и тепловых нагрузок	294
3.3. Конструкционные стали для агрессивных сред: нержавеющие стали	296
3.4. Инструментальные стали	300
4. Чугунное и стальное литье	303
4.1. Чугунное литье	303
4.2. Стальное литье	304
5. Цветные металлы.....	305
5.1. Алюминий и алюминиевые сплавы.....	306
5.2. Медь и медные сплавы	307
5.3. Никелевые материалы.....	309
5.4. Титан (Ti)	310
5.5. Свинец (Pb)	311
5.6. Специальные металлы цирконий (Zr) и тантал (Ta).....	311
5.7. Цинк (Zn)	312
5.8. Олово (Sn).....	312
6. Коррозия и защита от коррозии	313
6.1. Химическая коррозия	313
6.2. Электрохимическая коррозия.....	314
6.3. Формы проявления электрохимической коррозии	316
6.4. Коррозионная стойкость материалов.....	319
6.5. Подбор подходящих материалов	320
6.6. Меры защиты от коррозии.....	323
6.6.1. Покрытия для защиты от коррозии.....	323
6.6.2. Цинковые покрытия	324
6.6.3. Защита от коррозии оборудования из нержавеющей стали	325
6.6.4. Снижение агрессивности действующего вещества.....	325
6.6.5. Предотвращение появления пятен коррозии	326
6.6.6. Катодная защита от коррозии стальных изделий	326
6.6.7. Защита алюминиевых компонентов от коррозии	327
7. Эксплуатационный контроль материалов и комплектующих	328
7.1. Обнаружение неисправностей на химических предприятиях.....	328

7.2. Контроль коррозии	331
8. Пластмассы	332
8.1. Свойства и применение	333
8.2. Технологическая классификация	333
8.3. Термопластичные пластмассы	335
8.4. Термореактивные пластмассы	336
8.5. Эластомеры	337
8.6. Характеристики стойкости и старение пластмасс	339
8.7. Обработка пластмасс	339
9. Композитные материалы	340
10. Неметаллические неорганические материалы	342
10.1. Аппаратное (химическое) стекло	342
10.2. Эмаль для химической аппаратуры	343
10.3. Керамические материалы	343
10.4. Стойкие к химикатам покрытия	344
10.5. Графитовые и углеродные материалы	344
11. Смазочные материалы	345
11.1. Смазочные масла	345
11.2. Пластичные смазки	346
11.3. Твердые смазочные материалы	347
ГЛАВА V. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА НА ХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	349
1. Измерение температуры	351
1.1. Температурные шкалы	352
1.2. Механические устройства для измерения температуры	353
1.3. Термометры сопротивления (резистивные термометры)	354
1.4. Термопары	356
1.5. Радиационный пирометр	357
1.6. Обзор: области применения приборов для измерения температуры	358
2. Измерение давления	359
2.1. Определение, единицы, преобразование	359
2.2. Типы давления (рис. V.22)	359
2.3. Манометр с U-образной трубкой	360
2.4. Пружинный манометр	360
2.5. Датчики давления	362
2.6. Обзор: наибольший и наименьший диапазоны измерения манометров	363
2.7. Измерение перепада давления	363
2.8. Мембранный повторитель давления, реле давления	364
2.9. Особенности измерения давления	364
3. Измерение уровня наполнения	367
3.1. Устройства для измерения уровня жидкостей	368
3.1.1. Механические устройства измерения уровня	368
3.1.2. Измерение гидростатического уровня	370
3.1.3. Ультразвуковое измерение уровня	371
3.1.4. Емкостное измерение уровня	371

3.1.5. Измерение уровня с помощью радара	371
3.2. Предельный выключатель уровня жидкостей	372
3.3. Устройства измерения уровня и предельные выключатели для сыпучих продуктов	374
3.4. Объемы резервуаров	376
3.5. Определение количества газа в резервуаре	377
4. Измерение расхода и количества (объема и массы)	379
4.1. Расходомер	380
4.1.1. Расходомер с переменным сечением	380
4.1.2. Расходомер с измерительным отверстием	381
4.1.3. Вихревой расходомер	382
4.1.4. Вибрационный расходомер	382
4.1.5. Ультразвуковой расходомер	383
4.1.6. Электромагнитный расходомер	384
4.1.7. Кориолисов расходомер массы	384
4.1.8. Тепловой расходомер массы	385
4.1.9. Турбинный расходомер	386
4.1.10. Расходомер с крыльчаткой	387
4.2. Волюметры потоков жидкости или объемные расходомеры	387
4.3. Индикаторы и сигнализаторы потока	389
5. Сбор, обработка и представление данных измерений	390
6. Представление и обозначение точек измерения	394

ГЛАВА VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ, ПРОДУКТА И ОКРУЖАЮЩИХ УСЛОВИЙ

1. Взятие пробы	398
1.1. Взятие проб жидкостей	398
1.2. Взятие проб сухих веществ	399
2. Определение свойств сыпучих веществ	400
2.1. Определение массы	400
2.2. Определение плотности	403
2.3. Определение влажности	404
2.4. Определение размера частиц сыпучих материалов	405
2.4.1. Взятие пробы для ситового анализа	406
2.4.2. Ситовой анализ	407
2.4.3. Оценка результатов ситового анализа	408
2.4.4. Распределение частиц Розина – Раммлера (DIN 66145)	411
3. Измерения при анализе свойств и состава жидкостей	414
3.1. Измерение плотности жидкостей	414
3.2. Измерение вязкости	416
3.3. Измерение электропроводности	417
3.4. Измерение величины pH	418
3.5. Измерение окислительно-восстановительного потенциала (редокс-потенциала)	420
3.6. Области применения измерения электропроводности и величины pH	420
3.7. Определение концентрации растворенного кислорода в воде	422
3.8. Измерение показателя мутности жидкости	422

4. Методы анализа газов и жидкостей	423
4.1. Метод хроматографии	423
4.2. Анализ с помощью датчиков	425
4.2.1. Газоанализаторы инфракрасного поглощения	425
4.2.2. Термокондуктометрические газоанализаторы	426
4.2.3. Каталитические газоанализаторы	426
4.2.4. Электрохимические газоанализаторы	427
4.2.5. Промышленные газоанализаторы	427
5. Определение состава воздуха	428
5.1. Содержание кислорода и загрязняющих веществ в воздухе	428
5.2. Пределы взрываемости или взрывоопасные концентрации	429
5.3. Измерение влажности воздуха	429
5.4. Измерение концентрации дыма и пыли	430
6. Контроль качества на химическом предприятии	430
6.1. Менеджмент качества	431
6.2. Системы менеджмента	432
6.3. Инструменты контроля качества	433
6.3.1. Чек-листы	433
6.3.2. Сводная карта отказов и лист сбора данных	434
6.3.3. Гистограммы	435
6.3.4. Кривая плотности распределения и статистические показатели	435
6.3.5. Предварительные расчеты для листа сбора данных	436
6.3.6. Диаграмма Парето (ABC-анализ)	437
6.3.7. Диаграмма Исикавы	438
6.3.8. Регулирование процесса с помощью графика контроля качества	439
6.3.9. Обзор инструментов управления качеством	442
ГЛАВА VII. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	444
1. Описание сыпучих материалов	445
1.1. Размер частиц в сыпучем материале	445
1.2. Поверхности сыпучих материалов	446
1.3. Свойства сыпучего материала из частиц разного размера	446
1.4. Кривые плотности распределения сыпучих веществ	448
2. Измельчение твердых веществ	449
2.1. Физические аспекты	450
2.2. Способы измельчения	452
2.3. Дробилки	452
2.4. Мельницы	454
2.5. Ножевые дробилки, грануляторы	457
2.6. Измельчительные установки	458
3. Разделение жидкостей	460
3.1. Орошение, разбрызгивание	460
3.2. Распыление	460
4. Агломерация (уплотнение)	462
4.1. Поверхностное гранулирование (пеллетизация)	462
4.2. Формовка	464

4.3. Спекание.....	467
5. Смешивание (объединение веществ)	467
5.1. Механическое перемешивание жидкостей	469
5.1.1. Сосуд с мешалкой (рис. VII.45).....	469
5.1.2. Механизм вращения мешалки.....	472
5.1.3. Мешалки.....	473
5.1.4. Гидравлика потока в сосуде с мешалкой	475
5.1.5. Технологические операции на основе перемешивания.....	476
5.2. Пневматическое перемешивание	479
5.3. Смешение потоков.....	480
5.4. Замешивание, втирание	482
5.5. Смешение твердых сыпучих материалов.....	485
ГЛАВА VIII. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ	489
1. Теплота — вид энергии.....	489
1.1. Единицы количества теплоты.....	489
1.2. Количество теплоты	490
1.3. Теплота фазового перехода	490
1.4. Общее количество теплоты при фазовом переходе	492
1.5. Температуры смесей.....	493
2. Энергоносители в химической промышленности.....	495
2.1. Горючие материалы	495
2.2. Электрический ток.....	497
2.3. Водяной пар.....	498
2.4. Топливные жидкости.....	501
2.5. Газообразные и твердые теплоносители	501
2.6. Холодильные агенты	502
2.7. Сжатый воздух и вакуум.....	503
3. Теплопередача.....	504
3.1. Физические основы.....	504
3.2. Теплопередача в химических аппаратах	505
3.3. Теплопроводность	506
3.4. Теплоотдача	508
3.5. Теплопроницаемость.....	509
3.6. Теплоизлучение	510
3.7. Процессы в теплообменниках	511
4. Теплообменники.....	514
4.1. Трубчатые теплообменники	514
4.2. Змеевиковый теплообменник.....	516
4.3. Теплообменник типа «труба в трубе».....	517
4.4. Спиральные теплообменники	517
4.5. Пластинчатые теплообменники	518
5. Конденсаторы.....	518
5.1. Поверхностные конденсаторы.....	519
5.2. Конденсаторы смешения	520
6. Нагревание и охлаждение в смесительных емкостях.....	521
6.1. Косвенная теплопередача	521
6.2. Прямая теплопередача	522

6.3. Системы нагрева/охлаждения для смешительных емкостей	522
7. Энергосбережение при процессах теплообмена	524
8. Аппараты и установки охлаждения воздухом и орошением	526
ГЛАВА IX. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ	531
1. Механические способы разделения смесей твердых веществ	531
1.1. Сортировка	534
1.1.1. Сортировка по плотности	534
1.1.2. Флотация	536
1.1.3. Магнитная сортировка	537
1.2. Классификация	538
1.2.1. Просеивание (грохочение)	538
1.2.2. Просеивание (воздушная сепарация)	542
1.2.3. Разделение в потоке (гидравлическая классификация)	544
2. Механические способы разделения смесей твердых веществ и жидкостей	545
2.1. Осаждение, седиментация, флокуляция	546
2.2. Фильтрация	550
2.2.1. Принцип действия	550
2.2.2. Фильтровальные аппараты периодического действия	552
2.2.3. Фильтровальные аппараты непрерывного действия	555
2.3. Отжим	557
2.4. Центрифугирование	558
2.4.1. Принцип действия	558
2.4.2. Фильтрующие центрифуги периодического действия	559
2.4.3. Фильтровальные центрифуги непрерывного действия	561
2.4.4. Седиментационные центрифуги	562
2.4.5. Промышленная установка для центрифугирования	566
3. Механическое разделение эмульсий	567
3.1. Декантирование	568
3.2. Центрифугирование	568
3.3. Ультрафильтрация	569
ГЛАВА X. ПЫЛЕУДАЛЕНИЕ И ОЧИСТКА ГАЗОВ	571
1. Удаление пыли	572
1.1. Механическое обеспыливание	574
1.2. Влажное обеспыливание	576
1.3. Фильтрационное пылеулавливание	578
1.4. Электрообеспыливание	580
1.5. Система пылеудаления	581
2. Осаждение тонкодисперсных капель жидкости	582
3. Осаждение посторонних газов	583
3.1. Осаждение посторонних газом путем конденсации	583
3.2. Очищение газа путем абсорбции	585
3.3. Очищение газа путем адсорбции	590
3.4. Очистка газа путем испарения через паропроницаемую мембрану	595
3.5. Каталитическая очистка газа	597
3.6. Очистка отработанного воздуха путем сжигания	598

ГЛАВА XI. ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ	600
1. Сушка.....	601
1.1. Физические аспекты	601
1.2. Диаграмма сушки $h-X$	605
1.3. Способы сушки	608
1.4. Сушилки для насыпи твердых веществ	610
1.5. Сушилки для жидкостей и суспензий	613
1.6. Сублимационная сушка под вакуумом.....	615
1.7. Промышленная установка для центрифугирования и сушки	618
2. Термическое разделение растворов	619
2.1. Испарение.....	620
2.1.1. Испарение чистых растворителей	620
2.1.2. Испарение растворов	621
2.1.3. Конструкция и процессы в выпарных аппаратах	622
2.1.4. Периодическое и непрерывное выпаривание.....	623
2.1.5. Конструктивные исполнения выпарных аппаратов	624
2.1.6. Выпарные установки	626
2.2. Кристаллизация из растворов.....	629
2.2.1. Физические аспекты	630
2.2.2. Способы кристаллизации	631
2.2.3. Кристаллизаторы.....	632
2.3. Особые способы кристаллизации: высаливание, разжижение, выпадение в виде кристаллов.....	636
2.4. Вымораживание (холодная концентрация)	638
3. Термическое разделение смесей жидкостей.....	639
3.1. Физические аспекты	640
3.1.1. Поведение при кипении жидкостей	640
3.1.2. Поведение жидкостей при кипении смесей.....	641
3.1.3. Давление пара смесей жидкостей	641
3.1.4. Диаграмма кипения (фазовая диаграмма)	643
3.1.5. Кривая равновесия	644
3.2. Дистилляция (перегонка)	645
3.2.1. Простая ступенчатая перегонка.....	645
3.2.2. Поведение различных жидкостных смесей при дистилляции.....	646
3.2.3. Фракционированная ступенчатая перегонка.....	648
3.2.4. Простая непрерывная перегонка.....	649
3.2.5. Перегонка с водяным паром	650
3.3. Ректификация	652
3.3.1. Процессы в ректификационной колонне с колпачковыми тарелками	652
3.3.2. Ректификационные колонны с обменными тарелками	655
3.3.3. Изменение состава в ректификационной колонне	656
3.4.4. Теоретическое число ступеней разделения	657
3.3.5. Коэффициент усиления и необходимое число обменных тарелок.....	657
3.3.6. Флегмовое число	658
3.3.7. Ректификационные колонны с насадками и набивками	659

3.4. Способы ректификации.....	662
3.4.1. Ступенчатая ректификация	662
3.4.2. Непрерывная ректификация	663
3.4.3. Типы подачи смеси.....	665
3.4.4. Определение числа ступеней разделения в непрерывной ректификационной колонне	666
3.4.5. Влияние высоты подачи смеси	669
3.5. Ректификация многокомпонентных смесей.....	670
3.6. Ректификация термочувствительных смесей.....	672
3.7. Переработка нефти.....	673
3.8. Ректификация азеотропных смесей и смесей с примерно равными точками кипения	676
3.8.1. Поведение при кипении азеотропных смесей	676
3.8.2. Способ ректификации азеотропов двойным давлением	678
3.8.3. Ректификация азеотропов путем использования вспомогательного вещества.....	679
3.8.4. Экстрактивная ректификация	680
3.9. Комбинированный способ ректификации	681
3.10. Экономия тепловой энергии при эксплуатации ректификационных установок	683
3.11. Управление ректификационными установками	684
ГЛАВА XII. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ.....	685
1. Экстракция твердой фазы.....	686
1.1. Процессы и понятия	686
1.2. Промышленный процесс экстрагирования	687
1.3. Растворители для экстракции твердой фазы.....	687
1.4. Физические аспекты	688
1.5. Поведение веществ при экстрагировании твердой фазы	689
1.6. Установки периодического действия для экстракции твердых веществ.....	691
1.7. Установки непрерывного действия для экстракции твердых веществ.....	693
2. Экстракция жидкости из жидкостной смеси	696
2.1. Физические аспекты	697
2.2. Установки периодического действия для экстракции жидкостей из жидкостных смесей	698
2.3. Установки непрерывного действия для экстракции жидкостей из жидкостных смесей	699
2.4. Производительность экстракционных колонн	702
3. Метод ионообмена	704
3.1. Физико-химические аспекты	704
3.2. Полное обессоливание воды.....	706
3.3. Умягчение воды	707
3.4. Обезвреживание сточных вод	708
3.5. Ионообменные установки	708
4. Технология мембранного разделения.....	710
4.1. Классификация способов мембранного разделения жидкости из жидкостной смеси	711

4.2. Мембранное разделение жидкости из жидкостной смеси	712
4.2.1. Обратный осмос	712
4.2.2. Нанофильтрация	713
4.2.3. Ультрафильтрация	713
4.2.4. Микрофильтрация.....	713
4.3. Аппараты мембранного разделения	714
4.4. Установки для мембранного способа разделения	716
4.5. Первапорация.....	717
4.6. Проникновение пара.....	719
ГЛАВА XIII. ТЕХНИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	721
1. Обзор, определения и ограничения.....	721
2. Техника автоматического регулирования	724
2.1. Основы.....	724
2.2. Изображение и обозначение измерительных, управляющих и регулирующих элементов.....	727
2.3. Примеры размещения объектов EMSR/КИП на химических предприятиях	730
2.4. Объект регулирования.....	733
2.4.1. Статическое поведение объектов управления	733
2.4.2. Динамическое поведение управляемых систем	734
2.5. Представление функциональных элементов аппаратуры управления на схемах	736
2.6. Регулятор	739
2.6.1. Временные характеристики регуляторов непрерывного действия	739
2.6.2. Сравнение типов регуляторов и области их использования	742
2.6.3. Дискретные регуляторы	743
2.6.4. Устройства регулирования	745
2.6.5. Регулятор без вспомогательной энергии.....	746
2.7. Задачи регулирования на химических предприятиях.....	748
2.7.1. Регулирование температуры	748
2.7.2. Регулирование давления	750
2.7.3. Управление потоком	752
2.7.4. Регулирование количества	753
2.7.5. Контроль уровня	753
2.7.6. Регулирование показателей анализа	754
2.7.7. Регулирование ректификационной установки	755
2.8. Поведение контура управления и настройка регулятора	756
3. Техника автоматического управления	758
3.1. Основы теории управления	758
3.2. Способы управления.....	759
3.3. Способы описания процессов управления	761
3.3.1. Описание с помощью текста и графических схем	761
3.3.2. Представление логических функций.....	762
3.3.3. Временная диаграмма и схема последовательности переключений	763

3.3.4. Схема последовательности переключений в реакторах периодического действия	763
3.4. Основные функции обработки двоичных сигналов	765
3.5. Функциональные схемы управления последовательностью операций с использованием языка спецификаций GRAFCET	768
3.5.1. Управление последовательностью операций в установке для смешивания	771
3.5.2. Управление последовательностью операций в реакционной установке	772
3.5.3. Управление последовательностью операций в системе центрифугирования	774
3.6. Техническая реализация систем управления	776
3.6.1. Механические системы управления	776
3.6.2. Электрические системы управления	776
3.6.3. Электронные системы управления	777
3.6.4. Программируемые логические контроллеры (ПЛК)	778
4. Техника автоматического управления процессами	782
4.1. Сравнение традиционных средств EMSR/КИП и систем АСУ ТП	782
4.2. Структура АСУ ТП	785
4.2.1. Элементы АСУ ТП	785
4.2.2. АСУ ТП крупного химического предприятия	786
4.2.3. Блоки автоматизации	787
4.2.4. Блоки ввода-вывода	788
4.2.5. Пункт контроля и управления	789
4.2.6. Системы шин	789
4.2.7. Станция управления	790
4.3. Отображение технологического процесса на экране	790
4.3.1. Мнемосхемы	791
4.3.2. Готовые изображения	792
4.3.3. Графики	793
4.3.4. Наложенные изображения	793
4.4. Эксплуатация АСУ ТП	794
4.5. Функциональные возможности АСУ ТП	795
4.5.1. Функции обработки данных измерений	796
4.5.2. Функции регулирования	796
4.5.3. Функции управления	797
4.5. Управление рецептурой при периодических процессах	798
Обслуживание и контроль	800
4.5.5. Управление трубопроводными сетями	801
4.5.6. Функции контроля	802
4.5.7. Управление техобслуживанием	803
ГЛАВА XIV. ИНЖЕНЕРИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ	805
1. Виды реакций	805
2. Факторы, определяющие протекание реакции	806
3. Периодический способ производства	808
3.1. Реакторы	808
3.2. Характеристики циклической работы	809

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее издание «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА» представляет собой учебник и справочное пособие для всех, кто учится или работает в сфере проектирования и эксплуатации объектов химической промышленности, а также для тех, кто изучает этот предмет, хочет расширить свои знания и продолжить образование в этой области.

Пособие подходит для студентов профессиональных училищ, техникумов и для освоения прикладных дисциплин в университетах, а также для обучения на предприятиях и для самообразования.

Издание содержит обзор структур химических установок и функций их компонентов, а также информацию о технологии химических процессов, включая средства измерения, контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Кроме того, рассматриваются вопросы охраны окружающей среды и техники безопасности.

В частности, оно используется в качестве учебного пособия для стажеров по химическим специальностям на предприятиях и в школах. Например, в Германии — для получающих квалификацию техника-химика, специалиста по химическому производству, помощника химико-технического специалиста и оператора химической технологии; в Австрии — инженера-химика, в Швейцарии — технолога-химика.

Частично книга подходит для обучения специалистов по водоснабжению и водоотведению, фармацевтов-технологов, системных механиков, строителей трубопроводов и складских емкостей.

Кроме того, учебник может служить ценным подспорьем для профессионального развития и роста многих сотрудников, работающих на химическом производстве, но не имеющих профессионального образования в области химической техники.

Пособие идеально подходит для обучения промышленных мастеров в области химии и техников-химиков промышленного и производственного инжиниринга.

Для студентов, изучающих химическую инженерию и химию, пособие станет источником всесторонних базовых знаний в данных областях.

Книга «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА» систематизирована и разделена на отдельные предметные области. Такая модульная структура позволяет рассматривать различные темы не только в том порядке, в котором они появляются в книге, но и в другой последовательности или по отдельности. Книга написана понятным языком. Введены и объяснены необходимые технические термины. Важные технические термины даны также на английском языке.

Более 2000 цветных иллюстраций, фотографий и графических изображений, а также большое количество таблиц подобраны для пояснения и поддержки текста.

Отдельные предметные области вводятся с объяснением физических и химических основ. Затем рассматриваются процессы, а также аппараты, машины и системы. Это способствует пониманию и осмысливанию темы.

Формальные закономерности иллюстрируются практическими примерами, а последующие задания способствуют дальнейшему углубленному пониманию. Основные выводы излагаются в краткой и удобной форме, способствующей лучшему запоминанию учащимися.

В конце каждой главы приведены задачи и вопросы для повторения, по которым можно прорабатывать текст книги. Задания предназначены для дальнейшего

закрепления полученных знаний, а также помогут учителям или преподавателям разнообразить свои уроки.

В разделе 5 главы XV перечислены направления обучения химиков-технологов в соответствии с рамочной учебной программой КМК и сделаны предложения относительно содержания книги «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА».

Предметный указатель в конце пособия позволяет быстро находить нужную информацию. Он содержит перевод технических терминов на английский язык. Его можно использовать как словарь ключевых слов.

Настоящее 12-е издание выходит с новым содержанием; в него также внесены следующие дополнения: проектирование химических установок (разд. 10 главы I), измерение температуры и давления (разд. 1.3–2.8 главы V), проведение ситового анализа (разд. 10 главы I и далее), средства контроля качества (разд. 6.3 главы VI), абсорбция (разд. 3.2 главы X и далее), пример задачи ректификации (разд. 3.4.4 главы XI), влияние высоты входа в ректификационных колоннах на эффект разделения (разд. 3.4.5 главы XI), жидкостно-жидкостная экстракция (разд. 1.3–2.4 главы XII).

Автор и издатель с нетерпением ждут содержательных предложений по улучшению книги по адресу lektorat@europa-lehrmittel.de.

Зима 2014/2015 г.

Экхард Игнатович

ВВЕДЕНИЕ

Химия и окружающая среда

Область применения химических веществ

Сегодня мы повсеместно используем продукцию химической промышленности (рис. В.1). Среди прочего можно назвать:

- предметы гигиены (мыло, моющие средства);
- одежду из синтетических волокон;
- лекарственные препараты, косметические средства;
- красители;
- удобрения, ядохимикаты, пестициды;
- смазочные материалы, масла, ускорители отверждения, охлаждающие средства.

Развитие производства этих и многих других изделий обеспечивает в промышленности создание новых рабочих мест, в сельском хозяйстве — рост урожайности, а в целом, несомненно, способствует общему повышению уровня жизни человека.

Опасность для окружающей среды

Но процессы производства или обработки столь полезной продукции химической промышленности неизбежно связаны с образованием разного рода остатков, отходов, сточных вод и отработавших газов. Их неправильная утилизация может причинить серьезный ущерб окружающей среде, привести порой к полной гибели природы и даже стать источником смертельной опасности для людей и всего живого мира (рис. В.2).

Заражение почвы и отравление грунтовых вод нередко являются следствием небрежного хранения ядовитых отходов химического производства.

Попадание сточных вод, токсичных и вредных по своему составу, в реки и озера ставит под угрозу состояние водных ресурсов, которые уже не могут использоваться для питьевого водоснабжения.



Рис. В.1. Некоторые изделия химической промышленности



Рис. В.2. Причинение вреда окружающей среде

В результате **выброса в атмосферу** опасных для здоровья человека либо просто обладающих неприятным запахом газов или облаков пыли качество воздуха иногда ухудшается настолько, что практически все население данного района начинает чувствовать острое недомогание.

Ответственность работников химических предприятий за состояние окружающей среды

Каждое предприятие химической промышленности в сотрудничестве с компетентными государственными органами разрабатывает соответствующие меры экологической защиты, призванные если не исключить в полной мере, то хотя бы снизить до минимума вредное воздействие химического производства на окружающую среду (см. гл. XV). Чтобы такие меры оправдали себя, все занятые в этой сфере работники должны строго соблюдать определенные нормы и правила. В частности, они обязаны:

- следить за безотказным функционированием химических установок в соответствии с разработанным производственным планом;
- немедленно устранять возможные сбои и неполадки или оповещать об этом ответственных лиц;
- не допускать несанкционированного спуска химикатов в канализацию и обеспечивать их грамотную утилизацию;
- для сбора и хранения вредных веществ использовать специально отведенные для этой цели места, надежные сборники и коллекторы;
- по возможности снижать объем неизбежных отходов, например, за счет многократного использования материалов на основе вторичной переработки;
- во всех сложных ситуациях прибегать к помощи специалистов-экологов.

Безопасность на химическом производстве

Место, где расположено и функционирует предприятие химической промышленности, таит в себе массу опасностей для персонала. Помимо обычных несчастных случаев, связанных с механическими травмами, здесь нередки сложные ситуации особого рода, характерные именно для химического производства и возникающие, в частности, при обращении с ядовитыми, едкими, горючими и взрывоопасными химикатами.

Поэтому все работники, и особенно новички, должны в целях собственной безопасности строго соблюдать действующие нормы и регламенты, прислушиваясь к советам и рекомендациям непосредственных руководителей и более опытных сотрудников. Это послужит для них залогом сохранения не только своего здоровья, но и жизни окружающих людей.

Обязательными для работы на химическом предприятии являются специальные правила техники безопасности, разработанные Союзом предпринимателей химической промышленности с учетом многолетнего опыта работы в данной отрасли. Эти правила должны находиться в открытом доступе, внимательно изучаться и использоваться как в повседневной работе, так и в случае возникновения опасных ситуаций.

Места повышенной опасности обязательно отмечаются специальными **табличками**, указывающими на необходимость определенного поведения в данном месте. Такие указания подлежат безусловному и безоговорочному исполнению.

Запрещающие знаки

Эти знаки запрещают те или иные действия, обозначенные на табличке в виде наглядного рисунка общепринятой конфигурации (рис. В.3). Они обычно имеют круглую форму, красную окантовку и перечеркиваются красной полосой. Запрещенное действие представлено в виде черной графики на белом фоне.

Важнейшей предохранительной нормой на химическом производстве считается, естественно, общий запрет на курение и на пользование открытым огнем.

Помещения, специально предназначенные для курения, отмечаются особым образом.

Применение открытого огня — например, при выполнении сварочных работ — допустимо только с разрешения компетентных лиц при соблюдении всех необходимых мер защиты.

Другие таблички касаются запретов на перемещение людей в определенном месте, тушение возгораний водой, а также на использование воды из соответствующего крана в качестве питьевой.

Все эти запреты подлежат обязательному исполнению.

Предупреждающие знаки

Эти знаки предупреждают о возможной опасности (возгорании, взрыве), напоминают о присутствии ядовитых или едких веществ, радиоактивного излучения, а также указывают на угрозу со стороны подвешенных на канатах грузов, курсирующих транспортных средств, сообщают о наличии высокого электрического напряжения и прочих опасных моментах (рис. В.4 и В.5).

Предупреждающие знаки имеют форму треугольника с соответствующей черной графикой на желтом фоне.



Рис. В.3. Таблички с запрещающими знаками



Рис. В.4. Предупреждающие знаки

Помимо этого, опасное место может быть ограждено лентой с косыми черно-желтыми полосками или такими же балками.

В местах, отмеченных предупреждающими знаками, необходимо строго соблюдать действующие правила техники безопасности.

О начале работ в такой зоне следует обязательно уведомить непосредственного начальника и выслушать его советы и рекомендации.

Запомните: надо сначала информировать, потом действовать!

Даже если работа носит срочный характер, при ее выполнении приоритетной всегда остается полная безопасность!

Предписывающие знаки

Такие знаки предписывают использование индивидуальных средств защиты в отмеченной зоне (рис. В.5): это синие круги с белым графическим изображением соответствующего оснащения.

При работе на химических установках либо при нахождении вблизи этого оборудования настоятельно рекомендуется носить защитную каску и защитную обувь.



При обращении с едкими химикатами либо при работе с установками, содержащими такие химикаты, описанный выше комплект следует дополнить защитными очками и перчатками. При выбросе ядовитых газов или пыли потребуется защита органов дыхания, для чего используются респираторы.

Предписывающие знаки обязывают использовать индивидуальные средства защиты.

Пути спасения при аварии

Рис. В.5. Предписывающие знаки



Рис. В.6. Знаки, обозначающие пути спасения при аварии

Таковыми знаками отмечаются пути спасения, аварийные выходы, спасательные станции и пункты скорой помощи (рис. В.6). Они представлены в виде прямоугольников с белым графическим символом на зеленом фоне. Их основная задача – в аварийной ситуации указать ближайший путь к спасению и получению первой помощи.

Имеющиеся убежища, аварийные выходы и спасательные пункты должны быть хорошо известны каждому работнику предприятия.

Более подробно об охране труда и нормах техники безопасности см. гл. XIV.

Знаки пожарной безопасности

Знаки пожарной безопасности обозначают место, где находятся приборы или устройства для борьбы с пожаром (рис. В.7).

Они представляют собой квадратные плакаты и содержат на красном фоне символы, например огнетушитель. Приборы и устройства для борьбы с пожаром нельзя накрывать или загромождать.



Рис. В.7. Знаки пожарной безопасности

Пути спасения и места спасения, так же как и противопожарное оборудование на рабочем месте, должны быть известны каждому сотруднику.

Дальнейшие разъяснения по предотвращению несчастных случаев и безопасности труда см. в гл. XIV.

Начальные сведения о химическом производстве

Заявленная здесь тема является весьма обширной, и ее можно условно разделить на несколько отраслей знаний:

- **технологические способы получения химических веществ.** Данную отрасль обозначают также термином «химическая технология» (англ. unit processes);
- **процессы химической технологии.** Эта отрасль занимается отдельными технологическими операциями — «базовыми процессами» (англ. unit operations), необходимыми для технической реализации собственно химического производства. К таким базовым технологическим операциям относятся, например, измельчение, нагрев или охлаждение, смешивание и разделение, причем здесь, как правило, речь идет о процессах без химического превращения веществ. Но последние, тем не менее, изменяют свое состояние — гранулометрический состав, температуру, концентрацию. В случае базовых технологических операций обычно имеются в виду собственно физические процессы;
- **аппаратная и машинная техника.** Эта отрасль посвящена аппаратам и машинам, необходимым для осуществления химических реакций и базовых технологических операций. Так, котел с мешалкой представляет собой аппарат, где может протекать химическая реакция или выполняться операция смешивания. Электродвигатель, который, например, приводит в действие мешалку этого котла, является приводным механизмом, дающим необходимую для смешивания энергию;
- **контрольно-измерительные приборы и автоматические регуляторы (КИПиА).** Данная отрасль занимается устройствами для измерения, контроля и регулирования параметров рабочего состояния в химической установке. Именно благодаря их использованию химические реакции и процессы превращения веществ протекают надежно и в оптимальных условиях. К КИПиА относятся, в частности, приборы для измерения давления (манометры), определения величины pH или регуляторы температуры.

Химическая установка



Рис. В.8. Химическая установка

Химические процессы протекают **в аппаратах**, где для выполнения поставленной задачи могут быть созданы требуемые условия, например заданы соответствующие значения температуры, давления и проч. Порой для решения тех или иных химико-технических задач нужен целый **ряд аппаратов**, связанных между собой специальными подающими устройствами (типа насосов) и трубопроводами. **Машины** генерируют необходимую энергию, **КИПиА** осуществляют контроль, измерение и регулирование параметров состояния.

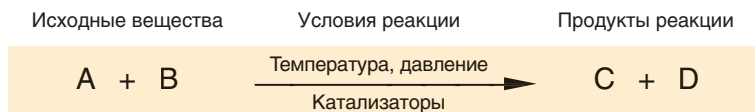
Совокупность всех этих приборов и устройств носит общее название «**производственная, или химическая, установка**» (рис. В.8).

Представление протекания химического процесса

Попробуем продемонстрировать на общем примере все многообразие поставленных задач и существующих проблем, имеющих место при проведении той или иной реакции на химическом производстве.

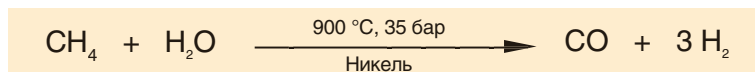
Итак, два вещества А и В при четко установленных рабочих условиях (определенные температура, давление) должны вступить в реакцию с получением веществ С и D.

В химии этот процесс представляют в виде **уравнения химической реакции**.



Уравнение химической реакции описывает процесс химического превращения веществ. В левой части оно содержит исходные вещества, в правой — продукты реакции. Над и под стрелкой, показывающей направление протекания реакции, приведены необходимые для проведения данной реакции условия и катализаторы.

Пример уравнения химической реакции: получение синтез-газа CO/H_2 из метана и воды:



Подготовка исходных веществ к химической реакции и обработка продуктов реакции в целях их дальнейшего использования при этом не находят никакого отражения.

Часто химическая реакция протекает через промежуточные стадии. Образующиеся при этом вещества называют промежуточными продуктами. Они являются

исходными продуктами для следующей ступени. Образующиеся вещества, которые не нужны для производственного процесса, называют побочными продуктами или отходами. В то время как побочные продукты могут быть использованы в другом технологическом процессе, отходы должны перерабатываться или утилизироваться.

Процессы химической технологии могут быть представлены в виде технологической блок-схемы, куда заносятся не только сами используемые вещества, но и пути их прохождения с указанием базовых операций (рис. В.9).

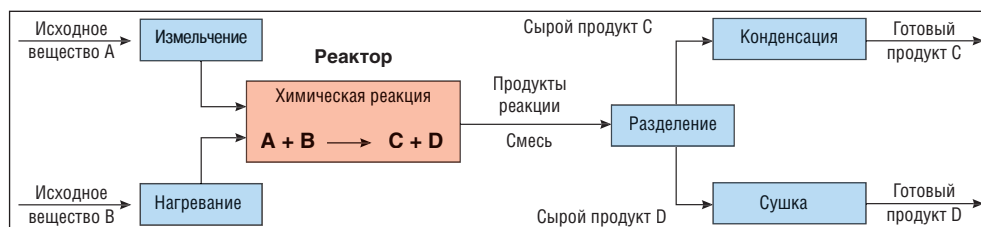


Рис. В.9. Технологическая блок-схема химического производственного процесса

«Сердцем» химической установки является реактор. Именно там происходит превращение исходных веществ в продукт реакции. Любой реакции должна предшествовать определенная подготовка исходных веществ, например их измельчение или нагревание. После химической реакции представленные иногда в виде смеси вещества подлежат разделению, затем сырые продукты обрабатываются еще раз — в целях приобретения качеств, необходимых для их дальнейшего применения либо сбыта.

Схема технологического потока (также называется изображением технологического потока) представляет химический процесс производства продукта в схематической форме с использованием графических символов аппаратов и линий для потоков веществ (рис. В.10). Пример, приведенный на рис. В.10, показывает реакцию осаждения в химическом реакторе с последующим фильтрованием суспензии и получением чистой жидкости и твердого остатка. Последние складываются в цистерну или бочку. Символы для аппаратов нормированы, так же как и проведение линий для потоков веществ (см. разд. 11 главы I). Характеристические условия производства и данные по важнейшим потокам веществ дополняют схему технологического производства. Свободно составленные технологические схемы, например используемые на экранах дисплеев и мониторов в системах наблюдения за процессом, дают еще более реалистичное изображение химической установки (рис. В.11).

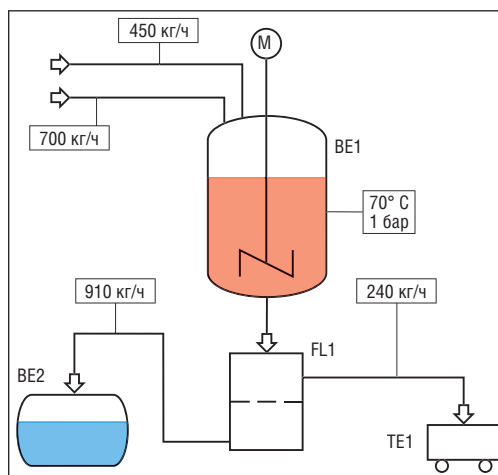


Рис. В.10. Схематическое представление установки

Типы процессов в химической промышленности

В процессах, связанных с превращением веществ, различают химические и биохимические процессы. В то время как в химических процессах превращение веществ происходит вследствие только химических реакций, превращение веществ в биохимических процессах осуществляется с помощью микроорганизмов, таких как бактерии и грибы.

Технические методы основных операций подразделяют на механические методы, как, например, измельчение, просеивание и смешение, и на термические методы, как, например, нагревание, охлаждение, высушивание и перегонка.

В одной химической установке скомбинированы химические процессы превращения с техническими методами основных операций. Так что, например, химическое превращение в реакционном сосуде (реакторе) протекает с одновременным перемешиванием (механическая основная операция) и нагреванием (термическая основная операция) (рис. В.11).

Режимы работы химической установки

Химическая установка может функционировать в разных режимах.

Периодическая работа

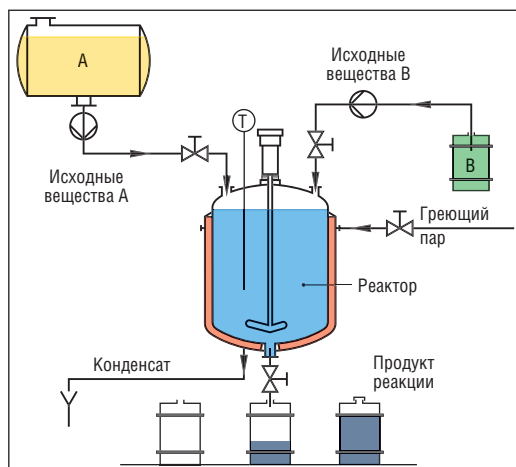


Рис. В.11. Химическая установка периодического действия

При периодическом, или прерывистом, способе работы (англ. batch process), осуществляемой по мере загрузки, отдельные технологические операции выполняются последовательно друг за другом. Установка состоит из реакционного сосуда, например мешального котла, подводящих и отводящих трубопроводов (рис. В.11). Сначала в реактор накачивается исходное вещество A с последующим нагреванием. В результате постепенного добавления исходного вещества B протекает химическая реакция, после завершения которой происходит выпуск продукта реакции. Затем начинается новый цикл загрузки.

Такому периодическому принципу действия отдается предпочтение в случае часто меняющихся продуктов и небольшого расхода веществ. На такой же установке могут быть реализованы медленно протекающие реакции или отличные методы получения.

Непрерывная работа

В непрерывно работающей химической установке через аппараты и реакторы от начала и до конца установки протекает постоянный (продолжительный) массовый поток (рис. В.12).

В каждом отдельном аппарате протекают локальные следующие друг за другом этапы процесса. В каждом аппарате в течение всего процесса сохраняются постоянными его параметры, как, например, температура, давление и состав продуктов.

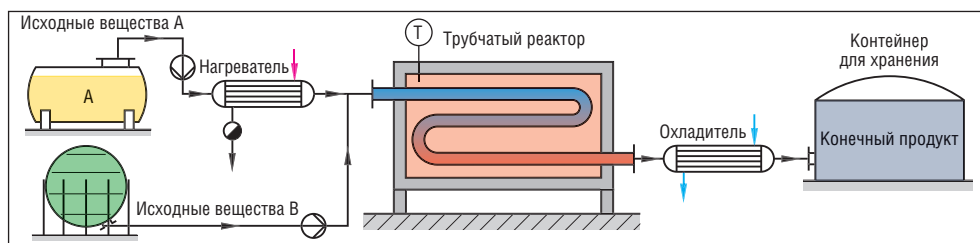


Рис. В.12. Химическая установка непрерывного действия

Непрерывные химические установки используются при производстве большого количества продукции по твердо установленному технологическому процессу.

Разработка химического технологического процесса

Прежде чем тот или иной продукт будет изготовлен в химической установке, проводится множество исследований и подготовительных работ.

Первым шагом на этом пути является доскональное изучение в химической лаборатории соответствующего химического процесса (рис. В.13), как он описывается в уравнении химической реакции. На основе большого числа лабораторных опытов определяются затем наиболее благоприятные условия протекания данной химической реакции. Далее в лаборатории скрупулезно исследуются способы подготовки необходимых для данной реакции исходных веществ, а также операции по разделению и дополнительной обработке продуктов реакции. В химических лабораториях работают, как правило, с массами менее или чуть больше 1 кг.

Результаты лабораторных исследований служат основой для создания полупромышленной экспериментальной установки, в которой подготавливается перенос соответствующего химического процесса в промышленные условия (рис. В.14).



Рис. В.13. Химическая лаборатория



Рис. В.14. Полупромышленная установка



Рис. В.15. Полноразмерная промышленная установка

щества имеют вес обычно менее 100 кг.

Полученные благодаря работе с полупромышленной установкой сведения об условиях протекания химических реакций и выходе продукта, а также о поведении веществ и способах управления установкой используются для расчета и строительства полноразмерной промышленной химической производственной установки (рис. В.15). Она конструируется с расчетом на максимально большой объем продукта реакции с минимальными затратами на этот процесс. При этом должны учитываться, естественно, и вопросы защиты окружающей среды, ибо даже незначительные выбросы вредных веществ при больших объемах превращения способны привести к экологической катастрофе. Этот перенос параметров с пилотной установки на промышленную в английском языке обозначается как **scale up**.

Полупромышленная установка, обладая меньшими размерами, имеет, в принципе, ту же конструкцию и такую же компоновку аппаратуры, что и будущая производственная установка. Она рассчитана таким образом, что все отдельно выполняемые технологические операции можно контролировать, при необходимости изменять и совершенствовать. Поэтому большая часть аппаратного оборудования выполнена из стекла, что позволяет наблюдать за происходящими внутри процессами. Подлежащие превращению ве-

ГЛАВА I

ХИМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Для неспециалиста химическая установка выглядит на первый взгляд как нечто невообразимое — весьма сложное сооружение, состоящее из множества отдельных элементов (см. рис. В.15).

И только при ближайшем рассмотрении удается понять, что это множество отдельных деталей может быть сведено к достаточно ограниченному числу **основных узлов** (рис. I.1).

Трубопроводы

Трубы соединяют между собой отдельные аппараты химической установки. По ним вещества передаются от одного аппарата к другому.

В большинстве случаев несколько участков труб посредством соединений монтируются в единую трубопроводную систему.

Арматура

Арматура встроена в трубопроводы и регулирует объем протекающих по ним веществ. Кроме того, она выполняет функции открытия и закрытия трубопроводов, а также защищает установки от перегрузок.

Реакционные аппараты

В реакторах протекают химические реакции. Реакционные аппараты выполнены таким образом, что в них всегда можно поддерживать необходимые для протекания реакции условия (давление, температуру и проч.).

Технологические аппараты

Технологические аппараты служат для подготовки, нагревания или охлаждения, а также смешивания отдельных веществ и разделения смесей. Они размещены обычно на участках перед реактором либо после него.

Транспортное оборудование и подающие устройства

Подающие устройства служат для транспортировки веществ к тому месту в производственной

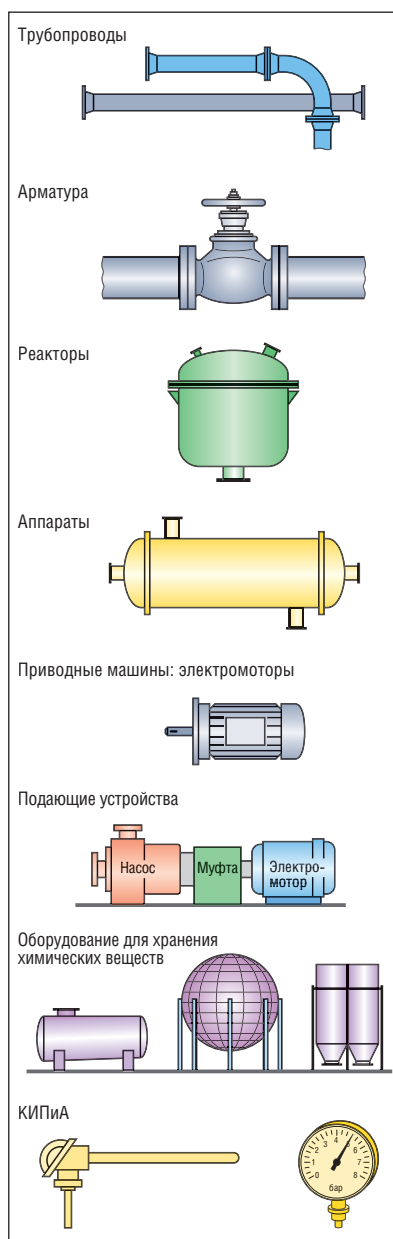


Рис. I.1. Основные элементы химических установок

установке, где их надлежит использовать. К таким устройствам относятся, например, ленточные транспортеры, пневматические подающие системы, а также насосы и компрессоры.

Оборудование для хранения материалов

Необходимые для химического производства вещества должны храниться, временно складироваться и содержаться про запас в специально предназначенных для этой цели емкостях. Необходимый объем запасов гарантирует бесперебойное поступление требуемых исходных веществ и, следовательно, отсутствие простоев в работе.

Контрольно-измерительные и регулировочные устройства

КИПиА предназначены для контроля рабочего состояния (например давления и температуры) в химических установках и оптимизации условий протекания процесса. Системы управления процессом в химических установках действуют автоматически по заранее заданным программам.

1. ТРУБОПРОВОДЫ



Рис. 1.2. Трубопроводы в химической установке

Трубопроводы представляют собой соединения труб между элементами установки для транспортировки необходимых химических веществ и других материалов. В химических установках перемещение веществ осуществляется преимущественно в закрытых трубопроводах. Поскольку речь идет об изолированных или замкнутых в себе деталях установки, можно говорить также о трубопроводных системах, или сетях трубопроводов (рис. 1.2).

Трубопроводы состоят из трех составных частей:

- прямые и изогнутые отрезки трубы;
- фасонные отрезки трубы;
- соединительные элементы, которые соединяют отрезки трубы между собой.

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

Дополнительно трубопроводы могут быть оснащены необходимой изоляцией и сопровождающим обогревом.

В соответствии с производственными требованиями выбираются размеры труб и наиболее подходящий материал для них. В целях стандартизации размеры труб были унифицированы и классифицированы с учетом допустимого давления.

1.1. Условный проход DN

Номинальный внутренний диаметр DN (*англ.* nominal diameter) является параметром, который в системах трубопроводов используется как отличительный параметр подходящих друг к другу частей, например труб, фасонных изделий и арматуры. Он приблизительно соответствует внутреннему диаметру трубных частей в миллиметрах.

Номинальный внутренний диаметр DN – безразмерная величина. **Пример:** номинальный внутренний диаметр – DN 125.

Номинальный внутренний диаметр нельзя использовать в качестве размера в технических чертежах (рис. 1.3).

Номинальные внутренние диаметры так сгруппированы, что переход от одного значения номинального внутреннего диаметра к другому увеличивает производительность трубопровода примерно на 60–100%.

Предпочтительные значения DN по DIN EN ISO 6708: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000.

Для всех прочих деталей трубопровода, как то: фасонных частей, соединений труб, арматуры – действительны те же градации условных проходов. Их стандартные размеры установлены с таким расчетом, чтобы припасовка этих деталей друг к другу не вызывала затруднений.

Условный проход определяется конструктором установки с учетом скорости течения и объема вещества, пропускаемого по трубопроводу.

С этой целью для трубопровода вычисляется **требуемый диаметр в свету d_i** (в мм) по следующей формуле:

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot v}},$$

где $\dot{V}$ – объемный расход; v – скорость течения.

В качестве условного прохода выбирают тот, что ближе всего стоит к вычисленному диаметру в свету.

Пример. Вычисленный диаметр в свету $d_i = 37,5$ мм. Выбранный условный проход – DN 40.

Упражнение. По трубе с условным проходом DN 40 (внутренний диаметр 43,1 мм) ежесекундно протекает $3,2 \text{ м}^3$ воды. Какова скорость течения в трубе?

Основная формула:

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot v}}.$$

Путем перестановки получаем:

$$v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2}.$$

Подставляем:

$$v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2} = \frac{4 \cdot 3,2 \text{ м}^3}{\pi \cdot 43,1 \text{ мм}^2 \cdot \text{ч}} \approx \frac{4 \cdot 3,2 \cdot 10^9 \text{ мм}^3}{\pi \cdot 1858 \text{ мм}^2 \cdot 3600 \text{ с}} \approx 6,09 \text{ мм/с} \approx 0,609 \text{ м/с}.$$

Результат: $v = 0,609 \text{ м/с}$.

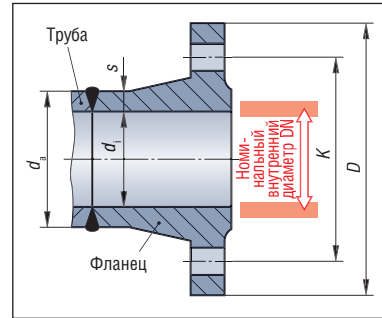


Рис. 1.3. Размеры труб

Задача. Мешальный чан емкостью $1,2 \text{ м}^3$ надо заполнить жидкостью в течение 5 мин. Скорость течения в подводящей трубе не должна превышать 1 м/с . Каким условным проходом должна обладать подводящая труба?

1.2. Номинальное давление PN

Номинальное давление PN (*англ.* pressure nominal) является признаком ступени давления, характеризующим части трубопровода идентичного исполнения и равных сопряженных (присоединительных) размеров.

Численное значение номинального давления, например, при PN 10 показывает максимально допустимое рабочее давление в барах при рабочей температуре 20°C . Номинальное давление приводится без единицы измерения.

Во избежание бесчисленного множества ступеней давления было принято соответствующее число таких ступеней, исходя из опыта практического производства (табл. I.1).

Таблица I.1. Предпочтительные значения номинального внутреннего диаметра DN (DIN EN 1333)

PN 2,5	PN 25
PN 6	PN 40
PN 10	PN 63
PN 16	PN 100

Если, например, требуется трубопровод для химической установки с рабочим давлением 20 бар, то выбирают элементы трубопроводной системы для более высокого номинального давления, то есть в данном случае PN 25. Арматура и фитинги для этого трубопровода также должны соответствовать ступени давления PN 25.

Толщина стенки трубы (с учетом прочности используемого для изготовления трубы материала) рассчитывается таким образом, чтобы она могла выдержать указанное номинальное давление (табл. I.2).

Таблица I.2. Размеры стальных труб в мм из нелегированной стали в зависимости от номинального размера и номинального давления

			Условные проходы DN																	
			DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	
Номинальные уровни давления PN	PN 2,5	d_s	17,2	21,3	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1	273	323,9	355,6	406,4	
	PN 6	s	1,8	2	2,3	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5,9	6,3	7,1	7,1	7,1	
	PN 10	d_i	13,6	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3	207,3	260,4	309,7	341,4	392,2	
	PN 16	d_s														219,1	273	323,9		406,4
		s														6,3	7,1	8		8,8
		d_i														206,5	258,8	307,9		388,8
	PN 25	d_s																		
		s																		
		d_i																		
	PN 63	d_s							48,3											
		s							2,9			3,2	3,6	4	4,5	5,6	7,1	8,8	11	12,5
		d_i							42,5			69,7	81,7	106,3	130,7	157,1	204,9	255,4	301,9	330,6
В области, помеченной красной вертикальной стрелкой, справедливы размеры, указанные выше.																				

Минимальную толщину стенки e находящегося под давлением p_c прямого трубопровода, согласно DIN EN 13480-3, можно рассчитать по нижеприведенному уравнению. Здесь p_c – расчетное давление в Н/мм^2 , $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Н/м}^2 = 0,1 \text{ Н/мм}^2$; f – расчетное напряжение Н/мм^2 , z – фактор сварного шва.

Толщина стенки трубы

$$e = \frac{p_c \cdot d_i}{2 \cdot f \cdot z - p_c}$$

или

$$e = \frac{p_c \cdot d_a}{2 \cdot f \cdot z + p_c}.$$

Для неаустенитной

$$f = \frac{R_{p0,2}}{1,5};$$

Для аустенитной

$$f = \frac{R_{p0,2}}{1,2}.$$

Для заказываемой толщины стенки $e_{\text{зак}}$ добавляются еще допуски на коррозию, на производство и на изготовление.

Упражнение. Для трубопровода из сварных труб ($z = 0,7$) с номинальным диаметром DN 80 необходимо произвести расчеты для номинального давления PN 25. Граница удлинения 0,02% аустенического трубного материала составляет 210 Н/мм² (X6CrNiMoTi17-12-2). Добавочная толщина стенки в расчете на различные влияния должна составлять 100% минимальной толщины стенки. Какой должна быть минимальная толщина заказываемой стенки?

Решение. Для DN 80 согласно табл. I.2 $d_i = 82,5$ мм, 1 атм = 10⁵ Н/м² = 0,1 Н/мм²;

$$e = \frac{25 \cdot 0,1 \text{ Н/мм}^2 \cdot 82,5 \text{ мм}}{2 \cdot 175 \text{ Н/мм}^2 \cdot 0,7 - 25 \cdot 0,1 \text{ Н/мм}^2} \approx 0,8505 \text{ мм};$$

$$f = \frac{R_{p0,2}}{1,2} = \frac{210 \text{ Н/мм}^2}{1,2} = 175 \text{ Н/мм}^2;$$

$$e_{\text{зак}} = e \cdot 200 \% \approx 0,8505 \text{ мм} \cdot 200\% \approx 1,701 \text{ мм} \approx 1,7 \text{ мм}.$$

Максимально допустимое рабочее давление

Приводимые величины номинального давления PN справедливы для производственных температур между 10 и 100 °С (окружающая температура). Для производственных температур, выходящих за эти пределы, уменьшается допустимая нагрузка на материалы трубопровода. Вследствие этого уменьшается и допустимое максимальное рабочее давление (рис. I.4).

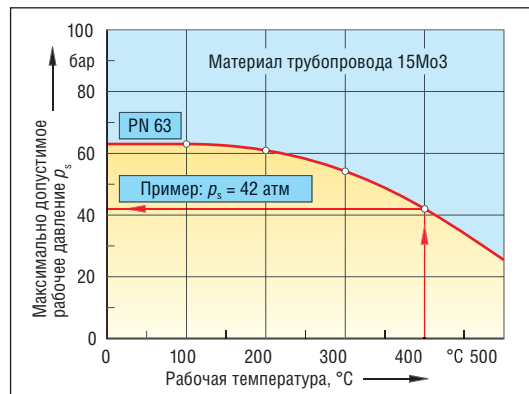


Рис. I.4. Максимально допустимое рабочее давление при повышенных температурах

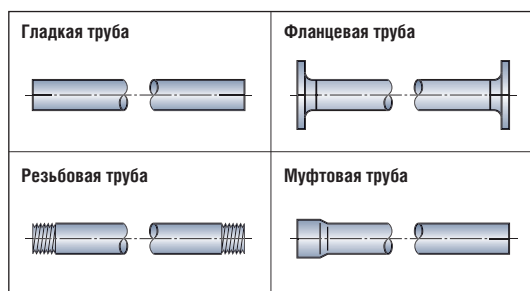
Максимально допустимое рабочее давление p_s — это рабочее давление в атм, которое при повышенных рабочих температурах еще допускается в системе трубопроводов.

Пример считывания показаний. Трубопровод из стали 16Mo3 для номинального давления PN 63 имеет при 20 °С максимально допустимое рабочее давление $p_s = 63$ атм. При 400 °С максимально допустимое рабочее давление составляет еще 42 атм (рис. I.4). Другие данные о допустимых температурах для трубопроводов см. разд. 1.5 главы I.

Задание. Трубопровод из стали 16Mo3 рассчитан на номинальное давление PN 63. Какое максимально допустимое рабочее давление у этого трубопровода при 350 °С?

1.3. Трубы и размеры труб, используемых для построения трубопроводов

Обзор



Классификация труб (*англ.* pipe) может быть проведена по различным параметрам:

- по **форме** различают гладкие трубы, трубы с фланцем, трубы с резьбой и трубы с муфтой (рис. I.5);
- по **способу производства** различают бесшовные трубы и сварные трубы;
- по **материалу**, из которого сделаны трубы, различают стальные

Рис. 1.5. Типы труб

трубы из нелегированной и легированной сталей, а также медные трубы, алюминиевые трубы, трубы из пластмасс и трубы из стекла для химических аппаратов.

Имеется большое число нормированных труб для различных применений. Для построения химических установок используются нижеперечисленные трубы:

- **сварные стальные трубы** для работы под давлением:
 - из нелегированной стали для работы при комнатной температуре (DIN EN 10217-1);
 - из нелегированной или легированной стали для работы при повышенной температуре (DIN EN 10217-2);
 - из нержавеющей стали ((DIN EN 10217-7);
- **трубы из нержавеющей стали** для асептики, химии, фармацевтики (DIN 11866);
- **бесшовные стальные трубы** для работы под давлением:
 - из нелегированной стали для работы при комнатной температуре (DIN EN 10216-1);
 - из нелегированной или легированной стали для работы при повышенных температурах (DIN EN 10216-2);
 - из нержавеющей стали (DIN EN 10216-5).

Размеры труб

В нормативных документах для труб, исходя из номинального размера DN, установлены внешний диаметр и толщины стенки, с которыми изготавливаются трубы.

В некоторых нормативных документах приводится также масса m' , отнесенная к длине трубы.

В табл. I.3 представлены, например, размеры готовых труб из нержавеющей стали (DIN EN ISO 1127).

Таблица I.3. Размеры и масса, отнесенная к длине, труб из нержавеющей стали согласно DIN EN ISO 1127 (трубы ряд 1 — трубы с нормированными принадлежностями)

Номи- нальный размер	Номиналь- ный внеш- ний диаметр в мм	Толщина стенки в мм													
		1,0	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3
		Масса, отнесенная к длине <i>m'</i> , кг/м													
DN 15	21,3	0,509		0,789	0,966										
DN 20	26,9	0,649		1,01	1,25		1,58	1,75	1,90		2,29				
DN 25	33,7	0,818	0,976	1,29	1,58	1,81	2,02	2,23	2,45				3,29		
DN 32	42,4		1,63	2,02		2,59	2,86	3,14	3,49				4,68		
DN 40	48,3		1,87	2,31	2,65	2,97		3,61	4,03				5,42		
DN 50	60,3			2,35	2,92	3,34	3,76	4,17	4,58	5,11	5,83				7,66
DN 65	76,1			2,98	3,70	4,25	4,78	5,32		6,54	7,22		8,90		
DN 80	88,9	Пример	3,49	4,35	4,98	5,61	6,24	6,86	7,68	8,51				11,7	
DN 100	114,3			4,52	5,62		7,27	8,09	8,90	9,98		12,4			17,1
DN 125	139,7			5,33	6,89		8,92		11,0		13,6		16,8		21,0
DN 150	168,3			6,68	8,32		10,8		13,2	14,8	16,4	18,5	20,4	22,8	
DN 200	219,1				10,9		14,1	15,7	17,3	19,4	21,5				33,6
DN 250	273				13,6		17,6	19,6	21,6	24,3	26,9	30,2	33,5		42,0
DN 300	323,9				16,1		20,9	23,3	25,7		32,1	35,9	39,9	44,7	
DN 350	355,6				17,7		22,9	25,6	28,2		35,2		43,8		55,1
DN 400	406,4				20,2		26,3	29,3	32,3		40,3		50,2		

Масса, отнесенная к длине m' , может быть рассчитана по следующему уравнению. В этом уравнении D — номинальный внешний диаметр в мм, T — номинальная толщина стенки в мм, ρ — плотность материала, из которого изготовлена труба, в кг/дм³.

$$m' = (D - T) \cdot T \cdot 0,0246615 \cdot \frac{\rho}{7,85} \text{ в кг/м}$$

Пример. Какую массу, отнесенную к длине, имеет стальная труба, изготовленная из нелегированной строительной стали P235RT2, с номинальным размером DN 50, толщиной стенки 3,2 мм и плотностью стали 7,85 кг/дм³?

Решение:

$$m' = (60,3 - 3,2) \cdot 3,2 \cdot 0,0246615 \cdot \frac{7,85}{7,85} \text{ кг/м} \approx 4,5 \text{ кг/м.}$$

Выбор труб

Подходящие трубы выбираются из нормировочной таблицы (например табл. I.3) исходя из требуемого номинального размера и минимальной толщины стенки, рассчитываемой из номинального давления (см. разд. 1.1 главы I).

Пример. В задании, приведенном на с. 41, определена, исходя из номинального давления PN 25 и номинального давления DN 80, минимальная толщина стенки

$e_{\text{зак}} = 1,7$ мм. Согласно табл. I.3 ближайшее значение толщины стенки $T = 2$ мм, труба с номинальным размером DN 80 имеет номинальный наружный диаметр 88,9 мм, таким образом, размеры трубы – 88,9 × 2,0 мм.

Внутренний диаметр трубы $d_i = d_a - 2 \cdot T = 88,9 \text{ мм} - 2 \cdot 2,0 \text{ мм} = 84,9 \text{ мм}$.

Масса, отнесенная к длине, для трубы 88,9 × 2,0 составляет согласно табл. I.3 $m' = 4,35$ кг/м.

Пример обозначения для трубы при заказе:

42 м трубы – 88,9 × 2,0 EN 10 296-2 – X6CrNiMoTi14-12-2 – d1 в нарезке по 6 м.

Это означает: 42 метра трубы, наружный диаметр 88,9 мм, толщина стенки 2,0 мм, сварная труба круглого сечения согласно EN 10 296-2 – материал X6CrNiMoTi17-12-2, d1, травленая, поставляется в отрезках по 6 м.

1.4. Фасонные части трубопроводов

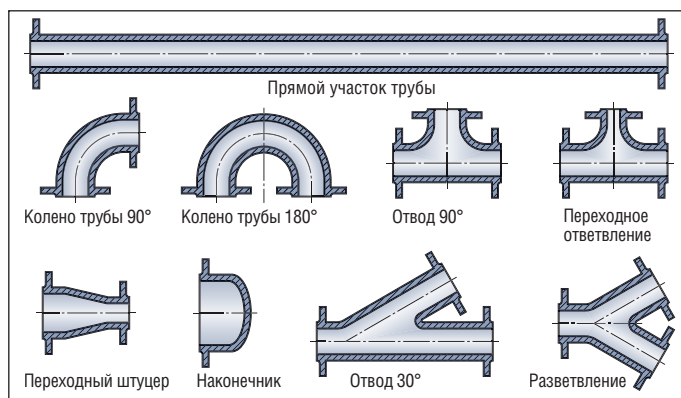


Рис. I.6. Фасонные части труб для сварки

Трубы на месте монтажа с помощью фасонных труб и соединителей для труб собирают в трубопровод. Для этого наряду с прямыми кусками трубы используют подготовленные фасонные отрезки в форме изогнутого отрезка, ответвления, переходника и заглушки. На рис I.6 показаны, например, фасонные отрезки трубы для

фланцевых труб. С их помощью можно собрать все необходимые трубопроводы. Фасонные трубные детали имеются для всех труб, используемых при построении трубопроводов.

1.5. Соединения труб

Отдельные участки труб и фитинги монтируются с помощью специальных соединений. Последние используются также для присоединения к трубопроводам требуемой арматуры и аппаратов.

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),

выбирается подходящее соединение труб (рис. I.7).

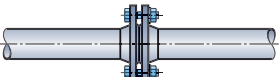
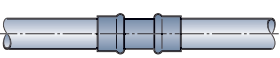
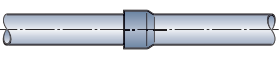
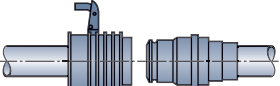
Соединение труб	Принцип соединения	Условное обозначение	Разъемное – неразъемное	Область применения
Сварное			Неразъемное	Пригодно для всех давлений и температур. В особенности для ядовитых и взрывчатых веществ
Фланцевое			Разъемное	Для всех давлений, но ограничено по температуре. Наиболее часто используемое разъемное соединение на химических установках
Резьбовое			Разъемное	Для всех давлений, но ограничено по температуре. Предпочтительно для небольших номинальных значений. Газовые и водяные трубопроводы
Пресс-фитинг			Неразъемное	Только для умеренных давлений и температур. На химических установках из стали CrNi
Муфтовое			Разъемное	Для низких давлений и комнатной температуры
Быстроразборное			Быстроразборное	Для низких давлений и комнатной температуры. Присоединение выпускных шлангов

Рис. I.7. Обзор соединений труб

Фланцевые соединения

Наиболее часто используемым разъемным соединением трубопроводов в химическом аппаратостроении является фланцевое соединение (*англ.* flange joint). С его помощью к трубопроводам присоединяют прежде всего составные части установок, такие как арматура, насосы, емкости и т.д., которые для своего регулярного обслуживания или в случае аварии должны отсоединяться от установки. Фланцевое соединение состоит из двух фланцев, уплотнителя, болтов, шайб и гаек, которые стягивают фланцевое соединение (рис. I.8).

Существует много видов фланцев (рис. I.9). Они различаются по форме и поверхности уплотнения и стандартизированы. Также бывают съемные и несъемные фланцы. Несъемные фланцы жестко связаны с трубопроводом, например, за счет сварки или резьбы (рис. I.9). Приварной фланец – наиболее часто применяемый вид фланцев, поскольку он годится для любых давлений. Другие виды фланцев ограничены или по номинальному размеру, или по номинальному давлению.

Съемные фланцы свободно перемещаются по трубе и уплотня-

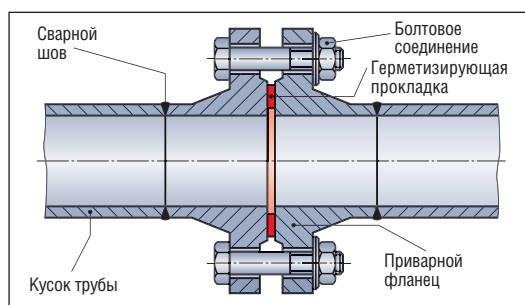


Рис. I.8. Фланцевое соединение

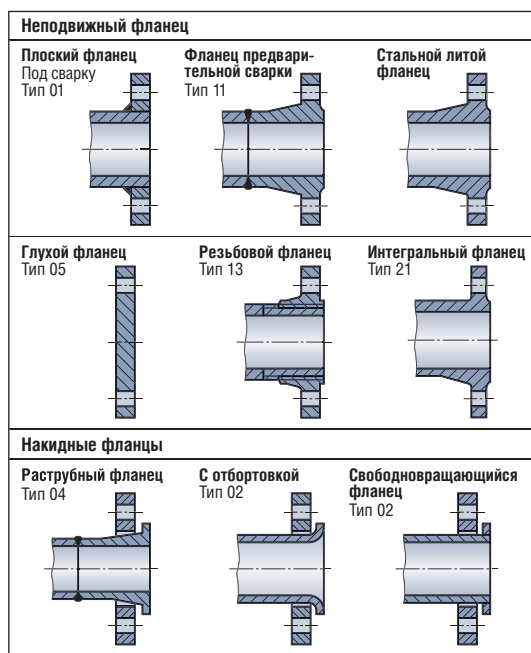


Рис. I.9. Фланцы стальные согласно DIN EN 1092

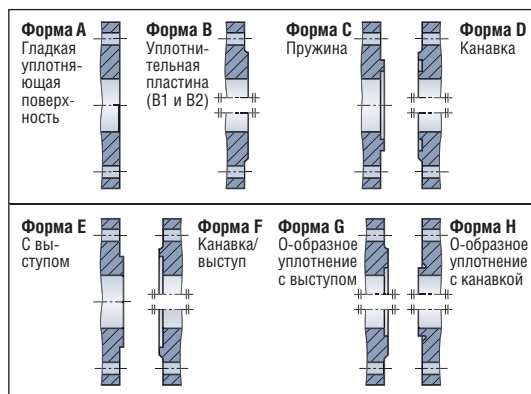


Рис. I.10. Уплотнения для фланцев согласно DIN EN 1092

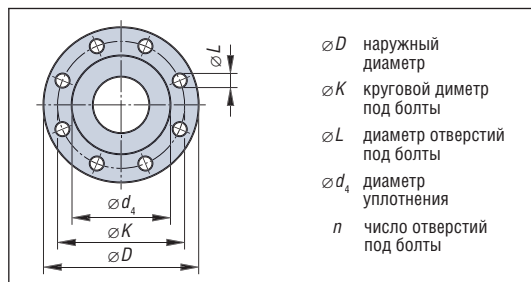


Рис. I.11. Посадочные размеры фланцев (DIN 1092)

ются у отбортовки или края трубы. Съемные фланцы имеют то преимущество, что при закреплении фланцев в условиях стесненного монтажа положение болтов может выбираться свободно.

Фланцы могут иметь различные поверхности, по которым происходит уплотнение (рис. I.10). Фланцы с гладкой уплотняющей поверхностью или с уплотняющей накладкой годятся только для низких давлений, так как уплотнитель при высоких давлениях выдавливается наружу. Для высоких давлений годится фланцевая пара с комплементарными выступами или соединение в шпун и гребень. У фланцевых пар с комплементарными выступами плоские уплотнители, а у фланцевых пар со шпун и гребнем О-образные уплотнители, которые не выдавливаются при высоких давлениях.

Монтаж фланцевых уплотнений должен проводиться с большой тщательностью, с тем чтобы плотное соединение сохранялось длительное время. Уплотняемые поверхности должны быть чистыми и сухими, не допускается нанесение на уплотняемые поверхности каких-либо жиров или смазок. Разрешается применение только новых уплотнителей и некорродированных, обработанных смазкой болтов и гаек. Монтаж включает следующие этапы.

1. Собрать фланцевое соединение и наживить болты и гайки.
2. Болты затянуть крест-накрест минимум в три приема динамометрическим ключом до требуемой величины момента.
3. Через некоторое время поправить посадку уплотнения путем равномерной подтяжки болтов динамометрическим ключом.

Фланцы одинакового номинального размера и номинального давления согласно DIN EN 1092-1 имеют одинаковые посадочные размеры и одинаковое количество отверстий под болты (рис. I.11).

Они могут быть соединены друг с другом. Также нормировано число используемых болтов (см. табл. I.5). Материалы, используемые для труб и фланцев, могут быть найдены в табл. I.4. Сокращенное обозначение фланца выглядит так: **производитель/EN 1092-1/11/DN 150/PN 40/S235JR**, где 11 – тип фланца, S235JR – вид материала.

Фланцевые уплотнения

Фланцевые уплотнения имеют задачей так плотно соединить фланцевые соединения, чтобы никакая жидкость или газ не вытекали, а при вакууме не проникали внутрь на месте соединения. Уплотнение осуществляется или фланцевыми, или профильными уплотнителями (рис. I.12). Фланцевые уплотнители стандартизированы: DIN 1514-1–1514-8 и DIN EN 12560-1–12560-7.

Фланцевое уплотнение находится между двумя гладкими торцевыми поверхностями фланца и по всей ширине соответствует уплотняющей поверхности (см. рис. I.8). Оно будет сжато болтами, и, тем самым, будут выровнены мелкие неровности поверхности фланцев. Плоские уплотнители пригодны для уплотнения трубопроводов с давлением от небольшого до среднего (до PN 63). Плоские уплотнители, которые не имеют никакой боковой поддержки, не годятся для высоких давлений, так как будут выдавливаться наружу. Фланцевые уплотнители выпускаются с различным внутренним исполнением и различным составом (рис. I.13).

Фасонные уплотнения (рис. I.12 справа) укладываются в паз и прижимаются подходящим для паза кольцом (называется пружиной) или гребнем (см. рис. III.21). Уплотнение «паз» и «гребень» пригодно для использования при высоких давлениях, так как оно не выдавливается наружу. Классическое фасонное уплотнение – круглое кольцо (DIN 1514-8). Наряду с этим имеется большое число других форм (рис. I.14).

Качество уплотнения при фланцевом соединении зависит прежде всего от трех вещей:

- правильного выбора материала уплотнения. Для низких давлений используют уплотнители из эластомера, например из фторированных эластомеров или тефлона, для средних и высоких давлений – эластичные металлические уплотнители из нержавеющей стали с тефлоном;



Рис. I.12. Фланцевые уплотнения

Плоский уплотнитель 	Изготавливается из резины, войлока, наполнителя или графита	Стандартный уплотнитель в химическом аппаростроении
Волнообразный уплотнитель 	Сталь с покрытием из тефлона	При агрессивных средах и эмалированных фланцах
Спиральный уплотнитель 	Нержавеющая сталь с наполнением из тефлона	При частой смене нагрузки из-за колебания давления

Рис. I.13. Плоские уплотнители согласно DIN 1514 (выборочно)

Круглое кольцо 	Перфорированный эластомер	Стандартное фасонное уплотнение для фланцев типа «паз» и «гребень»
Стальная пружина/паз 	Политетрафторэтилен	
	Металлы	При высоких механических и химических нагрузках

Рис. I.14. Фасонные уплотнения

- состояния поверхности, по которой происходит уплотнение: она должна быть ровной и чистой;
- равномерного прижатия уплотнителя за счет крестообразного затягивания болтов.

Сварные соединения

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.

Штуцерное резьбовое соединение

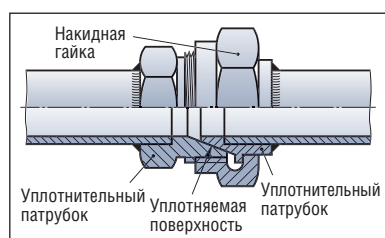


Рис. I.15. Резьбовое соединение труб

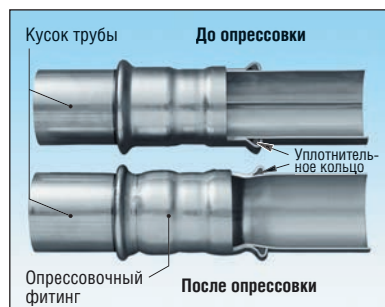


Рис. I.16. Соединение с опрессовочными фитингами

Этот тип соединения пригоден для тонкостенных трубок из нержавеющей хром-никелевой стали (рис. I.16). Соединение отрезков трубы производится путем вдвигания концов трубы в соответствующий фитинг и последующего пластического переформования материала фитинга с помощью специального ручного инструмента для работы под давлением. Герметичность соединения достигается за счет уплотняющего кольца, предварительно помещенного в фитинг. Сборка соединения занимает примерно 1 минуту.

Штуцерное резьбовое соединение (DIN EN ISO 8434-1) состоит из двух приваренных на концах труб уплотнительных насадок и накидной гайки (рис. I.15). При затягивании накидной гайки обе поверхности фланца сдавливаются и уплотняют соединение. Имеются также штуцерные резьбовые соединения с эластомерным уплотнителем или с уплотнением разрезным кольцом. Штуцерное резьбовое соединение используется для труб небольшого номинального диаметра, так как только в этом случае силы сжатия создаваемой накидной гайкой хватает для уплотнения высоких давлений, например давления в газовых баллонах. Часто штуцерное резьбовое соединение резьбовых труб осуществляют с помощью резьбовых фасонных изделий, так называемых фитингов.

Соединение трубопроводов с помощью опрессовочных фитингов

Этот тип соединения пригоден для тонкостенных трубок из нержавеющей хром-никелевой стали (рис. I.16). Соединение отрезков трубы производится путем вдвигания концов трубы в соответствующий фитинг и последующего пластического переформования материала фитинга с помощью специального ручного инструмента для работы под давлением. Герметичность соединения достигается за счет уплотняющего кольца, предварительно помещенного в фитинг. Сборка соединения занимает примерно 1 минуту.

1.6. Материалы для промышленных трубопроводов

Выбор материала для трубопровода прежде всего связан с коррозионными свойствами вещества, которое будут транспортировать по трубопроводу, а также от рабочего давления и температуры трубопровода. Условием применения како-

го-либо материала при создании трубопровода является то, что вещества процесса не должны вызывать коррозию материала трубопровода. Выбор материала производится на основании таблицы коррозионной нагруженности материалов (см. табл. IV.17). Подавляющее большинство трубопроводов на химических установках выполнены из стальных материалов, которые стандартизованы согласно DIN EN 13480-2. В табл. I.4 представлен выбор различных групп материалов. Объяснение сокращений дано в разд. 3.1–4.2 главы IV. Для общих задач без высокой коррозионной нагрузки, без высоких давлений и

Таблица I.4. Материалы для промышленных стальных труб согласно DIN EN 13480-2 (выборка)

Бесшовные трубы: DIN EN 10 216-1–216-5 Трубы со сварным швом: DIN EN 10217-1–10217-7			
Тип материалов	Допустимая область температур, °C	Материалы ¹⁾	
		Краткое обозначение	№ материала
Для комнатной температуры	От –10 до 100	P195TR2	1.0255
		P235TR2	1.0258
		P265TR2	1.0259
Термостойкие стали	От –10 до 400	P265GH	—
	От –10 до 500	16Mo3	1.5415
	От –10 до 500	X11CrMn5+I	—
Мелкозернистые стали, термоустойчивые	От –10 до 400	P275NH	—
		P355 NH	—
Холодно-тянутые стали	От –10 до 400	P460NL1	—
		26CrMo4-2	1.7219
		11MnNi5-3	1.6212
Нержавеющие стали	От –20 до 600	X6CrNiN18-10	1.4301
	От –20 до 500	X5CrNiMo17-12-2	1.4571
	От –20 до 500	X2CrNiMo18-14-3	1.4435
	От –20 до 500	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539

¹⁾ Объяснение кратких обозначений и номеров материалов для сталей см. разд. 2.3–3.3 главы IV.

при использовании при комнатной температуре применяют трубопроводы из нелегированной стали, как, например, P195TR2, P235TR2, P265TR2. При более высоких температурах используют термостойкие стали типа P265GH, 16Mo3, 20CrMoV13-5-5. Для работы под высоким давлением при повышенных температурах применяются термостойкие мелкозернистые стали P275NH или P460N. При низких температурах применяют трубопроводы из холодно-вязкой стали типа P460NL1. При работе с сильнокоррозионной средой или при очень высоких требованиях к чистоте продукта трубопроводы выполняют из некорродирующих (коррозионно-устойчивых) сталей, как, например, X6CrNi18-10 (номер материала 1.4301) или X5CrNiMoTi17-12-2 (номер материала 1.4571).

В пищевой и биохимической промышленности и при производстве медтехники, а также в фармацевтической промышленности трубопроводы в целях стерильности производства, химической устойчивости и фармацевтической индифферентности (DIN 11866) выполняют из нержавеющей стали, как X2CrNiMo17-12-2 или X2CrNiMo18-14-3 и X1CrNiMoCu25-20-5 (табл. I.4). Внутренняя поверхность стальных труб для этой области применения выравнивается путем травления, вытягивания, полирования и шлифования, размеры неровностей не превышают 1,60 мкм (гигиенический класс H1) и 0,25 мкм (гигиенический класс H5).

Используются также трубопроводы из нержавеющей сталей на основе сплавов никеля, как, например, Alloy C-276 («Никрофер 5746»), когда необходима повышенная коррозионная устойчивость против серной, соляной или фосфорной кислоты.

Для **трубопроводов с морской водой** пригодны специальные медно-никелевые сплавы, как CuNiFe1Mn. Трубопроводы из пластмасс (ПЕ, ПВХ), а также пластмасс, усиленных стекловолокном (СВ-ПК, СВ-ЭП), ввиду их коррозионной устойчивости, легкости переработки и небольшого веса применяются как трубопроводы для сточных вод.

Также другие составные части трубопровода, **фланцы** и соответствующие **болты, шпильки и гайки**, должны быть выполнены из соответствующего материала. Для этого материалы этих частей также нормированы: фланцы — согласно DIN EN 1092-1, болты и шпильки — по DIN EN 1515-1. Эти стандарты содержат одинаковые или сравнимые материалы, как и материалы для труб (табл. I.4). Материал фланцев и крепежных деталей должен быть идентичным или подобным материалу самого трубопровода.

Пример. Трубопровод, выполненный из материала X2CrNiMo18-14-3, должен иметь фланцы, а также болты и гайки из того же материала X2CrNiMo18-14-3.

Общая информация о материалах для химических установок находится в разд. 3–11 главы IV.

1.7. Классы трубопроводов

По степени опасности, которую представляют трубопроводы, они подразделяются на классы согласно DIN EN 13480-1, которые также называют категориями трубопроводов. Для жидкостных и, соответственно, газовых трубопроводов выделяют классы: III, II, I, 0. Отнесение к тому или иному классу зависит от того, опасно или неопасно вещество, протекающее в трубопроводе, а также от рабочего давления и номинального диаметра DN трубопровода (табл. I.5).

Таблица I.5. Классы трубопроводов

Жидкости	Опасные жидкости				Неопасные жидкости			
Класс трубопровода	III	II	I	0	III	II	I	0
Максимально допустимое давление, атм	> 500	10–500	0,5–10	< 0,5	> 500	10–500	0,5–10	< 0,5
Номинальный диаметр DN	> 25	> 25	> 25	≤ 25	> 200	> 200	> 200	< 200
Газы	Опасные газы				Неопасные газы			
Класс трубопровода	III	II	I	0	III	II	I	0
Максимально допустимое давление, атм	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	—
Номинальный диаметр DN	> 350	25–350	25–100	≤ 25	100–250	32–100	≤ 32	—

Контрольные вопросы

1. Из каких трех основных составных частей собирают трубопроводы?
2. Что показывает номинальный диаметр, например DN 100?
3. Что понимают под номинальным давлением?
4. Для какого номинального давления должен быть построен трубопровод, в котором реализуется давление 18 атм?
5. Каковы размеры трубы и масса единицы длины трубы для трубы номинального диаметра DN 150 с толщиной стенок 2,6 мм?
6. Какие существуют виды соединения труб?
7. Какими преимуществами и недостатками они обладают?
8. Почему при высоких давлениях применяют фланцевое соединение с профилированным уплотнением?
9. Какое преимущество имеет фитинговое соединение с опрессовкой?

10. К какому классу опасности относится трубопровод номинального диаметра 200, который транспортирует опасный газ при 5 атм?
11. Приведите краткое название нержавеющей стали для промышленных трубопроводов.

1.8. Крепления труб

Среди креплений труб различают **опоры неподвижные** (в месте фиксации), когда труба крепится с исключением малейшего сдвига, и **подвижные** (в месте разъема), допускающие, например, компенсацию линейного расширения труб (рис. I.17).

Крепление труб осуществляется на соответствующей конструкции или несущем элементе и может быть выполнено в виде опоры либо подвески (рис. I.18).

Хомуты (DIN 3567) предназначены для крепления необлицованных или изолированных трубопроводов в положении вертикально стоя либо в подвешенном состоянии (рис. I.18а, г). Крепление при этом может быть разъемным или фиксированным. При подвижных креплениях скользящее основание опирается на поверхность скольжения или же крепежный элемент подвижно висит на стяжном замке. При неподвижном креплении основание сваривается или свинчивается с несущим элементом.

Скобы из круглой прутковой стали (DIN 3570) исполняются в вертикальном положении в виде неподвижной опоры (рис. I.18б) или в подвешенном состоянии в виде подвижной опоры.

Ролики, дополнительно смещающиеся на оси (рис. I.18в), предназначены только для поддержания веса трубопровода с обеспечением его подвижности.

Подвески трубопровода имеют подвижное исполнение (рис. I.18г), причем предусмотренный стяжной замок позволяет производить их точное нивелирование.

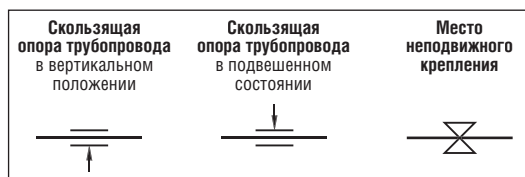


Рис. I.17. Условные обозначения креплений труб

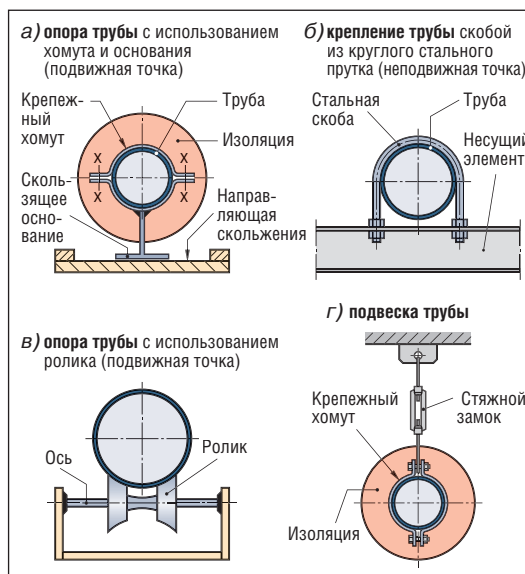


Рис. I.18. Крепления труб

1.9. Маркировка трубопроводов

На химическом производстве принято делать на трубопроводе соответствующую отметку для обозначения протекающего в нем вещества. Согласно DIN 2403 для этой цели используют определенную опознавательную маркировку соответствующего цвета и цифровые индексы. Они наносятся в хорошо просматриваемых местах трубопроводов и значительно упрощают процесс контроля при монтаже и в случае сбоев в работе.

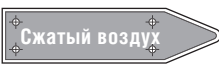
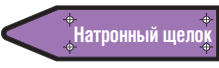
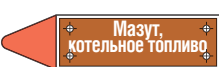
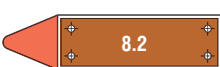
Опознавательный цвет	Основной индекс	Группа веществ	Примеры маркировки на табличке	
			название	индекс
 зеленый	Группа 1	Сточные воды		
 красный	Группа 2	Водяной пар		
 серый	Группа 3	Воздух		
 желтый или желто-красный	Группа 4	Горючие газы, включая сжиженные (горючие газы, H_2 , CO , углеводороды)		
 желто-черный или черный	Группа 5	Негорючие газы (N_2 , CO_2 , SO_2 , Cl_2 , газовые смеси, отработавшие газы)		
 оранжевый	Группа 6	Кислоты, включая кислые растворы и сливы		
 фиолетовый	Группа 7	Щелочи, включая щелочные растворы и сливы		
 коричневый или красно-коричневый	Группа 8	Горючие жидкости, включая пасты и сточные воды		
 коричневый или черный	Группа 9	Негорючие жидкости, включая пасты, металлы и сливы		
 синий	Группа 0	Кислород		

Рис. I.19. Маркировка трубопроводов в зависимости от протекающих в них веществ (DIN 2403)

Принято к использованию десять разных маркировочных цветов (рис. I.19). К каждому из них отнесен основной цифровой индекс (от 0 до 9). Опознавательная окраска и относящийся к ней основной индекс указывают на определенную группу веществ. Точное обозначение осуществляется либо указанием названия самого вещества, либо с помощью дополнительного индекса.

Маркировка трубопроводов может производиться разными способами:

- посредством укрепленных на трубопроводе табличек, окрашенных в опознавательные цвета с указанием названия вещества или его двухразрядного индекса; при этом первая цифра представляет собой основной, а вторая цифра — вспомогательный индекс. Пример: кислоты имеют основной опознавательный индекс 6, соляные кислоты — еще и дополнительный индекс 1, так что соляные кислоты в целом следует обозначать в виде цифрового индекса 6.1. Кроме того, заостренный конец таблички может указывать направление протекания вещества;
- посредством окраски трубопровода по всей его длине — цветом, выбранным для данной группы веществ;
- посредством нанесенных на трубопровод цветных колец, а также наклеенных этикеток или цветных табличек в наиболее важных для работы местах, например в начале трубопровода, на отводах и проч.;
- трубопроводы с опасными веществами дополнительно обозначаются специальными символами согласно степени опасности (опасные вещества V) (см. разд. 14.2).

Среди опознавательных цветов имеются два желтых и два коричневых. В случае желтой окраски речь идет, во-первых, о горючих газах (основной индекс 4) и, во-вторых, о негорючих газах (основной индекс 5). В отношении коричневого цвета то же можно сказать применительно к жидкостям. Различают горючие и негорючие вещества путем окрашивания заостренных концов табличек в красный или черный цвета (рис. I.19).

1.10. Компенсация расширения трубопроводов

Трубы меняют свою длину, когда к ним прикладывается сила или меняется их температура. Это физически обоснованное явление приводит к тому, что трубопроводы, которые были смонтированы в ненагруженном или холодном состоянии, в рабочем состоянии под давлением и повышенной температуре имеют другую длину. Если это удлинение не может быть скомпенсировано, то оно приводит к напряжению трубопровода. Возникающие силы могут привести к повреждению фланцевых уплотнений и трубных соединений.

Термическое расширение

При создании трубопроводов особенное внимание следует обращать на повышение температуры и связанное с ним термическое удлинение Δl (рис. I.20). Оно зависит от длины трубопровода l_0 , материала трубопровода и от разности температур $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$.

Уравнение для расчета термического удлинения имеет вид

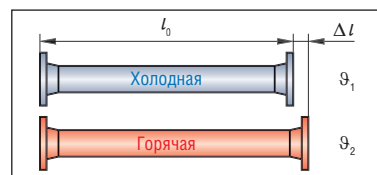


Рис. I.20. Увеличение длины

Таблица I.6. Коэффициенты температурного удлинения веществ α (мм/мК)

Нелегированная строительная сталь	0,012
Нержавеющая сталь	0,017
Алюминий конструкционный	0,023
Медь конструкционная	0,020
ПВХ (пластмасса)	0,070

Увеличение длины

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta \vartheta$$

α — коэффициент термического удлинения. Он показывает удлинение в мм трубопровода длиной 1 м при повышении температуры на 1 °С (соответствует 1 °К) (табл. I.6).

Пример. Трубопровод из нержавеющей стали длиной 8 м нагревается на 250 °С. Возникающее при этом увеличение длины при $\Delta \vartheta = 250 \text{ °С} = 250 \text{ °К}$ составляет

$$\Delta l = 8,0 \text{ м} \cdot 0,017 \frac{\text{мм}}{\text{м} \cdot \text{К}} \cdot 250 \text{ К} = 34 \text{ мм}.$$

Столь небольшое удлинение трубопровод может скомпенсировать за счет эластичности материала трубопровода. Большие изменения длины должны быть скомпенсированы путем применения компенсационных элементов.

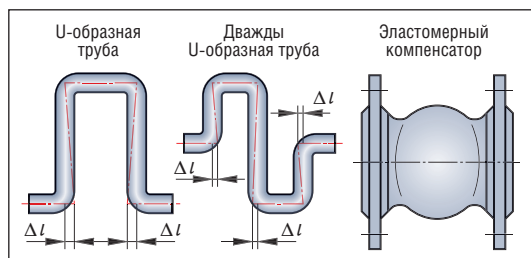
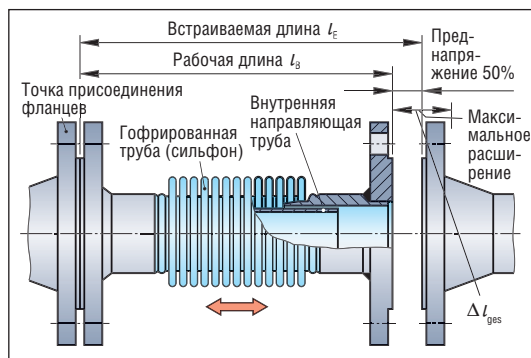
Элементы для компенсации удлинения трубопроводов
(англ. *compensation elements*)

Изогнутые трубы. Компенсация расширения трубопровода возможна путем приваривания в трубопровод изогнутых труб (рис. I.21). Они устраняют небольшие удлинения труб за счет деформации.

Эластомерные компенсаторы (резиновые компенсаторы) представляют собой

встроенный между двумя фланцами кусок трубы, который изготовлен из усиленного эластомерного пластика (рис. I.21). Они используются при давлении до PN 25 и температурах до 150 °С.

Компенсаторы с гофрированной трубой состоят из тонкостенного расширяемого в направлении трубы металлического сильфона и припаянных с обеих сторон фланцев (рис. I.22). Они могут применяться до PN 100 и 500 °С. Компенсаторы встроены в трубопровод напряженными примерно на 50% их полного расширения. Благодаря этому они могут компенсировать как удлинение, так и сжатие трубопровода.

**Рис. I.21.** Изогнутые трубы, эластомерный компенсатор**Рис. I.22.** Компенсатор с гофрированной трубой (сильфонный компенсатор)**Встраиваемая длина компенсатора**

$$l_E = l_B + \Delta l_{VSp}; \Delta l_{VSp} = 0,5 \cdot \Delta l_{ges}$$

Аксиальные компенсаторы содержат направляющую трубу и могут компенсировать расширение

только в направлении вдоль трубы. Компенсаторы без направляющей трубы могут скомпенсировать также небольшие боковые смещения. Эластомерные и гофрированные компенсаторы часто встраиваются в трубопроводы после насосов, чтобы сгладить их вибрацию.

1.11. Изоляция труб

В случае горячих трубопроводов изоляция служит для защиты от потерь тепла (теплоизоляция), а в случае холодных трубопроводов — для защиты от нагрева (холодильная изоляция). Такая защита осуществляется с помощью изоляционных материалов, размещаемых вокруг труб.

В качестве **изоляционных** используются преимущественно три вида материалов:

- в нижнем температурном диапазоне порядка $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ — жесткие пенопласты (полистирол или полиуретан), см. гл. IV;
- в среднем температурном диапазоне около $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ — фасонные оболочки и маты из минеральных волокон (стеклянный войлок и каменная шерсть);
- в области высоких температур до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ — оболочки и маты из керамических волокон (например глиноземных).

Трубы с условным проходом ниже DN 80 и при толщине изоляционного слоя менее 50 мм изолируют в большинстве случаев с помощью изоляционных фасонных элементов (оболочковой формы). Две такие оболочки укладывают вокруг трубы, крепят металлической лентой и накрывают жестяным кожухом (рис. I.23).

Трубопроводы с условным проходом выше DN 80 снабжаются теплоизоляцией с нижним каркасом (рис. I.24). Последний состоит из зажимных колец, распорок и металлической облицовки из оцинкованной мягкой стали или нержавеющей листовой стали. Пространство между трубопроводом и металлическим кожухом заполнено изоляционным материалом.

Толщина изоляционного слоя определяется с учетом затрат на его изготовление и убытков от потерь тепла. Она составляет обычно от 50 до 250 мм.

Теплоизоляция наносится по всей длине трубопровода, не исключая зон колен и отводов. Необходимо всеми силами избегать наличия незащищенных мест, способных стать причиной значительных потерь тепла. Фланцевые соединения и арматура снабжаются обычно съемными фасонными элементами (рис. I.25).

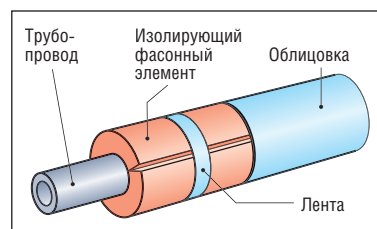


Рис. I.23. Изоляция труб с применением оболочек

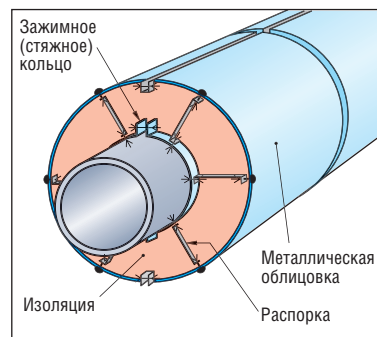


Рис. I.24. Изоляция трубы с использованием нижнего каркаса

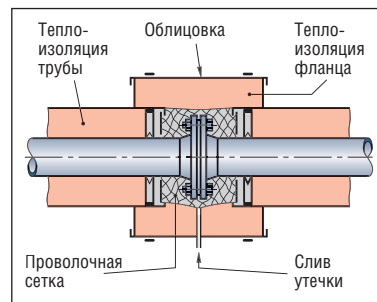


Рис. I.25. Теплоизоляция фланцевого соединения

Это позволяет (в случае нарушения герметичности или т.п.) обеспечивать беспрепятственный доступ к месту соединения без необходимости удалять изоляцию со всего трубопровода.

Правильно выбранная изоляция трубопровода может решить сразу множество задач:

- удается избежать чрезмерного падения температуры в протекающей среде (экономия энергии);
- в газопроводах исключается падение температуры ниже точки росы и, следовательно, образование конденсата, который, например, в случае отходящего газа с содержанием SO_2 приводит к сильным коррозионным разрушениям;
- в паровых трубопроводах не происходит выделения конденсата.

Сопровождающий обогрев труб (англ. trace heating)

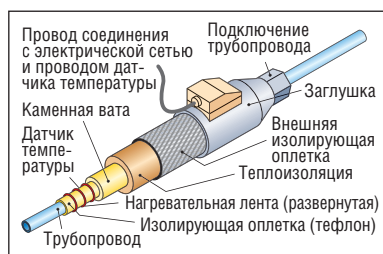


Рис. 1.26. Электрический сопровождающий трубопровод обогрева

Если транспортируемое по трубопроводу вещество нельзя охлаждать или если его необходимо дополнительно подогревать (как это бывает, например, в случае высоковязких жидкостей), то прибегают к сопровождающему обогреву труб. С этой целью соответствующие элементы располагают вокруг трубы и с помощью теплоизоляции защищают от потерь тепла (рис. 1.26). Устройство сопровождающего обогрева с использованием теплоносителя, например горячего пара, представляет собой обогревающую трубку (обычно из меди), обвивающую трубопровод. Находит применение и электронагрев — в виде ленточных нагревателей, уложенных вокруг трубы; они удобны еще и тем, что их теплопроизводительность благодаря предусмотренному регулятору может устанавливаться в соответствии с необходимым количеством тепла.

1.12. Графическое представление трубопроводов

Графическое представление трубопровода служит для передачи информации о трубопроводе. В зависимости от того, какое информационное содержание имеет график, имеются различные виды его представления.

Трубопроводная и инструментальная технологическая схема

Трубопроводная и инструментальная технологическая схема (P&ID-piping and instrumentation-diagram), сокращенно называемая R&I-технологическая схема, представляет собой упрощенное схематическое представление построения и работы химической установки (рис. 1.27). Трубопроводы изображаются линиями, а арматура и соответствующее оснащение трубопроводов, так же как аппараты и машины, изображаются графическими символами (рис. 1.28).

R&I-схемы и используемые в них символы стандартизированы согласно DIN EN ISO 10628 и DIN 2429. Соединения труб отмечают специальными знаками по месту их нахождения. Равным образом компенсационные элементы помечаются специальными символами в местах их присоединения.

R&I-схемы химических установок организованы таким образом, что вещества поступают на установку слева и выходят из установки справа.

Стрелками отмечены места входа и, соответственно, выхода веществ.

Каждый трубопровод имеет свое обозначение. Оно содержит номер трубопровода, номинальный размер, номинальное давление, материал и исполнение трубопровода, например, указанием класса трубопровода.

Пример обозначения трубопровода:

3 – 65 – 10 B8.

Трубопровод № 3, номинальный размер DN 65, номинальное давление PN 10, из нелегированной стали (B), трубы класса 8.

Обозначение трубопровода представлено на технологической схеме (рис. I.28, внизу).

Также арматура и аппараты обозначаются специальными значками с номером. Надписи могут обозначать вещества, поступающие в трубопровод, и места их входа и выхода. Там же может дополнительно быть указан технологический номер, который указывает на технологическую схему присоединяемых частей установки.

Арматура и аппараты на R&I-схемах представлены символами, которые напоминают по форме сами аппараты (см. разд. 11.5 главы I).

Места измерений и регулировки указываются на трубопроводах и аппаратах символами, заключенными в овалы (см. разд. 2.2 главы XIII).

Модели трубопроводов и установок

Модели трубопроводов и установок схематически воспроизводят работу трубопроводов, арматуры и аппаратов в химической установке.

Они служат ориентирами при планировании, монтаже и применении установки. Модели трубопроводов и установок создаются компьютерными программами и

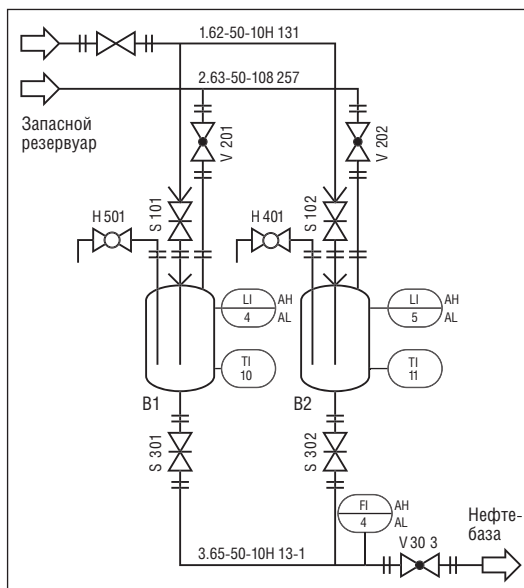


Рис. I.27. Изображение схемы трубопроводов и приборов согласно DIN EN ISO 10628

Трубопровод		Соединительные элементы	
Основной трубопровод	—	Соединительные элементы, общее обозначение	— —
Расширенный трубопровод	----	Сварное соединение	— —
Место разветвления	— —	Фланцевое соединение	— —
Пересечение без соединения	— — или — —	Резьбовое соединение	— —
Пересечение с соединением	— — или — —	Муфтовое соединение	— —
Сужение	— —	Компенсаторы линейного расширения труб	
Указатель направления	→ или →	Общее обозначение компенсатора	— —
Вход и выход трубопровода	→ →	U-образный компенсатор	— —
Трубопровод с изоляцией	— —	Компенсатор вертикального перемещения	— —
Трубопровод с обогревом или охлаждением	— —	Сифонный компенсатор	— —
Пример трубопровода			

Рис. I.28. Представление трубопровода и встроенных устройств на R&I-графике согласно DIN EN ISO 10628

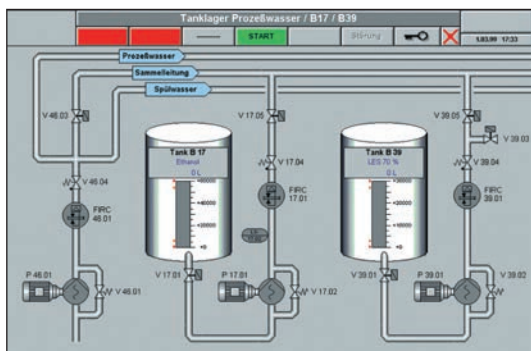


Рис. 1.29. Двумерная модель трубопроводов и устройств смесительной установки

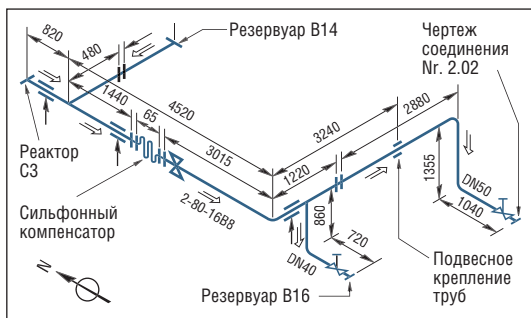


Рис. 1.30. Изометрическое изображение трубопровода

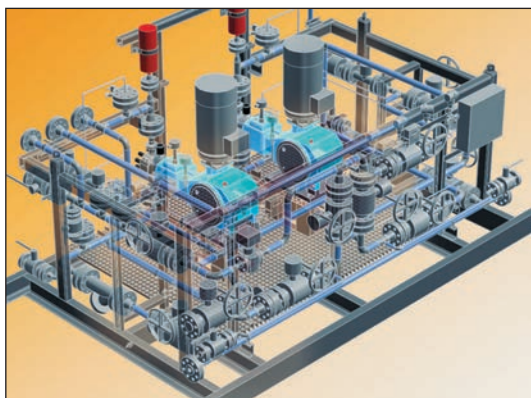


Рис. 1.31. Трехмерная CAD-модель установки

CAD-программы позволяют устанавливать отдельные элементы трубопровода с указанием размеров и обозначений. Это позволяет составить лист заказов.

Изменения в расположении частей установки, как, например, какого-нибудь аппарата, задаются в CAD-программе. Программа рассчитывает вызванное этим изменение длины трубопровода, в несколько секунд показывает его на схеме и в измененном листе заказов.

представляются в виде изображения на экране компьютера (рис. 1.29). Благодаря плоскому изображению трубопроводы и их работа выглядят очень наглядно.

Этот вид представления установок и процессов не нормирован. В зависимости от используемой компьютерной программы используемые символы более или менее отклоняются от DIN EN ISO 10628.

Изометрическое изображение трубопроводов

Изометрическое изображение трубопроводов представляет собой изображение трубопроводов в изометрической проекции без сохранения масштаба (рис. 1.30). Из такого представления можно увидеть облик трубопровода со всеми изгибами. Оно содержит размеры, которые определяют прохождение трубопровода, длину кусков труб, фасонные изделия и вид арматуры, а также расположение арматуры, держателей и контрольно-измерительной аппаратуры. Подписи на трубопроводах воспроизводят номинальные размеры и номинальные давления (см. разд. 1.12 главы I).

Объемное изображение установок

Изометрическое и другие перспективные изображения трубопроводов выполняются сегодня преимущественно с помощью компьютерных программ (CAD-программы). Они дают трехмерное изображение прохождения трубопровода и всей химической установки (рис. 1.31).

Контрольные вопросы

1. Какую задачу среди фиксаторов труб выполняет неподвижная опора и какую — подвижная опора?
2. Какую условную окраску имеет трубопровод для кислот и какую для щелочей?
3. Какие существуют типы компенсаторов?
4. Почему сильфонный компенсатор должен встраиваться с предварительным напряжением?
5. Какие задачи решает теплоизоляция?
6. Для каких приложений в трубопровод встраивают сопровождающий обогрев?
7. Какие параметры содержатся в изометрической схеме трубопровода?
8. Что можно узнать из обозначения трубопровода 001.56 — 50 — 10 В8?

2. АРМАТУРА

Арматура (*англ. valves*), называемая также запирающими или исполнительными элементами, служит для открывания и закрывания трубопроводов (включатель) и для безопасности установки.

Арматура многообразна: клапана, краны, вентили (рис. I.32). Они устроены таким образом, что осуществляют требуемое открытие, изменение или остановку потока флюида. Основные виды арматуры, составные части, наименования и понятия установлены в стандарте (DIN EN 736).

Классификация и наименование арматуры осуществляются по направлению движения запирающего элемента арматуры в сравнении с направлением потока флюида (рис. I.33).

Задвижка: запирающий элемент движется поперек потока.

Заслонка: запирающий элемент движется вокруг оси вращения поперек потока. Флюид обтекает запирающий элемент. Он может вращаться на 90°.

Кран: запирающий элемент движется вокруг оси вращения поперек потока. Флюид обтекает запирающий элемент. Он может вращаться на 90°.

Вентиль: запирающий элемент движется против потока или в его направлении.

Выбор подходящей арматуры основывается на цели и условиях применения. Она должна



Рис. I.32. Арматура для химической установки

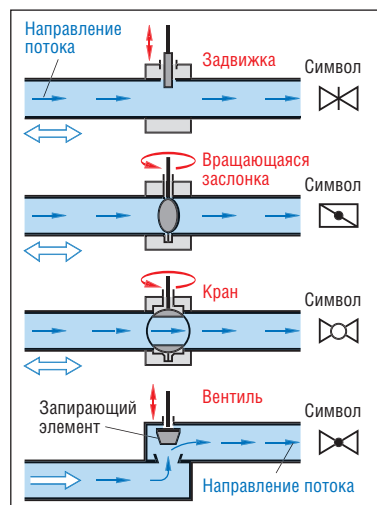


Рис. I.33. Виды арматуры

по номинальным размерам и номинальному давлению соответствовать трубопроводу.

На технологических схемах арматура изображается символами.

2.1. Задвижки, заслонки, краны

Задвижки, заслонки и краны по их функции являются **арматурой переключения**.

Задвижка (англ. gate valve) – запирающее устройство, которое полностью запирает трубопровод или полностью его открывает.

Его основная задача – открывание и закрывание потока вещества; но они могут также грубо регулировать поток.

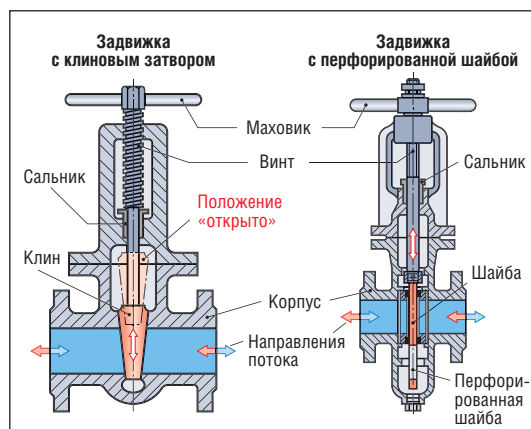


Рис. I.34. Конструктивные исполнения задвижек

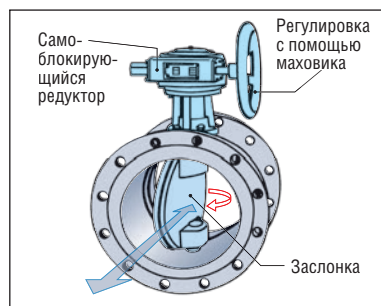


Рис. I.35. Заслонка

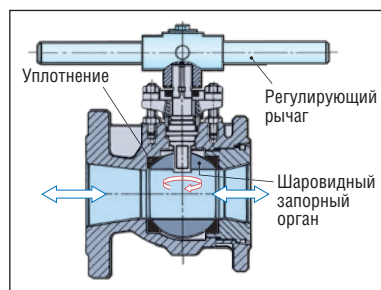


Рис. I.36. Шаровой кран

Запорный элемент представляет из себя клин или шайбу с отверстием, которые с помощью маховика и шпинделя перемещаются вертикально вверх и вниз перпендикулярно к направлению потока (рис. I.34).

Заслонки устроены таким образом, чтобы в открытом положении оказывать самое минимальное сопротивление потоку. В высоко поднятом положении запирающего элемента текущей среде открыто полное сечение трубопровода и ей не приходится менять направление. Задвижки могут работать в обоих направлениях потока.

Заслонки используются в диапазоне давлений до 25 бар и считаются наиболее дешевой альтернативой задвижкам и клапанам. Они выполняют функции не только запираания, но и в некотором роде регулирования. В качестве запорного органа используется вращающийся диск, который можно фиксировать в одном положении посредством стопорного рычага или самоблокирующегося передаточного механизма (рис. I.35). 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.

Шаровые краны для химических установок (англ. ball valve) имеют шарообразный запирающий элемент (пробка) с цилиндрическим сквозным отверстием (рис. I.36).

В результате медленного вращения запорного органа с помощью рычага выполняется настрой-

ка на прямолинейное, беспрепятственное протекание либо на полное запирание трубопровода.

Как правило, краны служат для закрытия или открытия трубопроводов. В определенной мере возможна и грубая регулировка системы.

Краны со сферической пробкой могут быть выполнены также в виде трехлинейного распределителя, перекрывающего или, соответственно, освобождающего поток жидкости, заставляя протекать ее — на выбор — в один или два трубопровода.

2.2. Клапаны

Вентили (*англ.* globe valve) по принципу действия являются запорной арматурой.

По принципу действия их можно разделить на запорные и регулировочные, а также автоматические, предохранительные и редукционные клапаны. В зависимости от направления потока и согласно особенностям исполнения бывают клапаны проходные (с прямым протеканием потока), угловые (с углом поворота 90°) и трех- или четырехходовые (3- или 4-линейные).

2.2.1. Запорные и регулирующие клапаны

Запорные и регулирующие клапаны служат для закрытия и открытия трубопровода (рис. I.38), равно как и для регулирования расхода на уровне тонкой градации.

Регулирующее действие запорного и регулирующего вентиля изображается характеристической линией на диаграмме (рис. I.37). Она показывает зависимость между ходом вентиля h и объемом протекающего потока $\dot{V}$. Регулирующие вентили бывают с линейной и равнопроцентной зависимостью.

При линейной зависимости объемный поток $\dot{V}$ пропорционален ходу вентиля h . При равнопроцентной зависимости изменение объемного потока $\Delta \dot{V}$ очень мало при малом ходе вентиля h , но велико при большом ходе вентиля. Эти вентили пригодны для тонкой регулировки. Регулирующие вентили по сравнению с задвижками вызывают значительно большую потерю давления. Оно вызывается изменением направления потока и протеканием через узкие отверстия. Вентили имеют главным образом только одно разрешенное направление потока.

Конический вентиль (*англ.* conical seat valve), называемый также проходным вентилем, состоит из шарообразного корпуса с горизонтальной разделяющей стенкой внутри (рис. I.38). В ней находится проточное отверстие со встроенным седлом. Внутренние кромки седла клапана скошены так, чтобы таким же образом скошенная и пришлифованная поверхность конуса клапана

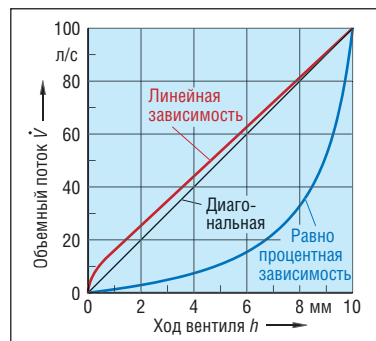


Рис. I.37. Характеристические линии вентиля

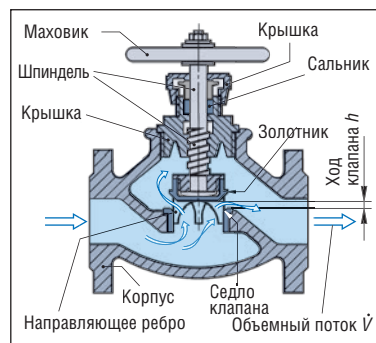


Рис. I.38. Конический вентиль (открыт)

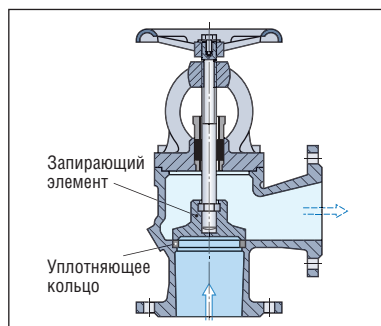


Рис. I.39. Угловой вентиль (закрыт)

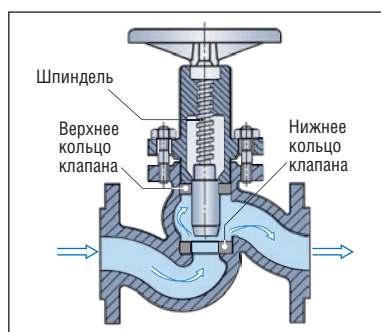


Рис. I.40. Цилиндрический вентиль (открыт)

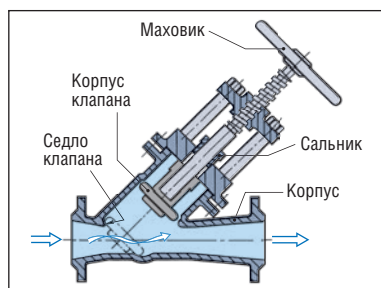


Рис. I.41. Клапан с наклонным шпинделем (открыт)

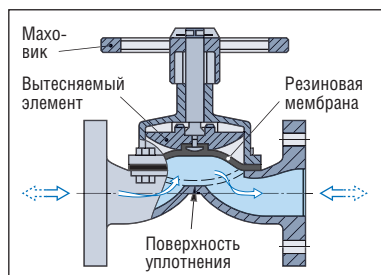


Рис. I.42. Мембранный вентиль (открыт)

могла быть абсолютно плотно прижата к ним. Корпус клапана закрыт крышкой. Сквозь нее проходит уплотненный сальником регулировочный винт (шпиндель), приводимый в действие маховиком. При завинчивании этого винта конический затвор клапана закрывает центральное проходное отверстие.

Конус и седло вентиля можно менять. Это дает возможность устанавливать различные объемные расходы и пределы регулирования. Конические вентили из-за их линейности регулирования расхода и разнообразия являются классическими регулировочными вентилями. Если запирающий конус выполнен в виде узкого конуса или иглообразным, то такие вентили называют игольчатыми. Они позволяют проводить точное дозирование.

Угловой вентиль (англ. angle valve) соединяет в себе регулировочный вентиль и поворот направления потока на 90° (рис. I.39). Он используется при ограниченном пространстве, в трубопроводе требуется регулировочный вентиль при отклонении на 90° . Угловой вентиль создает относительно большое сопротивление потоку.

Цилиндрический вентиль имеет запорный элемент в форме цилиндрического поршня (рис. I.40). Он открывает и закрывает проходное отверстие скошенным вниз поршнем, который с помощью шпинделя задвигается в нижнее кольцо вентиля. Через верхнее кольцо вентиля, которое выполняет функцию сальника и одновременно служит направляющим подшипником для поршня, герметизируется внутреннее пространство вентиля. При ослаблении эластичного кольца верхняя часть вентиля подтягивается. При этом кольцо более плотно садится на поршень и уплотняет вентиль.

Прямоточный вентиль с наклонным шпинделем (англ. angle seat valve) пропускает жидкость при полном открытии по прямолинейному направлению (рис. I.41). Соответственно, он оказывает низкое сопротивление потоку и примерно соответствует потоку с полностью открытой задвижкой. При частично закрытой задвижке вентиль оказывает примерно такое же сопротивление потоку, как и конический вентиль. Поэтому поверхность уплотнения, лежащая под углом к оси, может выполняться в форме круглого кольца и имеет проходное отверстие в форме эллипса.

У **мембранного клапана** открытие и закрытие пути для прохождения потока осуществляется с помощью неподвижно фиксированной в корпусе резиновой мембраны, прижимаемой вытеснительной камерой к уплотнительной кромке корпуса (рис. I.42). Благодаря резиновой мембране клапан абсолютно герметичен относительно внешней зоны и ни одна из его подвижных деталей не имеет контакта с протекающей жидкостью. Поэтому мембранные клапаны широко используются для регулировки расхода агрессивных или сильно загрязненных жидкостей.

Таблица I.7. Свойства задвижек, кранов и вентилях

	Задвижки	Краны	Вентили
Сопротивление потоку	Низкое	Низкое	Высокое
Пригодность для регулирования	Умеренная	Умеренная	От очень хорошей до хорошей
Область применения	Большие DN, средние PN	Небольшие и средние DN и PN	Средние DN, высокие PN
Время открытия и закрытия	Большое	Короткое	Среднее
Износостойкость седла	Умеренная	Плохая	Хорошая
Изменение направление потока	Годится	Годится	В зависимости от модели

2.2.2. Приводы для арматуры

Приводы (англ. actuators) служат для управляемого приведения в действие задвижек, кранов и вентилях.

Для управляемой и регулируемой химической установки все многообразие запирающей и регулирующей арматуры оснащено приводами. Дополнительно присутствующий маховик позволяет осуществлять ручную остановку в случае аварии. Свои команды приводы получают от регулирующих и управляющих устройств, которые являются частью системы, управляющей процессом.

Приводы для задвижек и вентилях должны вызывать в арматуре движение вверх/вниз. Приводы для поворотных заслонок и кранов должны для открывания и, соответственно, закрывания вращаться на 90° . По типу энергии, которая приводит приводы в действие, различают электрические, пневматические и гидравлические приводы.

У **электрических приводов** электромотор производит необходимое перемещение запирающего элемента (рис. I.43). С мотором, расположенным сбоку, например, вращательное движение мотора через червячную передачу превращается в движение приводной оси вверх/вниз или вращение. Электрические приводы могут использоваться на большом удалении от регулирующего прибора, так как управляющий электрический сигнал можно передавать на большое расстояние. Это позволяет создавать мощные управляющие системы и длинные пути управления. Недостатком является относительно высокая цена при исполнении во взрывобезопасном исполнении.

Пневматические приводы приводятся в действие давлением воздуха (рис. I.44). Они воздействуют на

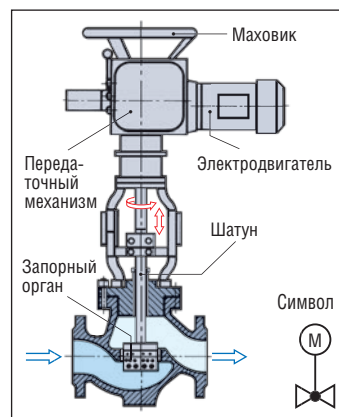


Рис. I.43. Регулирующий клапан с электрическим приводом

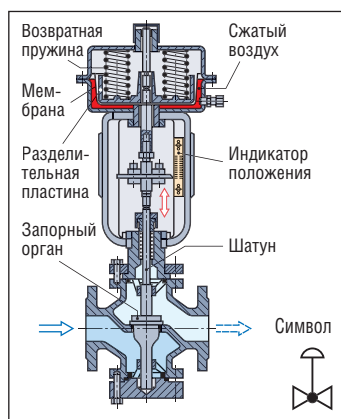


Рис. I.44. Регулирующий клапан с пневматическим приводом

разделяющую пластину с герметичной мембраной и смешают тем самым соединительную штангу. Возвратная пружина реализует закрытие. Монтаж привода прост, но расстояние до пункта управления ограничено. Пневматические приводы особенно годятся для управления систем типа «полностью открыт» / «полностью закрыт».

Гидравлические приводы, в принципе, построены так же, как и пневматические (рис. I.45). Поршень, приводимый в движение давлением, создает движение соединительной штанги вверх/вниз. Удаление до центра управления ограничено. Гидравлические приводы используются в тех случаях, когда требуются особенно большие усилия для приведения в действие исполнительного механизма.

Аварийные безопасные состояния для регулируемой арматуры

Регулировочная арматура должна быть устроена таким образом, чтобы при отключении подачи энергии переходить в безопасное состояние (рис. I.46). Например, при обогреве реактора с мешалкой нагретым паром, регулировочная арматура должна при отключении энергии самостоятельно перейти в положение «закрыто». Например, в случае циклического охлаждения регулировочная арматура должна автоматически перейти в положение «открыто» (безопасное положение «открыто», рис. I.46б).

В символах для арматуры безопасные состояния обозначены острием стрелки.

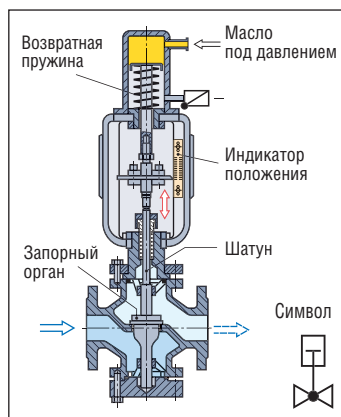


Рис. I.45. Регулирующий клапан с гидравлическим приводом

2.2.3. Регулируемые клапаны

Отдельные клапаны могут оснащаться собственным регулирующим устройством (рис. I.47). Такой механизм используется, например, в небольших химических установках лишь с частичным управлением с центрального пульта.

Регулируемый клапан состоит из собственно клапана с электродвигательным сервоприводом, датчика измеряемых величин и регулятора. С помощью этого регулятора устанавливается требуемый расход (заданное значение). Таким образом, сервопривод открывает клапан

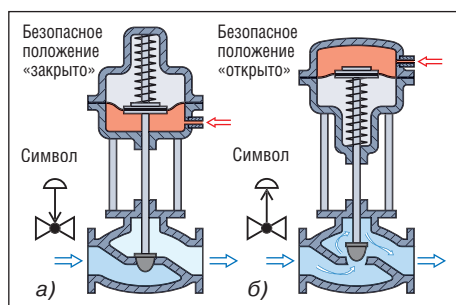


Рис. I.46. Безопасное состояние вентилей: открытый вентиль (а); закрытый вентиль (б)

только на определенный объем протекающей среды. Измерительным датчиком (расходомером) измеряется объемный расход (действительное значение). Если это значение отличается от требуемой величины, регулятор посредством исполнитель-

ного привода настраивает клапан до тех пор, пока не будет достигнут нужный объемный расход.

С помощью регулятора можно устанавливать и время открытия клапана, так что вместе с выбранным объемным расходом удается выполнять, например, такую операцию, как заполнение мешального котла определенным количеством жидкости.

2.2.4. Представление арматуры на R&I-технологических схемах

Арматура и части трубопроводов для упрощения графического представления изображаются на трубопроводных и аппаратных схемах (R&I-схемах) графическими символами, которые установлены в DIN EN ISO 10628 (рис. I.48). Они вводятся в изображение трубопроводов (см. разд. I.12). При этом различают три группы арматуры: запорную арматуру, арматуру обратного течения и арматуру с предохранительной функцией. Каждая группа имеет общий базовый символ плюс специальные дополнительные обозначения для разных конструктивных исполнений. Соответствующие обозначения отнесены также к таким элементам трубопровода, как воздушник (сапун) или конденсатоотводчик.

Запорная арматура (общее обозначение) прямая форма угловая форма трехлинейная форма			Краны прямая форма угловая форма трехлинейная форма		
Клапаны прямая форма угловая форма трехлинейная форма			запорная задвижка запорный клапан заспирирующий клапан		
Обратная арматура общий символ обратный клапан обратная заслонка			Конденсатоотводчик Воздушник глухая шайба дроссельная шайба открытая шайба смешивательное сопло		
Предохранительная арматура общий символ предохранительная арматура с пружиной			грязеловушка компенсатор смотровое стекло звуко-изолятор		
разрывная шайба			разрывная шайба		

Рис. I.48. Графические символы арматуры

Каждая группа имеет общий базовый символ плюс специальные дополнительные обозначения для разных конструктивных исполнений. Соответствующие обозначения отнесены также к таким элементам трубопровода, как воздушник (сапун) или конденсатоотводчик.

2.3. Монтажные прокладки для трубопроводов

Монтажные прокладки для трубопроводов применяются, когда трубопровод должен быть закрыт длительное время и когда случайное открытие арматуры должно быть исключено. Перфорированные шайбы уменьшают проходное отверстие трубопровода. Глухая шайба состоит из металлического диска и двух уплотнений, вставленных во фланцевое соединение и свинченных с ним (рис. I.49).

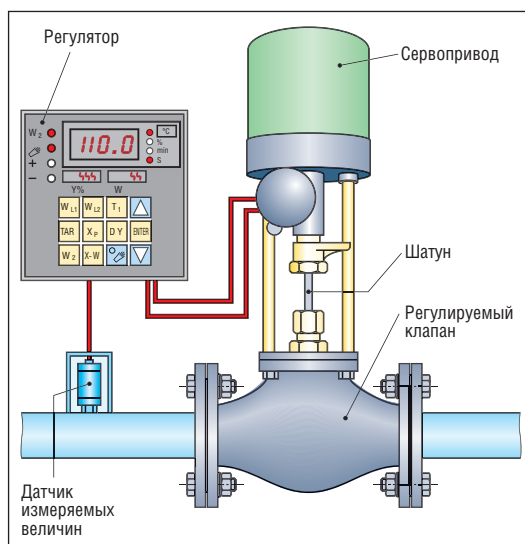


Рис. I.47. Клапан с регулятором расхода

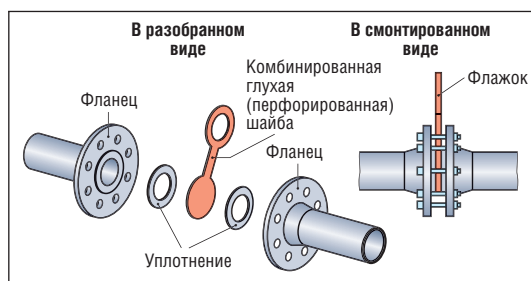


Рис. I.49. Комбинированный вариант глухой и перфорированной шайбы

Чтобы наглядно показать, что трубопровод закрыт глухой шайбой, последняя снабжается флажком, выступающим из фланцевого соединения.

Дополнительно имеются следующие прокладки: **дроссельные прокладки** (они уменьшают размер пропускного отверстия); **открытые прокладки** (они позволяют пропускать свободный поток по трубопроводу).

2.4. Устройства блокирования обратного потока

Такие устройства допускают протекание **только** в одном направлении. При изменении направления потока происходит автоматическое запираение, а при разрешенном направлении — автоматическое открытие протекания.

Благодаря этому удастся избежать, например, холостой работы расположенных на более высоком уровне трубопроводов и емкостей во время простоев, обеспечивается защита насосов от обратного течения и волн давления при возврате потока.

Обратная заслонка имеет запорный элемент, размещенный с возможностью поворота вокруг эксцентрически расположенной оси вращения (рис. I.50). При протекании потока жидкости заслонка отжимается, устанавливаясь узкой стороной в направлении течения, так что она практически полностью освобождает поперечное

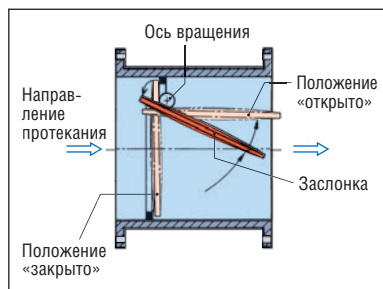


Рис. I.50. Обратная заслонка (с фланцами)

сечение трубы. Благодаря мягкому уплотнению на уплотняющей поверхности заслонки заметно улучшается герметичность и снижается уровень шума в конце хода. При остановке течения укрепленный на оси вращения груз удерживает заслонку в закрытом положении.

Обратные заслонки могут исполняться с фланцами (рис. I.50) либо с кольцом, встроенным между двумя фланцами трубы.

Обратные клапаны используются, когда объемный поток в направлении протекания должен деблокироваться только при условии превышения давления открытия (разность давлений до и после обратного клапана) (рис. I.51). Запорный орган в обратном клапане (в большинстве случаев это шайба с уплотняющей кромкой) отжимается пружиной к уплотняющей поверхности. При прохождении в направлении протекания шайба отводится только в том случае, если оказываемое на шайбу усилие, вызванное давлением при открытии, будет больше удерживающего усилия пружины. Благодаря прогрессивной характеристике пружины достигается мягкое и плавное

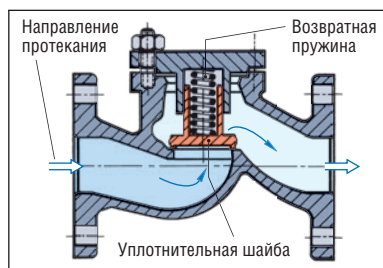


Рис. I.51. Пружинный обратный клапан (с фланцами)

открытие и закрытие клапана. При этом удается избежать гидравлических ударов на насосы и встроенные приборы. При остановке течения без обратного потока уплотнительная шайба прижимается пружиной к уплотняющей поверхности, обеспечивая полную герметичность.

Бывают обратные клапаны и с фланцевым корпусом (рис. I.50 и I.51), а также в межфланцевом исполнении (рис. I.52). Последние крепятся длинными резьбовыми шпильками в пространстве между двумя фланцами. Их преимущество заключается в меньшей по сравнению с фланцевой арматурой площади, занимаемой в трубопроводе.

Шаровые клапаны (клапаны со сферической пробкой) предназначены для небольших расходов и транспортировки шламовидных веществ (рис. I.53). Корпус клапана представляет собой выполненную из стали полную сферу, покрытую упругой пластмассой. Движение шарика ограничено боковыми поперечными ребрами, а сверху — специальной ловушкой (двойная скоба с перекрестным зацеплением) либо упорным штифтом. При протекании жидкости в требуемом направлении шарик поднимается, открывая проход для потока. При обратном направлении течения шарик вжимается в шаровое седло, блокируя тем самым прохождение потока.

Створчатые клапаны сконструированы примерно так же, как и клапаны со сферической пробкой. Они имеют упругое дисковидное тело из пластмассы или металла, прилегающее к перфорированной шайбе. При прямом направлении протекания диск клапана отводится от перфорированной шайбы и освобождает проход. При протекании в обратном направлении поток прижимает дисковую заслонку к перфорированной шайбе, обеспечивая герметичность.

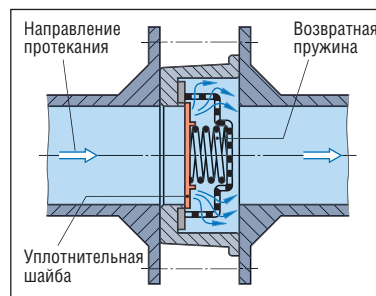


Рис. I.52. Обратный клапан в межфланцевом исполнении

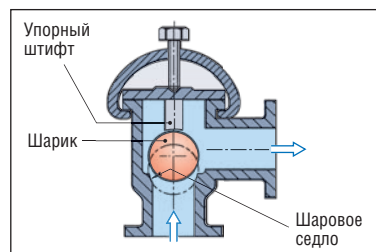


Рис. I.53. Шаровой клапан

2.5. Предохранительные клапаны

Предохранительные клапаны служат для защиты трубопроводов и емкостей от повреждения в результате недопустимо высокого избыточного давления.

Путем автоматического открытия они препятствуют превышению определенного избыточного давления в установке, а после понижения давления вновь автоматически закрываются.

В установках, находящихся под давлением, монтаж таких предохранительных клапанов предписан в обязательном порядке. По способу срабатывания различают управляемые предохранительные клапаны и клапаны прямого действия.

Предохранительные клапаны прямого действия

У таких клапанов усилие при открытии действует непосредственно от среды на конический затвор клапана.

Наиболее распространенной формой исполнения является **пружинный предохранительный клапан** (рис. I.54). Усилие замыкания создается пружиной сжатия

и может регулироваться с помощью контргайки на упругом шпинделе. В случае превышения заранее установленного на предохранительном клапане максимально допустимого избыточного давления конус клапана поднимается, так что через большое кольцевое выходное отверстие может пройти значительный объем находящегося под повышенным давлением вещества. Этот клапан сконструирован с таким расчетом, что газ или жидкость при открытии проходит не через внутреннее

пространство клапана, а прижимается снизу к коническому затвору, выходя сбоку через большое поперечное сечение.

Если давление после выпуска части вещества вновь понижается, то предохранительный клапан автоматически закрывается.

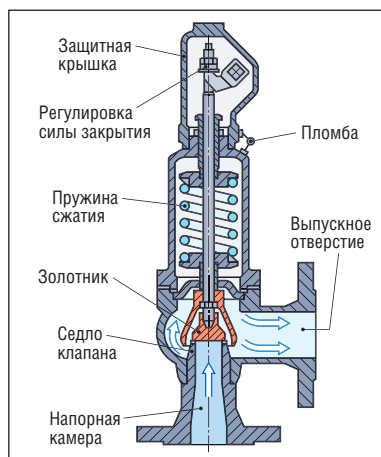


Рис. I.54. Предохранительный клапан с подпружиниванием

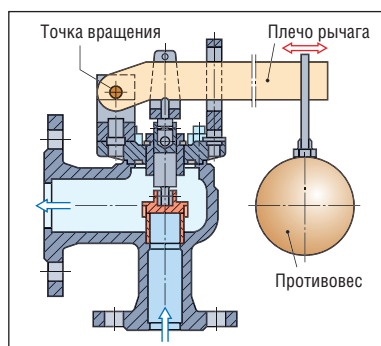


Рис. I.55. Предохранительный вентиль с противовесом

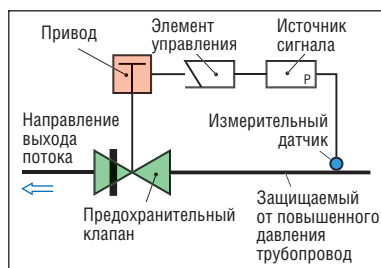


Рис. I.56. Схема регулируемого предохранительного вентиля

Предохранительный вентиль с противовесом (рис. I.55) оказывает противодействие открытию тарельчатого клапана через одноплечный рычаг со смещаемым противовесом. Меняя положение противовеса, устанавливают желаемое противодействие на вентиле. Предохранительные вентили служат для безопасности обслуживающего персонала и установки. Строго запрещено, чтобы посторонние лица самостоятельно изменяли установки на вентиле или отключали вентиль. Поэтому предохранительные вентили пломбируются, чтобы оградить их от вмешательства посторонних. Переустановка или введение новых значений может производиться только уполномоченными лицами. Предохранительные вентили чувствительны к загрязнению: отложения на клапанах и седлах приводят прежде всего к неплотностям и связанным с этим возрастанием протечек, которые, в свою очередь, становятся причиной многократных обращений и функциональных проверок согласно регламенту обслуживания установки.

Управляемые предохранительные вентили

Управляемый предохранительный вентиль (англ. controlled safety valve) состоит из предохранительного вентиля и блока управления (рис. I.56). Предохранительные вентили в основном представляют собой пружинно-нагруженные вентили с исполнительным механизмом. Измерительный прибор определяет давление в защищаемом трубопроводе. При превышении заданного давления через элемент управления и источник сигнала будет задействован исполнительный механизм. Он уменьшит запирающее усилие, так что предохранительный клапан откроется давлением среды. Символы системы управления см. в разд. 2.5 главы XIII.

2.6. Предохранительная разрывная мембрана

Предохранительная разрывная мембрана (англ. rupture disc), также называемая разрывной прокладкой, используется для защиты емкостей, танков и трубопроводов от очень быстрого (взрывоподобного) повышения давления и от возможных повреждений установки.

Предохранительная разрывная мембрана в большинстве случаев представляет собой многослойную выпуклую шайбу, которая обладает свойствами создавать место разрушения (рис. I.57). На подвешенном типовом шильдике (флажке) приводятся давление разрыва, номинальное давление и другие рабочие параметры. Разрывные мембраны встраиваются с или без напряженных фланцевых соединений в трубопроводы, конкретно — в штуцера емкостей. Разрывная мембрана гарантирует абсолютную герметичность защищаемой системы трубопроводов, т.е. защищаемой емкости. Так как это не гарантировано с предохранительными вентилями, то разрывные мембраны особенно показаны при агрессивных и ядовитых производствах.

При превышении разрывного давления мембрана разрывается и открывает практически без задержки выходной канал большого диаметра для сброса давления. При этом газообразное содержимое, а частично и жидкое содержимое емкости, выбрасывается наружу и улавливается в улавливающей емкости или, например, в случае водяного пара выпускается в атмосферу.

Разрывная мембрана — это предохранитель для экстренного случая. Она не закрывается вновь после аварии и вызывает принудительную остановку. Только после замены мембраны установка вновь может вводиться в работу. Разрывная мембрана устанавливается для закрытия трубопроводов, а также емкостей и заправочных танков (рис. I.58).

Разрывная мембрана перед предохранительным вентиляем

Комбинация разрывной мембраны и предохранительного вентиля объединяет преимущества обеих систем безопасности — абсолютную герметизацию и устойчивость к среде разрывной

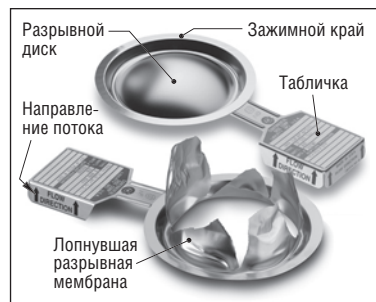


Рис. I.57. Разрывная мембрана

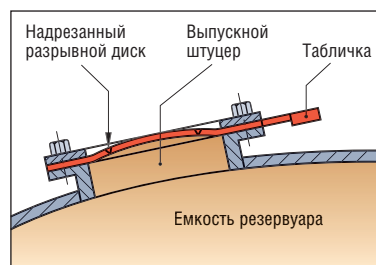


Рис. I.58. Разрывная мембрана, встроенная в штуцер резервуара

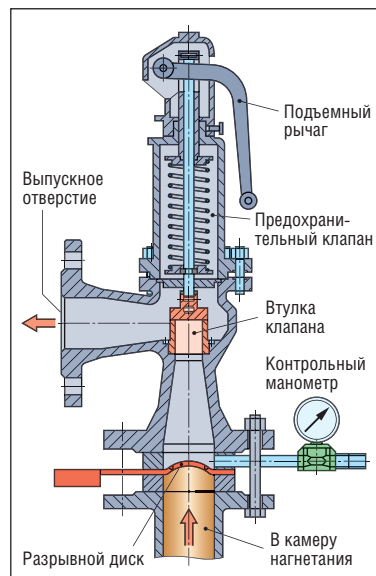


Рис. I.59. Предохранительный клапан со встроенными до него предохранителем с разрывной мембраной и устройством контроля давления

мембраны с повторным закрыванием выпускного отверстия после аварийного случая предохранительным ventилем (рис. I.59).

При нормальной работе разрывная мембрана защищает предохранительный ventиль от контакта со средой процесса и от отложений в области седла ventиля. Тем самым обеспечивается его долговременная работа.

При превышении предельного давления установки могут после краткого и в любом случае без серьезных последствий аварийного случая оставаться в работе. Замену разорванной мембраны можно провести позже, в более удобное время.

Если давление в пространстве между предохранительным ventилем и разрывной мембраной измеряется контрольным манометром с контрольной стрелкой, то в случае взрыва с разрывом мембраны он покажет скачкообразный подъем давления, даже в случае если предохранительный ventиль снова закрыт. Этот подъем давления становится видимым на сломанной контрольной стрелке и может быть, как сигнал тревоги, направлен далее в центр управления.

Другое преимущество комбинации предохранительного ventиля и разрывной мембраны — это возможность проверить давление срабатывания предохранительного ventиля на работающей установке, не прибегая к демонтажу предохранительного ventиля. Проверочное давление подводится через опору манометра.

2.7. Редукционные клапаны

Редукционные клапаны призваны понижать высокое давление среды (газов, паров, жидкостей) до постоянного низкого минимального давления.

Пружинный редукционный клапан (рис. I.60)

Находящаяся под высоким давлением среда поступает в редукционный клапан слева, снижает свое давление при прохождении через дросселирующее поперечное сечение между нижним конусом и гнездом впускного клапана и выходит уже с пониженным давлением с правой стороны.

Требуемое минимальное давление устанавливается вращением регулировочного маховика. При этом изменяется действующее на мембрану низкого давления усилие пружины и, следовательно, выпускное отверстие сопла.

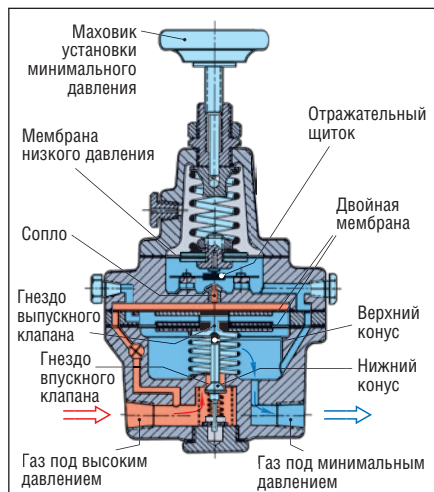


Рис. I.60. Редукционный клапан

При падении минимального давления — например, в результате большего расхода или меньшего высокого давления — мембрана низкого давления с отражательным щитком (типа «сопло — заслонка») перемещается вниз, в результате чего сопло перекрывается сильнее, вытекает меньше жидкости, а давление в пространстве над двойной мембраной возрастает. При этом двойная мембрана с гнездом выпускного клапана закрывается верхним конусом, а гнездо впускного клапана еще шире открывается нижним конусом. Теперь больший объем протекает через увеличенное поперечное

сечение дросселя, минимальное же давление возрастает. Тем самым компенсируется снижение минимального давления.

При повышении минимального давления процесс протекает в обратной последовательности и также приводит к возврату давления на выбранный минимальный уровень.

Редукционный клапан для газовых баллонов под давлением (рис. I.61)

Редукционные клапаны для газовых баллонов представляют собой совершенно особый вид клапанов такого рода. С их помощью высокое давление в газовых баллонах снижается с 200 бар до рабочих давлений в несколько бар.

Газ высокого давления, находящийся во внутренней полости и в предкамере (индикация давления на манометре баллона), блокируется в предкамере от дальнейшего прохождения коническим затвором клапана. Только когда конус клапана будет поднят со своего седла с помощью установочного винта и регулировочной пружины, газ пройдет в камеру снижения давления, отсеченную от внешнего окружения запорным клапаном и упругой мембраной. Если сила сжатия газа в камере снижения давления становится больше противоположно направленного усилия сжатия регулировочной пружины, она подается назад и тем самым вновь водворяет конус клапана в его гнездо, препятствуя попутному течению газа. Только когда при отборе газа давление в редукционной камере вновь падает, регулировочная пружина опять активизируется и конус клапана поднимается со своего седла для дальнейшего пропускания газа.

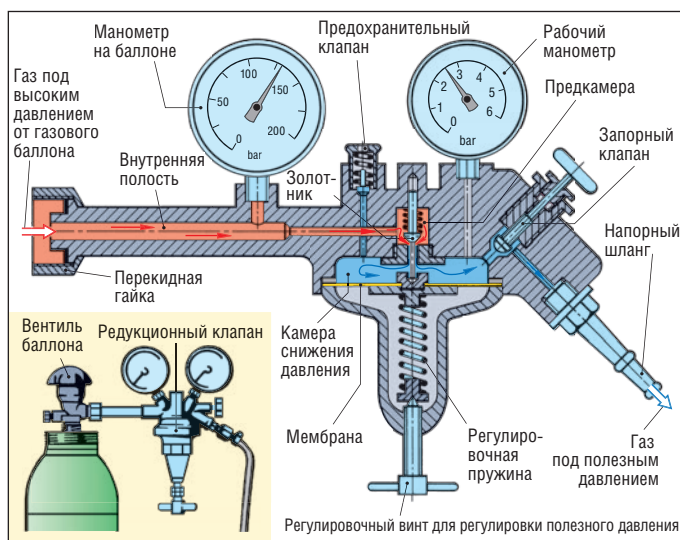


Рис. I.61. Редукционный клапан для газовых баллонов

2.8. Конденсатоотводчики

Устройства отвода конденсата (*англ. steam trap*) являются регулировочной арматурой, которая самостоятельно выводит из трубопровода конденсат, образующийся в паровых трубопроводах или теплообменниках, а также неконденсирующиеся газы, не выпуская при этом какое-либо заметное количество пара в окружающую среду. Они называются конденсаторами.

Если жидкость находится в паро- или газопроводящем трубопроводе, она захватывается стремительно струящимся газом и при попадании на клапан приводит к опасному гидравлическому удару, способному повредить сам трубопровод или

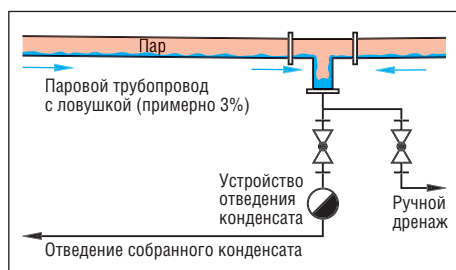


Рис. I.62. Отведение конденсата из паропровода

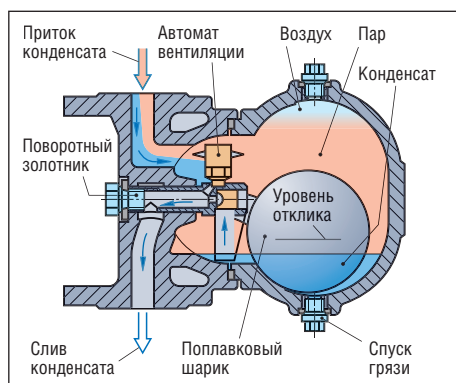


Рис. I.63. Поплавковый конденсатоотводчик

занесенный в трубопровод. Он выводится специальным автоматическим устройством.

Тепловые конденсатоотводчики

Термическое устройство отведения конденсата, как, например, устройство отведения конденсата с сильфонным контейнером или биметаллическое устройство отведения конденсата, управляют отведением конденсата из паропровода через

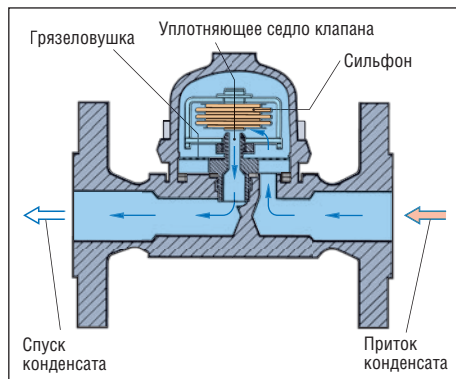


Рис. I.64. Сильфонный конденсатоотводчик

встроенную в него арматуру либо даже разрушить их. Поэтому в паропроводящие трубопроводы приходится устанавливать конденсатоотводчики (рис. I.62).

Поскольку жидкий конденсат собирается в самом глубоком месте трубопроводной системы, то понятно, что конденсатоотводчики размещаются прежде всего в этих местах. Существует много видов устройств для отведения конденсата.

Поплавковый конденсатоотводчик

Принцип действия этого конденсатоотводчика механического действия основан на разной плотности пара и жидкого конденсата (рис. I.63). Конденсат поступает из паропровода и собирается внизу корпуса. Плавающий шар поднимается. Когда конденсат достигает определенного уровня, плавающий шар открывает заслонку и конденсат давлением пара вытесняется из отводчика конденсата. Плавающий шар опускается с понижением уровня и закрывает заслонку. В верхней части корпуса устройства отведения конденсата собирается посторонний воздух,

он выводится специальным автоматическим устройством. Он выводится специальным автоматическим устройством. При нагревании или охлаждении расширяются или сжимаются и тем самым открывают или закрывают выходное отверстие.

Устройство отведения конденсата с сильфонным контейнером

Устройство отведения конденсата с сильфонным контейнером (*англ.* bellows sealed steam trap) содержит на стороне входа в качестве управляющего элемента сильфонный контейнер. Он частично заполнен легко испаряющейся жидкостью, например смесью различных спиртов (рис. I.64).

При температуре испарения происходит испарение, а на несколько градусов ниже происходит конденсация.

Когда горячий пар струится вокруг сильфонной коробки, спирт внутри нее испаряется, что приводит к ее расширению, следствием чего, в свою очередь, является прижим уплотняющей пластины к уплотнительному седлу клапана, и тогда конденсатоотводчик закрывается.

Если же более холодный на несколько градусов конденсат попадает на сильфонную коробку, то спирт в ней конденсируется. Вследствие этого она, естественно, сжимается, что сопровождается отходом уплотняющей пластины от уплотнительного седла. Выходное отверстие при этом открыто и конденсат вытесняется из трубопровода.

При отводе всего конденсата с попутным выходом горячего пара конденсатоотводчик снова закрывается.

Биметаллический конденсатоотводчик

В качестве управляющего блока у такого конденсатоотводчика используется биметаллическая дуга (рис. I.65). Она представляет собой прокатанную из двух металлов с разным тепловым расширением листовую полосу. При изменении температуры оба металла показывают разное расширение, что приводит к изгибу или удлинению биметаллической дуги. Биметаллические прокладки поднимают и, соответственно, опускают уплотняющий конус. При более высоких температурах пара биметаллическая мембрана изгибается и уплотняющий конус прижимается к седлу и закрывает выходное отверстие. Когда конденсат попадает в отводной канал, то стенки корпуса охлаждаются.

В случае же более низких температур биметаллическая дуга изгибается и отжимает уплотняющий конус из уплотнительного седла, что приводит к открытию выходного отверстия. И тогда конденсат вытесняется из трубопровода.

Термодинамические конденсатоотводчики

В термодинамических конденсатоотводчиках в качестве функционального блока применяется тарелка клапана, находящаяся в закрытом пространстве и обтекаемая снизу (рис. I.66 и I.67).

Когда конденсат течет через центральное подводящее отверстие, он поднимает тарелку клапана и стекает по кольцевому каналу в сливное отверстие (рис. I.67, 1). После спуска всего конденсата и появления пара последний тоже приподнимает тарелку клапана и по причине своей низкой вязкости выходит на-

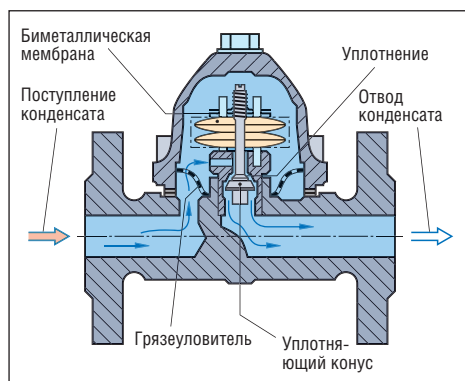


Рис. I.65. Биметаллическое устройство отведения конденсата

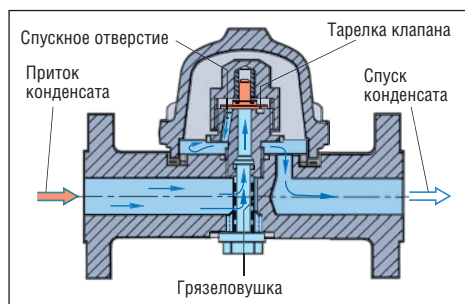


Рис. I.66. Термодинамический конденсатоотводчик

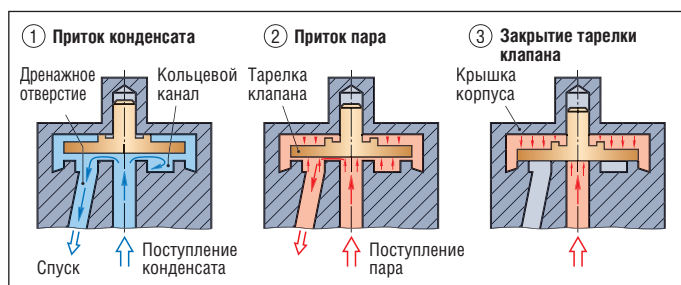


Рис. I.67. Принцип действия термодинамических устройств для отведения конденсата

много быстрее. Часть пара попадает на заднюю сторону тарелки, задерживается там, повышая тем самым свое статическое давление (рис. I.67, 2) (о статическом давлении см. разд. 3.3). Далее пар отжимает тарелку клапана вниз и закрывает тем самым входное отверстие, так что дальнейший выход пара полностью исключается (рис. I.67, 3). За короткое время пар охлаждается между тарелкой клапана и крышкой корпуса с последующей конденсацией. Вследствие этого давление на задней стороне тарелки клапана падает, так что притекающий конденсат (рис. I.67, 1) или пар (рис. I.67, 2) вновь поднимает ее. Начинается новый процесс истечения или закрытия. Таким образом, термодинамические конденсатоотводчики работают в ритме циклов истечения и закрытия.

Выбор устройства отведения конденсата

Выбор подходящего устройства отведения конденсата зависит от условий его применения. Важнейшие параметры оценки и выбора показаны в приведенной ниже таблице.

Они означают: 1 — очень хорошо, 2 — хорошо, 3 — условно применимый, не подходит.

Критерии оценки и выбора		Поплавковый	Сильфонный	Биметаллический	Термодинамический
		Устройства отведения конденсата			
Виды конденсата	Водяной пар	1	1	1	1
	Химикалии	1	—	—	—
Тип производства	Непрерывный	1	1	3	1
	Циклический	1	1	2	3
Устойчивость к загрязнениям		1	1	1	3
Морозостойкость		3	1	1	1
Склонность к гидравлическому удару		3	1	1	1
Срок службы		1	2	1	1

2.9. Воздушные клапаны

Задачей воздушных клапанов, или воздушников, является удаление из установки, проводящей жидкость и пар, находящихся в трубопроводах и емкостях газов, в частности воздуха.

При заполнении вводимой в эксплуатацию установки жидкостью содержащийся в ней воздух необходимо вытеснить жидкостью, что удаётся далеко не полностью. Также и при нарушении герметичности и наличии растворённых в жидкости газов газы и воздух попадают в установку. Это может привести к гидравлическим ударам

и повреждению насосов. Благодаря встраиванию воздушников в трубопроводы и емкости удается добиться непрерывной деаэрации установки.

Газы собираются в самой высокой части установки. Поэтому там расположен выпускной клапан (рис. I.68).

Удаление воздуха из трубопровода в простейшем случае происходит с помощью **выпускного клапана**. Его нужно держать открытым, пока не будет удален весь воздух и не потечет жидкость.

Воздушники теплового действия для паропроводящих трубопроводов функционируют с использованием расширительного сосуда, заполненного компенсирующей жидкостью (рис. I.69). Если в этот воздушник попадает воздух, жидкость в сосуда нагревается меньше, чем при прохождении горячего пара, поскольку воздух обладает худшей по сравнению с горячим паром способностью передавать тепло. Поэтому клапан при обтекании его воздухом остается открытым. Когда весь воздух выходит и начинает поступать горячий пар, компенсирующая жидкость нагревается сильнее и расширившийся сосуд закрывает клапан. При охлаждении воздушника он опять открывается и вновь начинается процесс деаэрации.

Поплавковый вентиль для удаления воздуха работает механически самостоятельно с поплавком, который открывает и закрывает отверстие (рис. I.69, справа). Этим клапаном удаляют воздух из установок и емкостей, заполненных жидкостью.

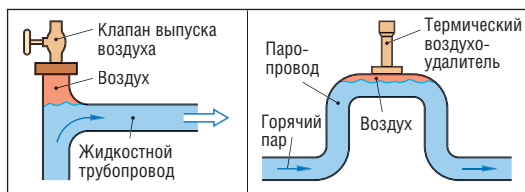


Рис. I.68. Порядок удаления воздуха

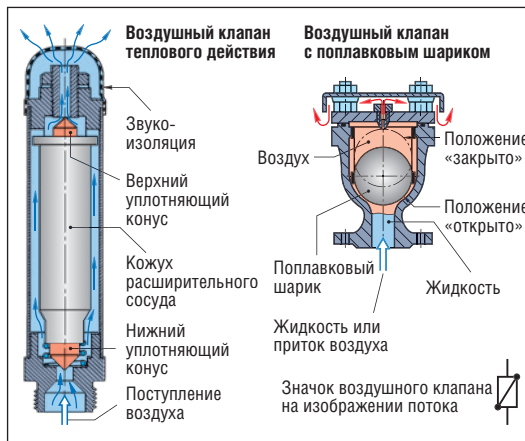


Рис. I.69. Конструктивные исполнения воздушных клапанов

2.10. Грязеуловители

Проходящие по трубопроводным системам жидкости и газы могут содержать разного рода загрязнения и примеси, способные со временем серьезно засорить трубы и особенно арматуру. Поэтому на входе в трубопровод устанавливаются фильтры для улавливания грязи и прочего мусора. В качестве фильтра обычно используют проволочное полотно или тонкопористые материалы. Приборы, особенно чувствительные к загрязнениям, как, например, удалитель конденсата, имеют свой собственный фильтр от грязи.

Контрольные вопросы

1. Чем принципиально отличаются задвижка и заслонка?
2. Какую задачу выполняет регулирующий клапан?
3. Каковы преимущества клапана с наклонным седлом?

4. Какие виды исполнительных приводов существуют?
5. Каков принцип действия устройств, препятствующих обратному потоку?
6. Для чего предназначены разрывные шайбы?
7. Каковы задачи предохранительных клапанов?
8. Для чего используются редукционные клапаны?
9. Как действуют поплавковый и биметаллический конденсатоотводчики?
10. Объясните принцип действия термодинамического удалителя влаги.
11. В каком месте трубопровода должен находиться воздушный клапан?

3. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРУБОПРОВОДАХ

Протекающие в трубопроводах жидкости и газы подчиняются одним и тем же законам течения, несмотря на то что эти вещества обладают весьма различающимися свойствами. Жидкости, например, практически несжимаемы, в то время как газы сжимаются под действием давления. Причина же такой идентичности гидродинамического поведения заключается в том, что в газах, протекающих со скоростью ниже скорости звука, сжатия практически не наблюдается.

В любом течении между частицами протекающего вещества и стенками труб неизбежно возникает трение. Однако при некоторых гидродинамических процессах в жидкостях и газах это трение настолько ничтожно, что им вполне можно пренебречь. В таком случае говорят о **течении без трения**. К нему применимы самые простые закономерности, такие как объемный расход, скорость течения и давление. Но ни в коем случае нельзя отбрасывать фактор трения в жидкостях и газах при расчете потерь давления.

3.1. Объемный расход, массный поток, скорость течения

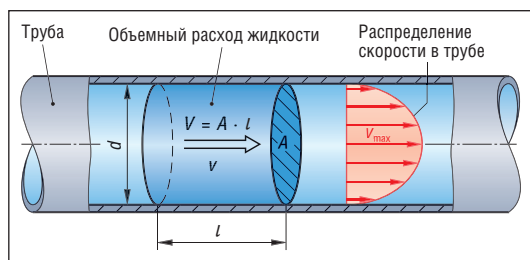


Рис. I.70. Поток в трубе

Объем жидкости, протекающий через трубопровод в единицу времени, называют **объемным потоком** (англ. volumetric flow rate). В формулах его обозначают $\dot{V}$ или Q_V . Объемный поток

Объемный поток

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

рассчитывают из объема V , прошедшего за время t .

Если представить текущий по трубопроводу объем жидкости в виде пробки объемом $V = A \cdot l$ (рис. I.70), то $\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot l}{t} = v \cdot A$.

Переставив в этом выражении V и v , найдем линейную скорость потока $v = \dot{V} / A$. При этом речь идет о **расчетной средней скорости потока** (flow rate). Ее также называют средней скоростью. Если учесть, что площадь поперечного сечения круглой трубы $A = \pi d_i^2 / 4$, то приходим к выражению, представленному справа. На самом деле в трубке господствует распределение скоростей с максимальной скоростью $v_{\max}$ в центре трубы.

Протекающая по трубе **масса** m вычисляется на основе объемного расхода V и плотности ρ : $m = \rho \cdot V$.

Учитывая, что $V = A \cdot v \cdot t$, получаем $m = \rho \cdot A \cdot V \cdot t$.

Упражнение. По трубе с условным проходом DN 80 ($d_i = 82,5$ мм) ежедневно протекает 26 м^3 воды.

Какова средняя скорость течения в трубе?

Решение:

$$v = \frac{\dot{V}}{A}; A = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (82,5 \text{ мм})^2 = 5346 \text{ мм}^2 = 0,005346 \text{ м}^2.$$

Получаем:

$$v = \frac{26 \text{ м}^3/\text{ч}}{0,005346 \text{ м}^2} = \frac{26 \text{ м}^3}{0,005346 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с}} \approx 1,35 \text{ м/с}.$$

Задача. Какая масса среды протечет за 3 ч. по трубе с условным проходом DN 65, если речь идет о жидкости со скоростью течения $0,4 \text{ м/с}$? ($\rho = 0,82 \text{ г/см}^3$, $d_i = 70,3 \text{ мм}$.)

3.2. Поток в трубе переменного диаметра

При изменении площади поперечного сечения трубопровода A меняется скорость потока (рис. 1.71).

За основу расчета изменившейся скорости течения берется тот факт, что через широкое поперечное сечение площадью A_1 протекает такой же объем жидкости, как и через узкое поперечное сечение площадью A_2 .

Масса протекающей по трубе среды составляет

$$- \text{ в месте 1: } m_1 = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot t,$$

$$- \text{ в месте 2: } m_2 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot t.$$

Поскольку $m_1 = m_2$, то имеет силу равенство: $\rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot t = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot t$.

Сокращая ρ и t , получаем уравнение, известное как **уравнение неразрывности**:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}.$$

Это уравнение неразрывности показывает, что при уменьшении площади поперечного сечения с A_1 до A_2 скорость протекающей среды возрастает в той же пропорции с v_1 до v_2 .

Соотношение скоростей потоков соответствует обратному соотношению площадей сечения и у труб круглого сечения — обратному отношению квадратов диаметров.

Средняя скорость течения в трубопроводе

$$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2}$$

Масса протекающей среды потока

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \dot{V} \cdot t = \rho \cdot A \cdot v \cdot t$$

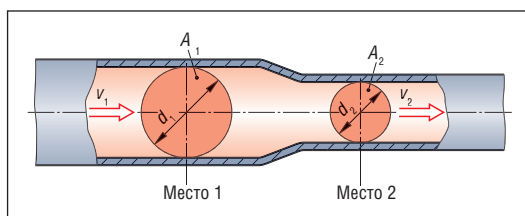


Рис. 1.71. Сужение трубы

Уравнение непрерывности

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \text{ или } \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\text{У труб круглого сечения: } \frac{v_1}{v_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Упражнение. В трубопроводной сети с номинальным давлением PN 10 условный проход трубы после переходного штуцера уменьшился с DN 80 до DN 50. По этому трубопроводу за секунду подается 12 л воды. Какова средняя скорость течения в трубе с условным проходом 80 и в трубе с условным проходом 50?

Дано: $\dot{V} = 12$ л/с. Найти: v_1, v_2 .

Решение. Из табл. I.2 DN 80 $\rightarrow d_{i,1} = 82,5$ мм; DN 50 $\rightarrow d_{i,2} = 54,5$ мм;

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{i,1}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 8,25^2 \text{ см}^2 = 53,5 \text{ см}^2; A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot 5,45^2 \text{ см}^2 = 23,3 \text{ см}^2.$$

Труба с условным проходом 80:

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{A_1} = \frac{12 \text{ л/с}}{53,5 \text{ см}^2} = \frac{12 \cdot 10^3 \text{ см}^3/\text{с}}{53,5 \text{ см}^2} = 224,3 \text{ см/с} \approx 2,24 \text{ м/с}.$$

Труба с условным проходом 50:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{A_1 \cdot v_1}{A_2} = \frac{53,5 \text{ см}^2 \cdot 2,24 \text{ м/с}}{23,3 \text{ см}^2} \approx 5,14 \text{ м/с}.$$

Задание. Как изменится скорость потока в трубопроводе, если внутренний диаметр трубы круглого сечения:

- уменьшится наполовину,
- уменьшится на треть?

3.3. Изменение давления у потока в трубе переменного сечения

При условии течения без трения в отношении протекающей в трубопроводе жидкости действует **закон сохранения энергии**: сумма энергий $W_{\text{полн}}$ в жидкости остается постоянной в любом месте:

$$W_{\text{полн места 1}} = W_{\text{полн места 2}} = \text{const}.$$

Если ограничиваются только горизонтальным трубопроводом ($W_{\text{пот}} = \text{const}$), то получают жидкость двух разных форм энергии:

- **энергии статического давления**, которая составляет $W_{\text{стат}} = p_{\text{стат}} \cdot V$, причем $p_{\text{стат}}$ есть **статическое давление**;
- **кинетической энергии**, вычисляемой таким образом:

$$W_{\text{кин}} = \frac{m}{2} \cdot v^2 = \frac{\rho \cdot V}{2} \cdot v^2.$$

Полагая обе формы энергии присутствующими в двух местах трубопровода (рис. I.53), получаем:

$$W_{\text{стат1}} + W_{\text{кин1}} = W_{\text{стат2}} + W_{\text{кин2}} = \text{const}.$$

С уравнениями для отдельных форм энергии действительно следующее:

$$p_{\text{стат1}} \cdot V + \frac{\rho \cdot V}{2} \cdot v_1^2 = p_{\text{стат2}} \cdot V + \frac{\rho \cdot V}{2} \cdot v_2^2 = \text{const}.$$

Исключив из каждого члена V , получаем:

$$p_{\text{стат}1} + \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 = p_{\text{стат}2} + \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 = \text{const.}$$

Слагаемое $\rho \cdot v^2/2$ есть при этом **динамическое давление** $p_{\text{дин}}$ (именуемое также скоростным напором). Вставив его в уравнение, получим **закон Бернулли**.

Это уравнение формулируется следующим образом: полное давление $p_{\text{полн}}$ в любом месте трубопровода остается постоянным и складывается из статического давления $p_{\text{стат}}$ и динамического давления $p_{\text{дин}}$.

Это означает, например, при прохождении через сужение трубы (рис. I.72), что там динамическое давление $p_{\text{дин}2}$ возрастает из-за повышенной скорости течения ($p_{\text{дин}} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$). Поскольку полное давление $p_{\text{полн}}$ остается постоянным,

статическое давление $p_{\text{стат}2}$ должно быть понижено в той же мере.

Упражнение. Перед сужением в трубопроводе давление составляет 2,40 атм. После сужения измеренное статическое давление составляет 2,20 атм. С какой скоростью протекает жидкость, если принять, что трение отсутствует ($\rho_F = 0,850 \text{ г/см}^3$)?

Решение:

$$p_{\text{полн}} = p_{\text{стат}2} + p_{\text{дин}2} = p_{\text{стат}2} + \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2$$

$$\Rightarrow \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 = p_{\text{полн}} - p_{\text{стат}2} \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{\rho}{2} (p_{\text{полн}} - p_{\text{стат}2})}.$$

Учитывая, что $1 \text{ бар} = 100\,000 \text{ Н/м}^2$ и $1 \text{ кг} = \text{Н} \cdot \text{с/м}^2 \Rightarrow 1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, получаем:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{м}}{0,85 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}^2} \cdot 0,2 \cdot 100\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{0,85} \cdot 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \approx 6,9 \text{ м/с}.$$

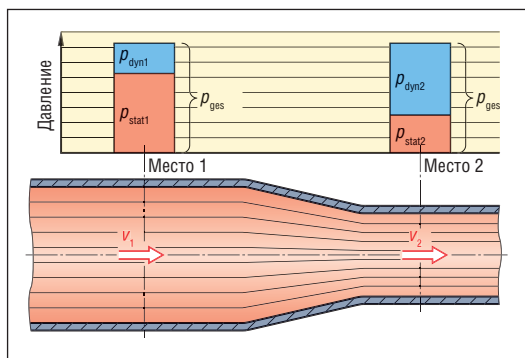


Рис. I.72. Распределение давления в трубопроводе с сужением

Закон Бернулли

$$p_{\text{полн}} = p_{\text{стат}1} + p_{\text{дин}1} = p_{\text{стат}2} + p_{\text{дин}2} = \text{const}$$

3.4. Внутреннее трение, вязкость

У реальной жидкости в потоке всегда присутствует трение. Оно бывает двух типов и возникает в разных местах (рис. I.73):

- внутри жидкости — у движущихся друг относительно друга с различной скоростью слоев жидкости, как, например, это проявляется у потоков в трубе;
- у стенки трубы — при протекании жидкости у стенок трубы. В этом случае говорят о трении о стенки.

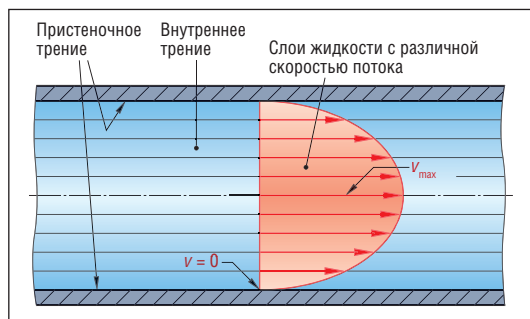


Рис. I.73. Трение потоков внутри трубы

Таблица I.8. Динамическая вязкость при 20 °С

Вещество	η , Па·с	ρ , кг/м ³
Воздух	$1,81 \cdot 10^{-5}$	1,293
Вода	$1,001 \cdot 10^{-3}$	998,4
Этанол	$1,20 \cdot 10^{-3}$	789
Глицерин	1,41	1261
Машинное масло	0,1...1,2	900...930

в формуле:

$$\eta = \rho \cdot \nu.$$

где ρ — плотность жидкости.

Вязкость жидкостей снижается по мере повышения температуры. Поэтому температуру надо обязательно приводить с одновременным указанием вязкости вещества (табл. I.8).

Задание. Масло для коробки передач имеет при 40 °С кинематическую вязкость 32 мм²/с. Какую величину имеет динамическая вязкость ($\rho_{\text{ол}} = 910 \text{ кг/м}^3$)?

3.5. Разновидности течений

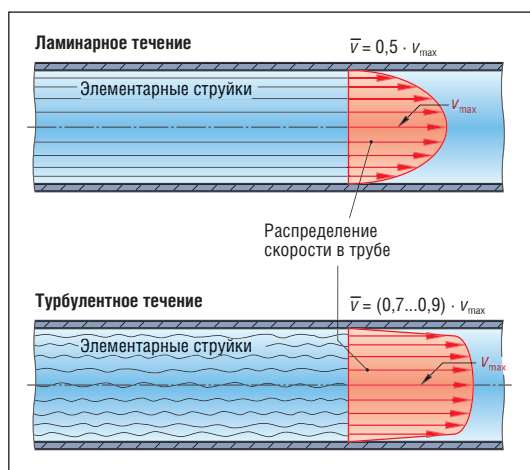


Рис. I.74. Разновидности течений

Требуемое для движения усилие у разных жидкостей различно. В случае легкоподвижных жидкостей — например воды — достаточно приложить минимальное усилие, в то время как при вязких жидкостях (масло и проч.) потребуется гораздо больше сил, чтобы протащить по ним тело с той же скоростью. Это свойство жидкостей называется **вязкостью**. Она является важной постоянной характеристикой материалов при описании их текучести.

Существует два числовых параметра для определения вязкости:

- **динамическая вязкость** η с единицей измерения Па·с;
- **кинематическая вязкость** ν с единицей измерения м²/с.

Обе этих параметра объединены

Различают два режима течения — ламинарный и турбулентный (рис. I.74).

Ламинарное течение имеет место, когда жидкость протекает медленно и спокойно. Отдельные слои жидкости скользят относительно друг друга, не перемешиваясь. Наибольшая скорость жидкости отмечается в самом центре (v_{max}), а ближе к стенкам трубы она в форме параболы снижается до нуля.

Турбулентное течение отмечается при более высоких скоростях течения. При этом слои жидкости образуют водоворот и перемешиваются друг с другом. Сопротивление

течению жидкости здесь значительно больше, чем при ламинарном режиме. Скорость на стрейне течения примерно одинакова.

В трубопроводах химических установок имеет место преимущественно турбулентный режим течения.

Характеристическим параметром для описания состояния течений является не имеющее размерности **число Рейнольдса** (Re), вычисляемое следующим образом:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где v — средняя скорость течения; d — внутренний диаметр трубы при прохождении по трубопроводу; ν — кинематическая вязкость протекающей жидкости.

Для ламинарного потока внутри трубки число Рейнольдса меньше 2300, а для турбулентного потока — 10 000 и выше. Между $Re = 2300$ и 10 000 находится переходная область.

Задание. Через трубопровод с внутренним диаметром 341,4 мм течет минеральное масло со средней линейной скоростью потока 0,16 м/с. Характеристики масла: $\eta = 895 \cdot 10^{-3}$, Па·с, $\rho = 0,916$ г/см³.

- Какое число Рейнольдса имеет поток в трубопроводе?
- Является поток ламинарным или турбулентным?

3.6. Потеря давления в трубопроводах

При протекании жидкости по трубе внутри движущегося потока и с приближением его к стенкам трубы происходит потеря энергии на трение, отмечаемая как снижение давления (или потеря напора). Также и при обтекании арматуры и в случае иных изменений внутри трубопровода (изгибов, сужений и проч.) имеет место потеря энергии, проявляющаяся в виде ослабления напора.

Степень **потери давления в трубах** Δp зависит от многих факторов: шероховатости внутренней стенки трубы l , внутреннего диаметра трубы d_i , вида течения (ламинарный или, соответственно, турбулентный режимы), скорости течения v и плотности жидкости ρ (рис. I.75).

Величина λ (лямбда) обозначает **коэффициент сопротивления** (трения) трубы. Она зависит от шероховатости стенок трубы и режима течения, то есть от числа Рейнольдса (Re).

Коэффициент сопротивления (трения) трубы λ определяется опытным путем и вносится в диаграмму (рис. I.76). Для разных состояний течения имеются разные ветви характеристической кривой. Переход из ламинарного режима в турбулентный осуществляется при числе Re порядка 2300. При турбулентном течении дополнительное влияние оказывает шероховатость внутренней стенки трубы.

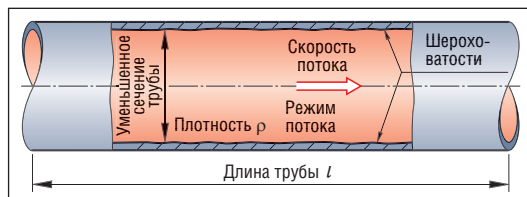


Рис. I.75. Факторы, влияющие на потерю давления

Потеря давления в трубопроводе

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

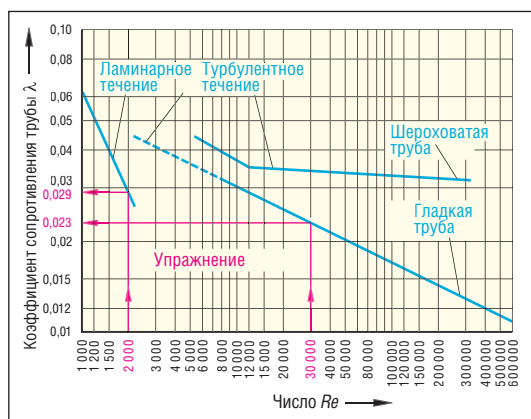


Рис. I.76. Диаграмма сопротивления (трения) трубы

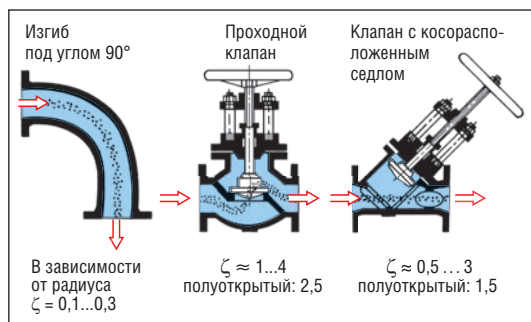


Рис. I.77. Коэффициенты местных сопротивлений

Потеря давления в местных сопротивлениях

$$Z = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Общая потеря давления в трубопроводах

$$\Delta p_{\text{полн}} = \Delta p + \sum Z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_i} + \zeta_{\text{полн}} \right) \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

скоростью 1,2 м/с ($\rho_F = 0,924 \text{ г/см}^3$)?

Решение. Основная формула:

$$Z = \zeta \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot v^2.$$

$$Z = 0,83 \cdot \frac{0,924 \text{ г/см}^3}{2} \cdot 1,2^2 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 0,5522 \cdot \frac{\text{кг} \cdot 1\,000\,000 \cdot \text{м}^2}{1000 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^2} = 552,2 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}.$$

$$\text{С } 1 \text{ кг} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}} \text{ получаем } Z = 552,2 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}} \cdot \frac{1}{\text{м} \cdot \text{с}^2} = 552,2 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}.$$

Упражнение. Какую величину λ имеет гладкая труба при $Re = 2000$ и, соответственно, $Re = 30\,000$?

Решение:

Из рис. I.76 выводим:

$$Re = 2000 \rightarrow \lambda = 0,03;$$

$$Re = 30\,000 \rightarrow \lambda = 0,023.$$

При протекании сквозь арматуру и другие конструкции, такие как искривления или сужения, также происходит потеря энергии, которая проявляется как потеря давления (рис. I.77). Потерю давления на арматуре в трубопроводе обозначают как **местное сопротивление Z**.

Величина потери давления ξ за счет местного сопротивления зависит от типа отдельных сопротивлений (изгиб, вентиль, задвижка и т.д.), а также от плотности ρ и скорости v протекающей жидкости.

Величина ξ называется коэффициентом сопротивления и зависит от типа построения и выполнения отдельных местных сопротивлений (рис. I.77). Для арматур ξ сильно зависит от степени открытия арматуры.

Суммарная потеря давления $\Delta p_{\text{полн}}$ трубопровода складывается согласно рядом стоящему выражению из потери давления на прямых участках трубопровода Δp и суммы местных сопротивлений Z .

Упражнение. Какова потеря давления в (гПа) на одном вентиле, если его коэффициент сопротивления $\xi = 0,83$ и жидкость течет со

$$\text{С } 1 \frac{\text{Н}}{\text{М}_2} = 1 \text{ Па получается } Z = 552,2 \text{ Па} \approx 5,5 \text{ гПа.}$$

Задание. В трубопроводе длиной 800 м с DN 50 ($d_i = 54,3$ мм) протекает вода с линейной скоростью 1,8 м/с. Какова потеря давления на трубопроводе ($\rho = 1,00$ г/см³, коэффициент сопротивления стали $\lambda = 0,032$)?

3.7. Характеристика трубопровода

Потеря давления в трубах, как и потери давления в местных сопротивлениях, возрастают вместе со скоростью течения. Поэтому со скоростью течения ослабевает и общий напор (то есть возрастает потеря давления в трубопроводе). Такое нарастание общей потери давления может быть наглядно представлено в диаграмме.

И все же более привычным является отображение общей потери давления через объемный расход $\dot{V}$. (Поскольку объемный расход $\dot{V}$ пропорционален скорости v , то есть $\dot{V} = A \cdot v$ (разд. 2.7), то оба представления имеют одинаковую форму.)

Ветвь кривой общей потери давления в зависимости от объемного расхода $\dot{V}$ именуется **характеристикой трубопровода** (рис. I.78). Она имеет параболическую форму, ибо как потеря давления в трубах, так и местные сопротивления возрастают квадратично по сравнению с расходом:

$$\Delta p_{\text{полн}} \sim v^2 \sim \dot{V}^2.$$

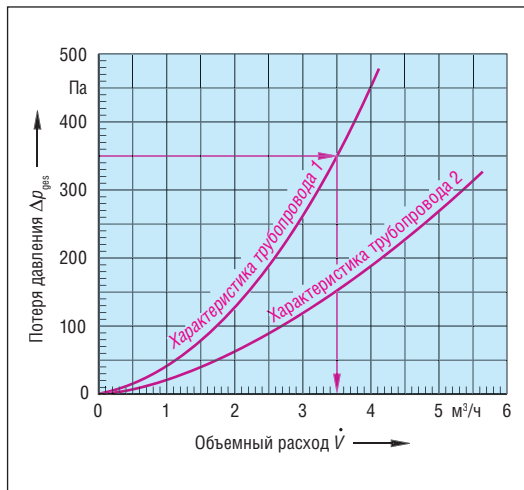


Рис. I.78. Характеристики трубопровода

Характеристика трубопровода показывает потерю давления $\Delta p_{\text{полн}}$ для определенного трубопровода при любом объемном расходе $\dot{V}$.

Пример. Трубопровод 1 на рис. I.78 при определенной скорости течения имеет потерю давления $\Delta p_{\text{полн}} = 350$ Па. Каков объемный расход?

Решение:

из графической характеристики трубопровода 1 при $\Delta p_{\text{полн}} = 350$ Па считываем:

$$\dot{V}_1 = 3,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Каждый трубопровод в зависимости от длины, номинального размера, наличия фасонных деталей и встроенной арматуры имеет характеристическую кривую, специфическую для типа построения.

Трубопровод с большой потерей давления имеет круто поднимающуюся характеристическую линию, как линия 1 на рис. I.78; трубопровод с малой потерей давления имеет плоскую характеристическую линию (линия 2).

Чем больше объемный поток $\dot{V}$, текущий по трубопроводу, тем больше будет сопротивление трубопровода (рис. I.78). Следовательно, при большом объемном потоке должны использоваться насосы большой мощности, чтобы преодолеть квадратично возрастающее сопротивление потоку (см. разд. 4.4.6 главы I).

Задание. Каков объемный поток в трубопроводе 2 на рис. I.78 при суммарной потере давления 220 Па?

3.8. Эюра давления в трубопроводах

В трубопроводе давление не везде одинаково. Более того, эти показатели значительно различаются в разных местах (рис. I.79).

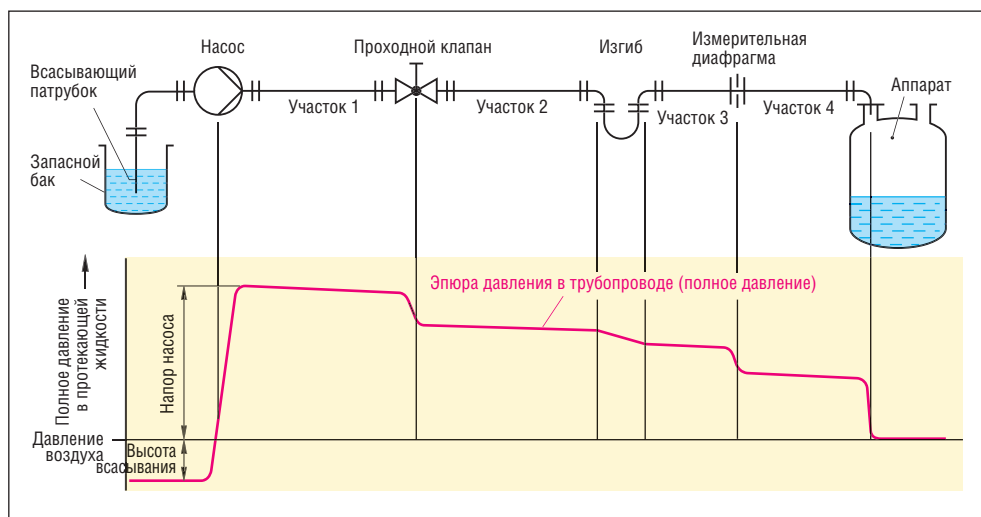


Рис. I.79. Эюра давления в трубопроводе (полное давление)

Под давлением в данном случае понимается **полное давление** в протекающей жидкости. Оно складывается из статического давления и динамического давления: $p_{\text{полн}} = p_{\text{стат}} + p_{\text{дин}}$ (более подробно см. выше).

Во всасывающем патрубке насоса жидкость поступает из открытого запасного бака: там имеет место разрежение.

В насосе создается давление с максимальным значением на его выходе.

На 1-м участке трубопровода давление слегка падает, поскольку жидкость из-за сопротивления потока у внутренней стенки трубы теряет напор.

Более значительное снижение давления претерпевает жидкость в проходном клапане, поскольку она делает поворот и разбивается отверстием седла клапана.

Во 2-м, 3-м и 4-м участках также происходит некоторое падение давления, в то время как в области изгиба и измерительной диафрагме оно снижается совершенно отчетливо.

На конце трубопровода жидкость свободно выливается в аппарат, там ее давление равно давлению окружающей среды (например воздуха) в аппарате.

Показанная на рис. I.79 эпюра давления создается при измеренном полном давлении. Если измеряется только статическое давление, то имеет место другое распределение давления (см. гл. V).

Контрольные вопросы

1. По какой формуле рассчитывается скорость потока в трубе?
2. О чем говорит уравнение непрерывности струи?
3. Как меняется в сужении трубопровода статическое давление?
4. Как записывается закон Бернулли и о чем он говорит?
5. Для какого свойства жидкости мерой является вязкость?
6. По какому уравнению рассчитывают число Рейнольдса Re ?
7. От чего зависит перепад давления в трубопроводе?
8. Что можно узнать из характеристической линии трубопровода?

4. ТРАНСПОРТИРОВКА ЖИДКОСТЕЙ

Подача жидкости по трубопроводу из одной емкости или аппарата в другую емкость или аппарат является рутинной задачей химической установки.

4.1. Обзор видов транспортировки

Сила, вызывающая перемещение (*англ.* transfer) жидкости по трубопроводу, — это разность давлений, которая преодолевает сопротивление потоку в трубопроводах. Разность давлений можно создать различными способами. Соответственно, различают различные способы транспортировки.

Транспортировка под действием силы тяжести

Этот вид транспортировки основывается на использовании силы тяжести и возникающего вследствие этого гидростатического давления у дна сосуда, наполненного жидкостью.

Поэтому химические установки часто построены так, что различные ступени процесса в одном каркасе или здании организованы друг над другом в несколько этажей (рис. I.80). Жидкость нужно закачать только один раз на исходную ступень установки, и далее она течет под действием силы тяжести, начиная сверху от одной ступени процесса к другой.

Преимущество этого вида транспортировки в том, что только один насос используется для всей установки и только один раз необходимо использовать энергию для транспортировки. Стоимость установки и затраты энергии на производство очень выгодны.

Недостатком является относительно медленная скорость истечения и связанное с этим относительно долгое время истечения. Они не могут быть изменены, как это возможно, например, с насосами.

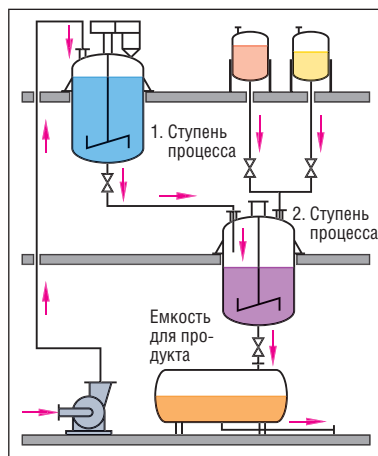


Рис. I.80. Химическая установка с подачей самотеком

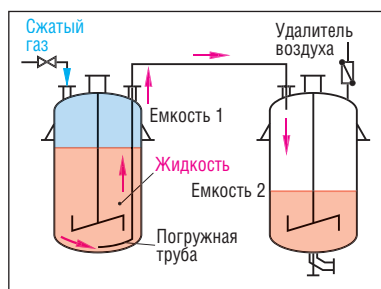


Рис. I.81. Транспортировка сжатым газом

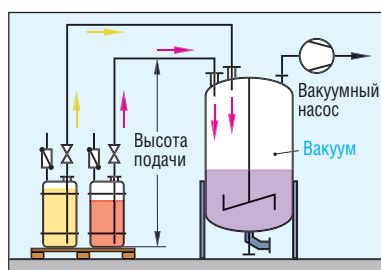


Рис. I.82. Транспортировка пониженным давлением

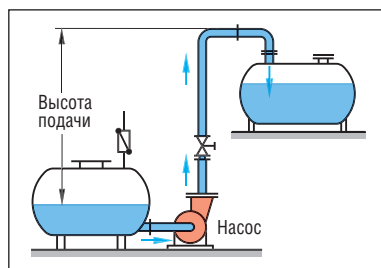


Рис. I.83. Транспортировка насосом

Транспортировка сжатым газом или вакуумом

При транспортировке сжатым газом к емкости, в которой находится транспортируемая жидкость, прикладывается избыточное давление (рис. I.81). Обычно оно создается или воздухом, или азотом. Газы или поступают из газовых баллонов, или накачиваются компрессором. Давление передавливает жидкость через погружную трубу в следующую емкость. Наполняемая емкость должна быть снабжена клапаном для выпуска воздуха.

При транспортировке вакуумом в наполняемой емкости с помощью вакуумного насоса создается разрежение (рис. I.82). Оно всасывает транспортируемую жидкость, например, из резервной емкости. С физической точки зрения это атмосферное давление передавливает жидкость из одной емкости в другую. В емкость, из которой перекачивается жидкость, должен поступать воздух. Так как максимальный вакуум может создать перепад давления в 1 атм, высота подачи для воды ограничена 8 метрами.

Транспортировка насосами

Транспортировка жидкостей насосами — самый популярный вид транспортировки жидкостей среди химических установок (рис. I.83). С их помощью можно в широких пределах устанавливать расход и скорость подачи в соответствии с требуемыми значениями. Для транспортировки жидкостей насосами имеется большое число насосов различных моделей (см. разд. 4.2 и далее).

4.2. Транспортировка насосами

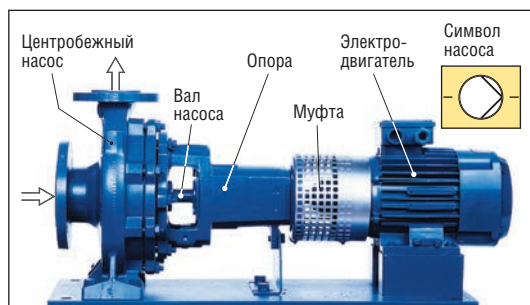


Рис. I.84. Химический насос с приводным блоком

Для транспортировки жидкостей в трубопроводах химической установки служат **насосы**.

К насосной установке наряду с собственно насосом относится также электродвигатель в качестве приводного блока, который через муфту приводит в действие вал насоса (рис. I.84).

Для передачи жидкости на расстояние насос должен привести ее в

движение, преодолеть сопротивления потока в трубопроводах и арматуре, а также компенсировать различия в высоте и давлении в разных местах подачи (обычно в резервуарах и прочих емкостях).

Виды насосов

Классификация насосов осуществляется предпочтительно по принципу действия и рабочему элементу.

1. Центробежные насосы

- Центробежные насосы
- Пропеллерный насос
- Червячный насос

2. Плунжерные насосы

- Поршневые насосы
- Мембранный насос
- Роторный насос

3. Струйные насосы

- Шестеренчатые насосы
- Ротационный насос

Первая и третья группы — это потоковые насосы, вторая группа — это вытеснительные насосы с поступательным или вращательным движением рабочего элемента.

Наряду с этим используется обозначение насосов по цели применения, как, например, перекачивающие насосы, циркуляционные насосы, дозирующие насосы, или материала, из которого изготовлен насос, как, например, металлические насосы, пластмассовые насосы.

4.3. Центробежные насосы

4.3.1. Конструкция и принцип действия

Центробежные насосы (*англ.* centrifugal pumps) имеют спиралевидный корпус, в котором с высокой скоростью вращается снабженное лопатками рабочее колесо (рис. I.85). Оно через вал насоса приводится в движение электромотором.

Подкачиваемая жидкость попадает в насос через расположенный на оси вращения всасывающий патрубок и ускоряется вращающимся рабочим колесом с выходом на круговую направляющую. Под действием центробежных сил подаваемая жидкость протекает от оси вращения радиально наружу в спиральный трубный коллектор и затем устремляется к напорному патрубку (рис. I.86).

Вследствие различных скоростей потока в различных частях насоса реализуется различное давление. Общие сведения о давлении и распределении давления в движущейся жидкости см. в разд. 3.2–3.3 главы I.

На всасывающем патрубке насоса жидкость засасывается. Здесь реализуется вакуум, соответствующий высоте всасывания насоса. На рабочем колесе насоса транспортируемая жидкость приобретает высокую скорость.

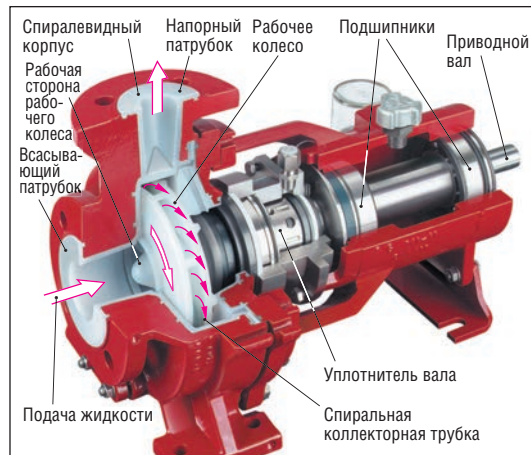
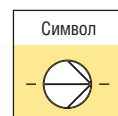


Рис. I.85. Взгляд внутрь центробежного насоса



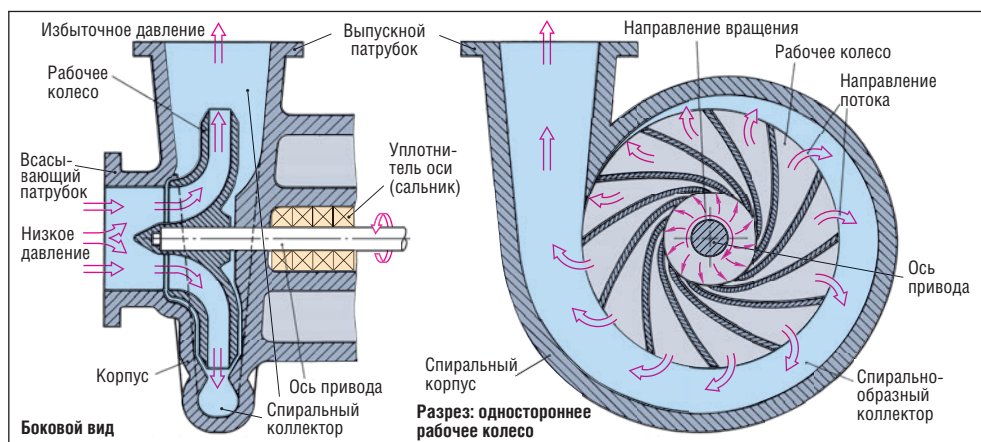


Рис. I.86. Принципиальное устройство центробежного насоса

Высокая энергия движущейся жидкости соответствует высокому динамическому давлению. В спиральной коллекторной трубке жидкость затормаживается и при этом большая часть содержащейся в текущей жидкости энергии движения превращается в энергию статического давления. На выпускном штуцере жидкость покидает насос под давлением; оно соответствует давлению насоса. Центробежные насосы получили свое название по принципу работы, но они известны также под названиями «центростремительные насосы» и «радиальные центробежные насосы».

4.3.2. Рабочее колесо насоса

Центральной частью центробежного насоса является рабочее колесо (*англ.* impeller). Существует множество разных форм рабочих колес. На рис. I.87 показано, например, открытое рабочее колесо с лопатками, изогнутыми у всасывающего отверстия.

У закрытых рабочих колес лопасти находятся между двумя дисками, причем передний диск имеет центральное впускное отверстие.

По направлению выхода перекачиваемой жидкости различают радиальные рабочие колеса, аксиальные рабочие колеса и полуаксиальные рабочие колеса (рис. I.88, верхний ряд).

Радиальные рабочие колеса создают относительно большую высоту напора при небольшой величине потока, аксиальные рабочие колеса создают большой поток при небольшой высоте потока. Полуаксиальные рабочие колеса по их характеристикам располагаются где-то между.

Для этой же цели служит насос с червячным рабочим элементом.

Существуют также центробежные насосы для очень высоких давлений подачи. Они имеют многоступенчатое исполнение, то есть располагают несколькими рабочими колесами на одном валу в корпусе насоса.

Для транспортировки сильно загрязненных либо содержащих твердые компоненты жидкостей более всего подходят рабочие колеса с чис-

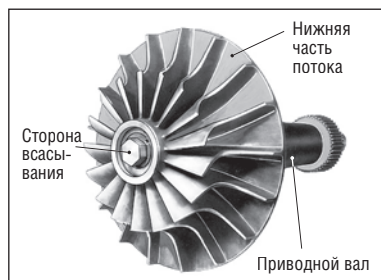


Рис. I.87. Рабочее колесо насоса

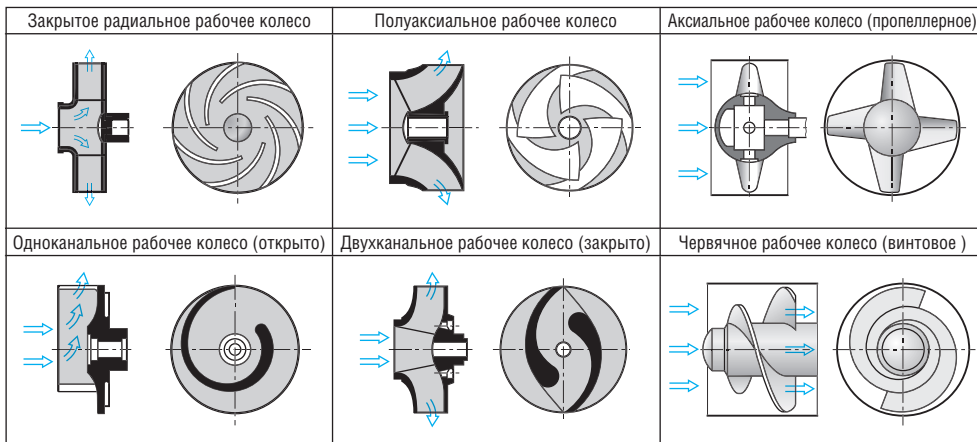


Рис. I.88. Формы рабочих колес у центробежных насосов (показан вид по оси сверху без крышки)

лом лопаток от одной до трех штук — так называемые канальные колеса. И насосы с такими рабочими колесами, соответственно, называются **канальными насосами** (рис. I.88, нижний ряд).

4.3.3. Конструктивные исполнения центробежных насосов

Существует великое множество конструктивных исполнений центробежных насосов (рис. I.89). Для наиболее популярных из них разработаны специальные стандарты с указанием номинальной мощности определенных типов насосов, их габаритов, градаций типоразмеров, размеров опорной плиты и относящихся к ним принадлежностей (ДИН 24 254 — ДИН 24 260 и ДИН ЕН 22 858).

Стандартные химические насосы (рис. I.89а) служат для подачи обычно используемых в химических установках агрессивных, загрязненных или ядовитых жидкостей. Стандартные химические насосы построены из трех основных стандартизованных частей: спирального корпуса, уплотнения вала и подшипников. Эти составные части, благодаря тому что они имеют стандартизованные размеры, могут приобретаться у различных производителей и комбинироваться между собой. Если корпус насоса отделен от двигателя муфтой, то речь идет о **технологической конструкции**. При неподвижном соединении двигателя с насосом говорят о **блочном исполнении** (рис. I.89б).

Винтовые (червячные) насосы (рис. I.89в) чаще всего используются в качестве циркуляционных насосов для пенистых, волокнистых, содержащих твердые компоненты либо высоковязких жидкостей.

Встраиваемые насосы (рис. I.89б) монтируются обычно в прямолинейных трубопроводах (например в нефтепроводах).

Погружные насосы (рис. I.89г) с длинным валом находят применение при подаче жидкостей из глубоких емкостей, когда высоты всасывания оказываются слишком большими для работы насоса на всасывание

Центробежные насосы высокого давления выполняются многоступенчатыми (рис. I.89д). Они обеспечивают высоту подачи (напор), многократно превышающую высоту подачи одноступенчатых центробежных насосов.