Авторы книги – ведущие специалисты ООО «НТП Трубопровод»

Магалиф Виктор Яковлевич

Заместитель директора по вопросам прочности трубопроводов и оборудования,

Кандидат технических наук

e-mail: magalif@truboprovod.ru

Иткина Долорес Моисеевна

Старший научный сотрудник,

Кандидат технических наук

e-mail: itkina@ truboprovod.ru

Корельштейн Леонид Бенционович

Заместитель директора по научной работе,

Кандидат физико–математических наук

e-mail: korelstein@truboprovod.ru

В.Я. Магалиф

Д.М. Иткина

Л.Б. Корельштейн

МОНТАЖНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ, НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

АРХИВНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

В.Я. Магалиф, Д.М. Иткина, Л.Б. Корельштейн

МОНТАЖНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ, НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ, И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Москва, 2010 г.

Аннотация

Книга посвящена основам монтажного проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Изложены общие принципы компоновки оборудования, прокладки и конструирования трубопроводов, разработки чертежей расположения оборудования и трубопроводов, по которым осуществляется возведение установок, цехов и заводов на строительных площадках.

Приводятся систематизированные сведения по всему комплексу вопросов, относящихся к монтажному проектированию: архитектуре, строительным конструкциям, оборудованию, изделиям и материалам для технологических трубопроводов, технике безопасности, методам оценки прочности трубопроводов и др.

Книга предназначена для инженеров- механиков, специализирующихся в области монтажного проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, а также студентов и аспирантов технических ВУЗов, в учебных программах которых предусмотрены соответствующие спецкурсы.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ **6**

1 КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ **8**

1.1 Вещества, обращающиеся в технологических процессах 8
1.2 Классификация технологических процессов 10
1.2.1 Цели и задачи классификации 10
1.2.2 Категорирование производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности обращающихся веществ (НПБ 105-03) 11
1.2.3 Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) 12
1.2.4 Санитарная классификация производств (СНиП 2.09.04-87) 14
1.3 Обеспечение безопасности проектируемых производств 15
1.4 Нормы проектирования 18
1.4.1 Общие нормы и правила 18
1.4.2 Специальные нормы и Правила 21
1.4.3 Доступность нормативных документов 21

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ **23**

2.1 Типы промышленных зданий и сооружений 23
2.2 Элементы несущих строительных конструкций 25
2.3 Конструктивные схемы многоэтажных промышленных зданий и наружных установок 35
2.4 Междуэтажные перекрытия 38
2.5 Фундаментные конструкции под оборудование. Фундаментные болты 40
2.6 Модульная координация размеров в строительстве (МКРС) 48
2.7 Основные требования к зданиям и сооружениям химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств 51

3 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ **53**

3.1 Трубы 53
3.1.1 Металлические трубы 54
3.1.2 Трубы из неметаллических материалов 57
3.1.3 Стальные трубы с защитным покрытием 59
3.2 Детали трубопроводов 61
3.2.1 Отводы (колена) 61
3.2.2 Ответвления (врезки, тройники) 62
3.2.3 Переходы 63
3.2.4 Заглушки и днища 64
3.3 Соединения трубопроводов 65
3.3.1 Сварные соединения в трубопроводах 65
3.3.2 Клеевые соединения 67
3.3.3 Фланцевые соединения 68
3.3.4 Резьбовые соединения 69
3.3.5 Раструбные соединения 71
3.4 Фланцы и прокладочные материалы, крепежные детали 72
3.5 Детали для присоединения контрольно-измерительных приборов и средств автоматики 77

4 ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА **80**

4.1 Типы арматуры 80

4.2 Виды арматуры ... 82
4.3 Способы управления арматурой ... 85
4.4 Плотность по отношению к окружающей среде ... 86
4.5 Герметичность затвора ... 86
4.6 Материалы для изготовления арматуры ... 88
4.7 Запорная арматура ... 89
4.7.1 Требования, предъявляемые к запорной арматуре ... 89
4.7.2 Запорные клапаны ... 90
4.7.3 Задвижки ... 92
4.7.4 Краны ... 94
4.7.5 Дисковые затворы ... 97
4.8 Регулирующая арматура ... 98
4.8.1 Регулирующие клапаны ... 98
4.8.2 Регуляторы прямого действия ... 104
4.9 Регуляторы уровня и температуры ... 106
4.9.1 Регуляторы уровня и температуры прямого действия ... 106
4.9.2 Регуляторы непрямого действия ... 106
4.9.3 Другие типы регулирующей арматуры ... 107
4.10 Предохранительная арматура ... 107
4.10.1 Предохранительные клапаны прямого действия ... 107
4.10.2 Предохранительные клапаны непрямого действия ... 115
4.10.3 Дыхательные клапаны ... 116
4.10.4 Правила установки предохранительных клапанов в трубопроводе ... 117
4.10.5 Предохранительные мембраны ... 117
4.11 Обратные клапаны и затворы ... 119
4.12 Фазоразделительная арматура ... 121
4.12.1 Конденсатоотводчики ... 121
4.12.2 Воздухоотводчики ... 124
4.13 Присоединение арматуры к трубопроводу ... 124
4.14 Условные обозначения арматуры ... 126
4.14.1 Универсальные коды ... 126
4.14.2 Система обозначений «таблица фигур (т/ф)» ... 126
4.14.3 Другие обозначения ... 129

5 ОПОРЫ И КОМПЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ... 130

5.1 Типы опор и их назначение ... 130
5.2 Конструкции опор трубопроводов ... 135
5.3 Выбор и регулировка пружин упругих опор ... 139
5.4 Опоры постоянного усилия ... 146
5.5 Основные типы компенсационных устройств ... 148
5.6 Сильфонные компенсаторы ... 154
5.7 Растяжка компенсаторов ... 162

6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ ... 165

6.1 Назначение и способы прокладки трубопроводов ... 165
6.2 Приемы конструирования трубопроводов ... 174
6.3 Условный диаметр, давления условное и пробное, рабочие параметры среды ... 183
6.4 Классификации трубопроводов ... 187
6.5 Номенклатурные перечни применяемых материалов и изделий (классы, миникаталоги) ... 191

7 ТРУБОПРОВОДНАЯ ОБВЯЗКА ОБОРУДОВАНИЯ ... 198

7.1 Предварительные замечания ... 198
7.2 Емкостное оборудование ... 198

7.3 Теплообменные аппараты ... 199
7.4 Дистилляционные колонны ... 204
7.5 Насосы ... 213
7.6 Обвязка трубопроводной арматуры ... 218

8 КОМПОНОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ... 221

8.1 Генеральные планы производств ... 221
8.2 Объемно-планировочное решение цеха ... 225
8.3 Компоновка технологического оборудования ... 233
8.4 Особенности компоновки при узловом и комплектно - блочном методах монтажа ... 243

9 ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ ... 249

9.1 Оценка прочности при сложном напряженном состоянии ... 249
9.2 Нагрузки и воздействия ... 253
9.3 Влияние самокомпенсации на прочность трубопровода ... 255
9.4 Жесткость криволинейных труб-отводов ... 259
9.5 Расчеты трубопроводов на прочность ... 263

10 РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ И МЕТОДЫ ИХ РАЗРАБОТКИ ... 268

10.1 Основной комплект рабочих чертежей ... 268
10.2 Деталировочные чертежи трубопроводов ... 277
10.3 Разработка и оформление чертежей расположения оборудования и трубопроводов ... 280
10.4 Стадии и этапы проектирования ... 287

11 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНТАЖНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ... 293

11.1 Трехмерные компьютерные системы проектирования промышленных установок ... 293
11.2 Основные принципы проектирования с использованием 3D систем. ... 296
11.3 Типовая структура, функции и возможности современных 3D систем ... 301
11.3.1 Ядро 3D системы. ... 302
11.3.2 Модули двухмерного монтажно-технологического проектирования. ... 306
11.3.3 Модули трехмерного монтажного проектирования. ... 310
11.3.4 Управление материалами в 3D системах ... 322
11.3.5 Открытость 3D систем и их настройка под стандарты организации ... 328

12 ЛИТЕРАТУРА ... 333

ПРИЛОЖЕНИЯ ... 335

Приложение 1. Классификатор строительных норм и правил ... 335
Приложение 2. Выдержки из ГОСТ 21.001-93 «Система проектной документации для строительства» ... 337
Приложение 3. Современные разработчики 3D систем и их решения ... 339
Приложение 4. Прикладное программное обеспечение ООО «НТП Трубопровод», используемое в монтажном проектировании ... 342

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование промышленных объектов представляет самостоятельную сферу деятельности. Строительству любого промышленного объекта предшествует его разработка на бумаге в виде комплекта чертежей и текстовых материалов (спецификаций, смет и т.д.). Совокупность этих материалов называется проектно-сметной документацией. Ее разработкой занимаются проектные организации, а внутри этих организаций - специалисты-проектировщики. Данная книга посвящена основам монтажного проектирования нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и ряда других производств, в основе которых лежит химическая технология.

Предметом монтажного проектирования является компоновка технологического оборудования и прокладка трубопроводов в пространстве проектируемого объекта. Результатом монтажного проектирования являются чертежи расположения оборудования и трубопроводов, спецификации на трубы, трубопроводные детали и арматуру, т.е. именно та документация, на основании которой воплощается в жизнь реальный технологический процесс. В проекте любого производства на долю монтажной части проекта приходится около трети всех трудозатрат.

Монтажное проектирование осуществляют проектировщики монтажной специальности (далее по тексту инженеры-монтажники). Инженер-монтажник выступает одновременно в двух ролях: как архитектор промышленной установки и как конструктор технологических трубопроводов. Насыщенность современных производств трубопроводами высока - стоимость трубопроводов нередко достигает 30% стоимости технологического оборудования.

Монтажное проектирование начинается после разработки технологической схемы процесса. Эта схема отображает стадии технологического процесса и их взаимосвязь. На схеме указывается оборудование и его повысотное расположение (при необходимости), характеристики трубопроводов, запорные и регулирующие устройства, первичные контрольно-измерительные приборы. Технологическую схему разрабатывают инженеры-технологи на основании данных технологического регламента, который выдается специализированной организацией - автором процесса.

Получив такую схему, инженер-монтажник должен превратить ее в пространственную композицию аппаратов, машин и трубопроводов, помещенную в реальные строительные конструкции. На техническом языке это означает создать экономичный проект работоспособной технологической установки, отвечающей действующим нормативным

документам, учитывающий требования проектировщиков смежных специальностей: технологов, строителей, электриков, сантехников и др.

По своему содержанию монтажное проектирование находится на стыке таких дисциплин, как «Процессы и аппараты химических производств», «Транспорт и хранение нефти, газа и химических продуктов», «Основы строительного дела», «Техника безопасности», «Контрольно-измерительные приборы и автоматика», «Сопротивление материалов» и др. Именно «стыковой» характер монтажного проектирования до сих пор мешал ему выделиться в самостоятельную дисциплину. При изложении данного материала учитывалось, что часть необходимых знаний начинающими инженерами - механиками и студентами уже получена в рамках изучения ими названных дисциплин.

Монтажное проектирование многопланово, приемы компоновки и конструирования во многом зависят от специфики технологических процессов. Авторы стремились давать общие подходы и принципы, однако избежать специфики производств нефтехимии и нефтепереработки, по-видимому, до конца не удалось. Любые замечания и дополнения по содержанию книги будут приняты с благодарностью.

Главы 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, параграфы 1.1, 1.2, 1.3 и общая редакция выполнены В.Я. Магалифом; глава 4, параграфы 1.4, 10.4 и приложения 1, 2 написаны Д.М. Иткиной, глава 11 и приложения 3 и 4 – Л.Б. Корельштейном.

Авторы выражают искреннюю признательность директору ООО «НТП Трубопровод» Миркину А.З. Его настойчивость и всесторонняя помощь способствовали подготовке книги и ее выходу в свет. Отдельная благодарность ведущим специалистам предприятия Р.С. Сатдинову, Л.Р. Кабо и А.В. Куликову за ценные замечания и дополнения, сделанные при просмотре рукописи.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Вещества, обращающиеся в технологических процессах

Для современных производств характерен широкий набор обращающихся веществ, обладающих самыми разнообразными свойствами. Компоновка таких производств прежде всего зависит от степени вредности, взрыво- и пожароопасности обращающихся веществ. Вредное вещество - это вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья как настоящего, так и будущих поколений.

Согласно ГОСТ 12.1.007- 76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» все вещества и продукты по степени вредности воздействия на организм человека делятся на 4 класса:

1-й класс - вещества чрезвычайно опасные (допустимая концентрация 0,01-0,1 *мг/м*^{3});

2-й класс - вещества высокоопасные (допустимая концентрация 0,1-1 *мг/м*^{3});

3-й класс - вещества умеренно-опасные (допустимая концентрация 1-10 *мг/м*^{3});

4-й класс - вещества малоопасные (допустимая концентрация более 10 *мг/м*^{3}).

ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» содержит 1307 наименований веществ. Для каждого вещества указывается его класс опасности, агрегатное состояние (аэрозоль, пары или их смесь, пыль) и предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны - пространства высотой до двух метров над уровнем пола, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

По степени взрыво- и пожарной опасности вещества делятся на 7 типов (табл. 1.1).

Таблица 1. 1

Типы веществ по степени взрыво- и пожароопасности

Условное сокращение	Определение	Наименование
НГ	Негорючие	Вещества, не способные к горению в атмосфере воздуха обычного состава
ТГ	Трудно горючие	Вещества, способные гореть под воздействием источника зажигания, но не способные к самостоятельному горению после его удаления
ГВ	Горючие вещества	Способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания

ГЖ	Горючие жидкости	Способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющие температуру вспышки выше 61 °С (в закрытом тигле) или 66 °С (в открытом тигле)
ЛВЖ	Легковоспламеняющиеся жидкости	Способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания, имеющие температуру вспышки не выше 61 °С (в закрытом тигле) или 66 °С (в открытом тигле)
ГГ	Горючие газы	Способные образовывать с воздухом воспламеняемые и взрывоопасные смеси при температуре не выше 56 °С
ВВ	Взрывоопасные вещества	Вещества, способные к взрыву или детонации без участия кислорода воздуха

В ряде случаев отнесение веществ к тому или иному классу или типу оказывается недостаточным и необходимо учитывать дополнительные свойства. В частности, при выборе взрывозащищенного электрооборудования взрывоопасные смеси делятся на две группы: I и II. К группе I относится метан подземных горных выработок, к группе II - промышленные газы и пары за исключением метана. Поэтому маркировка взрывозащиты электрооборудования для технологических производств всегда начинается с символа II.

Согласно ГОСТ Р 51330.11-99 для электрооборудования установлены три категории взрывоопасных смесей: IIA, IIB и IIC. Для отнесения к той или иной категории используются два критерия:

- безопасный экспериментальный максимальный зазор - БЭМЗ - зазор между фланцами кожуха электродвигателя (размер щели в миллиметрах), через который не происходит передача взрыва из внутреннего пространства кожуха в окружающую среду (взрывозащита типа «взрывонепроницаемая оболочка»);

- соотношение минимальных воспламеняющих токов - МВТ к минимальному воспламеняющему току лабораторного метана (взрывозащита типа «искробезопасная электрическая цепь»).

Таблица 1.2

Классификация взрывоопасных смесей по БЭМЗ и МВТ

Категория взрывоопасной смеси	Величина БЭМЗ, *мм*	Величина МВТ
IIA	≥ 0.9	> 0.8
IIB	$0.5 < \text{БЭМЗ} < 0.9$	$0.45 \leq \text{МВТ} \leq 0.8$
IIC	≤ 0.5	< 0.45

В таблице 1.2 приведены значения БЭМЗ и МВТ для каждой категории. В большинстве случаев анализ можно проводить по одному из указанных критериев. Но при

этом допустимые диапазоны БЭМЗ и МВТ несколько «сужаются» и получается 6 подгрупп электрооборудования (таблица 1.3).

Таблица 1.3

Подгруппы электрооборудования

Подгруппа электрооборудования	Величина БЭМЗ, *мм*	Подгруппа электрооборудования	Величина МВТ
IIA- БЭМЗ	> 0.9	IIA-МВТ	> 0.9
IIB- БЭМЗ	0. 55 < БЭМЗ < 0.9	IIB-МВТ	0. 5 ≤ МВТ ≤ 0.8
IIC- БЭМЗ	< 0.5	IIC-МВТ.	< 0.45

Как следует из этой таблицы, оба критерия для оценки взрывобезопасности необходимо использовать в достаточно ограниченных пределах:

- БЭМЗ в диапазоне значений 0.5 ÷ 0.55 (требуется определение МВТ);

- МВТ в диапазонах значений 0.8 ÷ 0.9 и 0.45 ÷ 0.5 (требуется определение БЭМЗ).

Взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются также на группы в зависимости от температуры самовоспламенения (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Группы взрывоопасных смесей газов и паров (ГОСТ 12.2.020-76)

Группа	Температура самовоспламенения, °С
T_1	свыше 450
T_2	свыше 300 до 450 включительно
T_3	свыше 200 до 300 включительно
T_4	135 до 200 включительно
T_5	100 до 135 включительно
T_6	85 до 100 включительно

Важным свойством обращающихся веществ является также их коррозионная активность - скорость (миллиметры в год), с которой вещество разрушает толщу металла из углеродистой стали. Для технологических трубопроводов применяется следующая классификация:

1) неагрессивные и слабоагрессивные - со скоростью коррозии до 0,1 *мм/год*;

2) среднеагрессивные - со скоростью коррозии свыше 0,1 до 0,5 *мм/год*;

3) высокоагрессивные - со скоростью коррозии свыше 0,5 *мм/год*.

1.2 Классификация технологических процессов

1.2.1 Цели и задачи классификации

Современный цех - это сложное инженерное сооружение, в состав которого входят строительные конструкции (здания, сооружения наружных установок, фундаменты под

оборудование и т.п.); аппараты и трубопроводы, объекты энергетического хозяйства (токопроводы, электродвигатели, распределительные подстанции); контрольно-измерительные приборы и автоматика и т.д. В проектировании, возведении и эксплуатации цеха принимают участие специалисты разного профиля: технологи, механики, строители, электрики, сантехники и др. Для того чтобы цех в целом и каждая его часть (элемент) в отдельности отвечали единым взаимоувязанным требованиям надежности и безопасности функционирования технологического процесса, процессы классифицируются по категориям, классам, группам. Отнесение технологического процесса к той или иной категории, классу определяет: объемно-планировочное решение цеха, компоновку оборудования и трубопроводов, выбор кабелей, электродвигателей, состав и оборудование бытовых помещений и многое другое. Естественно, что такая классификация не может быть универсальной и всеобъемлющей в связи с различным характером самих процессов и объектов входящих в цех. Электрооборудование, к примеру (электродвигатели, токопроводы), является потенциальным инициатором взрыва в результате искрения, образования электрической дуги или высокой температуры нагрева. При выборе электрооборудования важно знать, является ли взрывоопасная смесь горючим газом или пылью, характер образования этой смеси (закономерный или случайный), на каком расстоянии от источника ее образования ставится электрооборудование, поскольку средства взрывозащиты при этом будут различными. Для здания же и сооружения в целом эти обстоятельства оказываются несущественными - важен сам факт возможного образования взрывоопасной смеси и, следовательно, опасности возникновения взрыва.

С точки зрения гигиены труда на первый план выдвигаются такие факторы, как вредность обращающихся веществ; температура, влажность и чистота воздуха на рабочих местах и т.д. Поэтому применительно к разным частям и элементам цеха используются разные классификации: классификация процессов применительно к зданиям и сооружениям, классификация производственных зон применительно к электрооборудованию, классификация процессов по санитарно-гигиеническому принципу. Ниже рассматриваются каждая из перечисленных классификаций.

1.2.2 Категорирование производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности обращающихся веществ (НПБ 105-03)

Все помещения цеха делятся на пять категорий (табл. 1.5):

А и Б - взрывопожароопасные;

В - пожароопасные;

Г и Д - невзрывоопасные и непожароопасные.

Категорирование необходимо для обеспечения противопожарной, противовзрывной устойчивости цехов при обеспечении максимума безопасности их персоналу. В про-

цессе проектирования оно позволяет проектировщикам разных специальностей (технологам, монтажникам, строителям, электрикам и т.д.) подходить к решению указанных выше задач с единых позиций.

Категорию помещения определяют путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в таблице 1.5, от высшей (А) к низшей (Д).

1.2.3 Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ)

Электрооборудование современных цехов является потенциальным инициатором взрыва или пожара. Опасность того или иного инициатора зависит от его местоположения по отношению к источнику взрыва или пожара. Поэтому при классификации здесь используется более мелкое деление пространства проектируемого объекта - пространство расчленяется на отдельные зоны. Зоны подразделяются на взрывоопасные и пожароопасные.

Таблица 1. 5

Категории помещений и зданий по НПБ 105-03[18]

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А Взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 КПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 КПа
Б Взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 КПа.
В Пожароопасные	Горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категории А или Б.
Г невзрывоопасные и непожароопасные.	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени: горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

При определении взрывоопасных зон принимается:

а) взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5% свободного объема помещения;

б) когда объем взрывоопасной смеси < 5% свободного объема помещения, взрывоопасной считается зона в пределах до 5-ти метров по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ. Помещения за пределами этой зоны считаются невзрывоопасными (если, разумеется, нет других факторов создающих взрывоопасность);

в) размеры взрывоопасной зоны наружных установок принимаются в зависимости от типа взрывоопасного источника: закрытого технологического аппарата, резервуара, сливо-наливной эстакады и т.д., и могут составлять от 0,5 метра до 20-ти метров по вертикали и горизонтали от этого источника.

Таблица 1. 6

Классификация взрывоопасных зон по ПУЭ [23]

Класс зоны	Вещества, обращающиеся в технологическом процессе	Образование взрывоопасной смеси	
		условия	место
В - I	Горючие газы (ГГ) и пары легко воспламеняющихся жидкостей	при нормальном ведении технологического процесса	в помещении
В - I а, В - I б		в результате неисправности или аварии	
В - I г		независимо	вне помещения (на улице)
В - II	Горючие пыли и волокна	при нормальном ведении технологического процесса	в помещении
В - II а		в результате неисправности или аварии	

В производствах категории А и Б выделяется шесть классов взрывоопасных зон в зависимости от характера обращающихся веществ, условий и места образования взрывоопасной смеси (табл. 1.6). Зоны класса В -1б отличаются от В -1а некоторыми специфическими особенностями, понижающими опасность возникновения взрыва: горючие газы с резким запахом и низким концентрационным пределом, производства жидкого водорода и т.д. Установка газоанализаторов позволяет вовремя обнаружить утечку газа (благодаря звуковой и световой сигнализации) и отключить электрооборудование.

Водород быстро улетучивается, поэтому взрывоопасная зона образуется только в верхней части помещения, электрооборудование же, напротив, располагается, как правило, в нижней части помещения.

Как видно из таблицы, при классификации взрывоопасных зон учитывают характер образования взрывоопасной смеси: случайный (в результате аварий или неисправностей) или закономерный (при нормальном функционировании технологического процесса). Если произошла случайная утечка горючего газа из аппарата, то маловероятно, чтобы именно в этой зоне одновременно произошла авария электрооборудования, послужившая инициатором взрыва. Поскольку вероятность наложения одной аварии на другую маловероятна, то нет необходимости в дорогостоящих мероприятиях по повышению класса взрывозащищенности электрооборудования.

Пожароопасной зоной называется пространство, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в которых они могут находиться при нормальном ведении технологического процесса или при его нарушениях. Для пожароопасных производств категории В различают четыре класса пожароопасных зон (табл. 1.7).

Классификация пожароопасных зон по ПУЭ [23]

Таблица 1. 7

Класс зоны	Вещества, обращающиеся в технологическом процессе	Место
П-I	Горючие жидкости (ГЖ) с температурой вспышки выше 61 °С	в помещении
П-П	Горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м3 к объему воздуха	
П-Па	Твердые горючие вещества	
П-III	Горючие жидкости (ГЖ) с температурой: вспышки более 61 °С и твердые горючие вещества	вне помещения (на улице)

Зоны П-I, П-II и П-IIа могут быть только в помещениях, а зоны П-III - вне помещений (на улице). Приведенная классификация взрывоопасных и пожароопасных зон необходима для того, чтобы правильно спроектировать и в дальнейшем эксплуатировать энергетическое хозяйство цеха. Например, в зонах класса В-Iа должны применяться только медные кабели, т.к. алюминиевые кабели в местах изгиба могут ломаться и искрить. Данная классификация позволяет правильно расположить машинное оборудование с электродвигателями.

1.2.4 Санитарная классификация производств (СНиП 2.09.04-87)

Классификация необходима для того, чтобы состав и оборудование бытовых помещений соответствовали специфике ведения технологического процесса и организации рабочих мест.

Все производственные процессы делятся на 4 группы:

1) производственные процессы, осуществляемые в помещениях при нормальных условиях: отсутствие избыточного выделения тепла, влаги, пыли, особо загрязняющих веществ;

2) производственные процессы, осуществляемые при неблагоприятных метеорологических условиях (под навесами, на открытом воздухе), а также при значительных выделениях влаги, пыли, особо загрязняющих веществ (кроме вредных);

3) производственные процессы с резко выраженными вредными факторами (токсичные вещества 1, 2, 3 и 4-го классов опасности, опасные при поступлении через кожу, сильно пахнущие и т.п.);

4) производственные процессы, требующие особого режима для обеспечения качества продукции.

Внутри каждой группы процессы подразделяются на подгруппы в зависимости от отдельных специфических особенностей. Так, первая группа процессов подразделяется на 1, 1а, 1б, 1в, вторая на 2, 2а, 2б, 2в, 2г, 2д и т.д. К группе 2г, например, относятся производства при температуре воздуха на рабочих местах до +10 °С, включая работы на открытом воздухе, т.е. производства для которых необходимо иметь помещения и устройства для обогрева работающих, сушки одежды и обуви.

1.3 Обеспечение безопасности проектируемых производств

Основными направлениями в обеспечении безопасности являются ограничение объема взрывопожароопасных продуктов, обращаемых в технологических процессах, их рассредоточение по отдельным частям и объектам производства, уменьшение вероятности вредных выбросов, предотвращение загрязнения воздушной и водной среды, максимальное ограничение числа постоянных рабочих мест и численности производственного персонала. Мероприятия, разрабатываемые в проектах, по функциональному назначению можно разделить на две большие группы: направленные на предупреждение аварий и направленные на ликвидацию или уменьшение последствий аварий.

С целью предупреждения аварий предусматриваются меры повышения надежности технологического оборудования, автоматизации технологических процессов, оснащения их средствами контроля, управления и противопожарной защиты, бесперебойного снабжения взрывоопасных производств электрической, тепловой и другими видами энергии.

Можно выделить следующие основные меры по предупреждению аварий:

- использование технологического оборудования высокой степени герметичности и надежности, оснащенного противоаварийными устройствами, которые исключают выброс вредных веществ в атмосферу;

- внедрение автоматизированных систем управления процессами и систем противоаварийной защиты, призванных обеспечить безопасный останов производства по заданному алгоритму при отклонении технологических параметров от заданных регламентом значений и нарушении подачи энергии

- деление технологических цехов, складов и других объектов на секции (части, блоки) с минимально возможным объемом взрывопожароопасных продуктов в каждой секции;

- блокировка источников давления при превышении параметров в технологических процессах выше установленных значений;

- дублирование схем электроснабжения для наиболее ответственных потребителей (снабжение отдельных токоприемников от нескольких независимых источников электроэнергии);

- устройство промежуточных складов и хранилищ на обособленных территориях для уменьшения объема и количества веществ, находящихся во взрывопожароопасных цехах;

- автоматическое отключение неисправного и самозапуск резервного оборудования;

- вынос основного технологического оборудования на открытые площадки с целью снижения общих и местных взрывоопасных концентраций и повышения безопасности эксплуатации взрывопожароопасных производств;

- централизованное управление процессами из специальных помещений или отдельно стоящих зданий, что значительно сокращает число постоянных рабочих мест во взрывоопасных помещениях или зонах;

- использование автоматических систем обнаружения загазованности в помещениях и на наружных установках;

- оборудование взрывопожароопасных помещений системами приточной, вытяжной и аварийной вентиляции, сблокированных с сигнализаторами взрывоопасных концентраций. Обеспечение забора воздуха для этих систем в местах, где исключается образование взрывопожароопасных смесей;

- четкое зонирование территории завода по степени вредности, взрывоопасности и пожароопасности входящих в него цехов и производств. В пределах отдельных, удаленных на безопасные расстояния друг от друга кварталов, размещаются основные технологические цеха (производства), товарно-сырьевые и промежуточные склады и хранилища горючих газов и ЛВЖ, склады материально-технического снабжения, ремонтно-механические и другие подсобные службы, в которых сосредоточено наибольшее число работающих;

- максимально возможное использование в процессах негорючих и трудногораемых веществ взамен горючих.

Наиболее опасны аварии, следствием которых является образование взрывоопасных смесей в результате разгерметизации оборудования. Защита здесь осуществляется посредством срабатывания предохранительных клапанов и направлением сбросов на факельные установки для сжигания или на утилизацию (при наличии такой возможности).

Производственные процессы, связанные с применением или образованием вредных веществ, необходимо проводить непрерывным замкнутым циклом в герметичной аппаратуре с максимальным использованием самотека, при технологических параметрах, ограничивающих выделение вредных веществ (в вакууме, при низкой температуре).

Во избежание переполнения аппаратов и емкостей вредными и агрессивными жидкостями их следует оборудовать приспособлениями, которые сигнализируют о максимально допустимом уровне заполнения, а при необходимости также переливными трубами, связанными с питающими и аварийными емкостями.

На случай возникновения аварий предусматриваются следующие меры по их ликвидации и уменьшению последствий:

- локализация аварий посредством аварийного отключения отдельных технологических систем и их аварийного опорожнения;

- устройство противопожарных преград (стен, зон, поясов и т.д.);

- устройство проемов в перекрытиях и применение легко-сбрасываемых ограждающих конструкций (кровли, стен) с целью предотвращения значительных разрушений от взрывной волны внутри зданий;

- применение стационарных и передвижных средств пожаротушения;

- расположение резервуарных парков на более низких отметках по сравнению с соседними производствами с целью локализации в случае аварии утечки тяжелых взрывоопасных газов и ЛВЖ;

- отбортовка (обвалование) территории установок и сбор аварийных розливов в заглубленные емкости;

- отвод воды при тушении пожара на наружных установках во взрывозащищенную сеть ливневой канализации;

- обеспечение быстрой эвакуации людей и имущества;

- создание нормальных условий для работы военизированных пожарных команд и газоспасательных служб.

В химических производствах аварийный выброс вредных веществ минимизируют применением растворителей, связующих или нейтрализующих веществ, способствующих переводу токсичных компонентов в нетоксичные.

Приведенный перечень основных мероприятий не претендует на полноту, но дает представление о том, как требования безопасности влияют на компоновку цехов, оборудования и трубопроводов.

1.4 Нормы проектирования

1.4.1 Общие нормы и правила

Проектирование, строительство и эксплуатация объектов осуществляются в соответствии с требованиями норм и правил различного статуса и различной степени обязательности их выполнения. В 2003г. в России вступил в силу Закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ. Закон провозгласил принцип добровольности применения общероссийской системы стандартов в противоположность прежнему принципу обязательности их выполнения. Прежний подход, задавая определенный уровень качества и безопасности технических решений, часто становился тормозом внедрения новых идей, методов, конструкций, поскольку требовал неукоснительного соблюдения всех нормативов, в том числе несущественных с точки зрения безопасности.

Закон № 184-ФЗ провозгласил обязательность выполнения требований нового для России нормативного документа – Технического регламента - исходя из трех критериев:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Таким образом, принцип добровольности вовсе не означает анархию, а в условиях конкуренции предполагает даже более высокую ответственность разработчика и изготовителя за свою продукцию. Сейчас в России действует «старо-новая» система стандартов, связанная с изменениями в жизни страны. В России как правопреемнике Советского Союза продолжают действовать ГОСТы СССР. Одновременно идет постоянная работа по обновлению этих стандартов и разработке новых.

Закон № 184-ФЗ установил 4 уровня нормативных документов:

- Технические регламенты (ТР)
- Национальные стандарты (ГОСТ и ГОСТ Р)
- Своды правил
- Стандарты организаций (СТО)

Технический регламент имеет самый высокий статус: он, проходя через Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, утверждается Государственной Думой или Правительством Российской Федерации. Технический регламент содержит требования к характеристикам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, но не содержит требований к конструкции и исполнению.

Стандарт – это документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать требования к терминологии, символике, маркировке и правилам их нанесения.

Национальный стандарт утверждается национальным органом Российской Федерации по стандартизации (в настоящее время – это Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии).

Многие обновленные стандарты имеют статус межгосударственных (с участием стран СНГ) и сохраняют прежний номер, но с другим годом, например, ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности». Межгосударственные стандарты одновременно являются национальными стандартами. Новые, и даже обновленные ГОСТы, если они не межгосударственные, имеют аббревиатуру ГОСТ Р, часто их 5-значный номер начинается с цифры 5; буква Р на конце означает Россия. Новые и обновленные стандарты отличаются большей строгостью и меньшим количеством несущественных с точки зрения безопасности требований.

Технические регламенты могут не содержать конкретных требований, выраженных в цифрах, и в конечном итоге опираются на ГОСТы. Поэтому фактически центром требований к качеству и безопасности продукции остается всё же национальный стандарт, из которого удалены ограничения, мешающие реализации творческого потенциала разработчиков и изготовителей.

В сочетании с развивающейся в России системой сертификации изделий новый подход к стандартизации должен обеспечить в нашей стране гарантированные качество и безопасность применения отечественной продукции.

Теперь центр всякого рода технологических требований перемещается на уровень организации (например, ГАЗПРОМ) и /или предприятия. На предприятии, помимо стандартов предприятия (СТП) или организации (СТО), на каждую однородную группу изделий разрабатываются Технические условия (ТУ), которые содержат перечень конкретных требований к ее изготовлению, правила приемки, методы испытаний. ТУ составляются в соответствии с ГОСТ 2.114-95 «Технические условия», который входит в ЕСКД (Единую систему конструкторской документации). ТУ является официальным документом, который может согласовываться с организацией-заказчиком или с авторитетной организацией, представляющей потребителей, с надзорными органами.

От советской системы стандартов остались группы отраслевых нормативных документов: отраслевые стандарты (ОСТ), руководящие документы (РД), а также РТМ, РМ, МР (Методические рекомендации), в которых отражен накопленный отраслью опыт изготовления и эксплуатации продукции. В них зафиксированы методы расчета и выбора, методы испытаний, не стандартизованные в рамках более строгих документов. Этим опытом ни в коем случае нельзя пренебрегать, многие данные получены ценой здоровья и даже жизни предыдущих поколений. Поскольку отрасль промышленности как самостоятельная единица перестала существовать (теперь существует единое Министерство промышленности и торговли), отраслевые стандарты перерабатываются в стандарты предприятий или организаций. Но пока этот процесс далёк от завершения, мы успешно пользуемся прежними ОСТами, например ОСТ 26 291-94 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия».

Особое внимание обратим на свод норм, которыми мы руководствуемся в обязательном порядке, так как они формулируют требования, обеспечивающие безопасность вредных и взрывопожароопасных производств. Это Правила Ростехнадзора (Госгортехнадзора) – государственного надзорного органа, отвечающего за безопасность всех сфер производственной деятельности в России. Под разными названиями (Котлонадзор, Госгортехнадзор) эта организация существует давно, ее Правила неоднократно перерабатывались. Последние изменения произошли в 2003г. Номер Правил содержит код отраслевого Управления, порядковый номер данного документа и последние две цифры года выпуска. Например, широко используемые ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» [21] и ПБ 09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [19].

Пожарная безопасность является предметом деятельности Государственной противопожарной службы (Госпожнадзора). Ее основные требования изложены в Техническом регламенте «О пожарной безопасности», имеющем силу закона РФ и введенном в действие в 2009 году, а также в ППБ 01-03 «Правилах пожарной безопасности в Российской Федерации» и конкретизированы в многочисленных национальных стандартах, выпущенных в развитие технического регламента, и других документах для однородных групп объектов.

Одним из следствий одновременного существования новых российских и прежних советских нормативных документов является применение двояких обозначений одних и тех же параметров, в частности важнейших для проектирования трубопроводов величин: условного давления и условного диаметра. Новые российские стандарты ориентированы на сближение с европейской системой обозначений, и «условные» величины давления P_y

и диаметра D_y заменяются на «номинальные» *PN* и *DN*. В настоящей книге фигурируют обозначения *PN* и *DN* независимо от источника, на который опирается приводимая в тексте информация.

1.4.2 Специальные нормы и Правила

Для инженера-проектировщика, помимо общих нормативных документов, важны нормы специальные – те, которые устанавливают правила строительства промышленных объектов - помещений, технологических аппаратов, трубопроводов, эстакад. С другой стороны, не менее важны правила изготовления и оформления проектной документации. И те и другие требования были сформулированы в сводах документов:

- строительные нормы и правила (СНиП)
- система проектной документации для строительства (СПДС).

В СНиП инженер-проектировщик находит требования к организации и управлению в области проектирования, инженерных изысканий и строительства; правила проектирования промышленных объектов, требования к инженерному и технологическому оборудованию.

В Приложении 1 приведен Классификатор строительных норм и правил, охватывающий весь комплекс норм, связанных со строительством, позволяющий понять структуру цифрового кода СНиПа и быстро найти нужный документ в обширном информационном пространстве.

СПДС установила единые правила выполнения проектной документации:

- терминологию в области проектирования и строительства;
- необходимые перечни документов для проведения строительно-монтажных работ различного масштаба;
- требования к оформлению чертежей, текстовых документов, предназначенных для потребителя.

Стандарты СПДС увязаны с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), опираются на нее, и это один из факторов взаимопонимания инженеров различных специальностей, участвующих в создании промышленного объекта, а значит, и качества проектных работ.

Выдержки из ГОСТа 21.001-93 «Система проектной документации для строительства» приведены в Приложении 2.

1.4.3 Доступность нормативных документов

Современная система управления качеством продукции немыслима без фонда нормативной документации, доступной каждому сотруднику проектной организации. Если организация аттестована по международной системе управления качеством ИСО

9001, то набор документов, необходимых для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции – в нашем случае проектной документации – представлен на сервере организации и выведен на компьютер каждого сотрудника. Если организация не обладает сертификатом ИСО 9001, то, скорее всего, стихийно она все равно предоставляет инженеру библиотеку нормативных документов в бумажном виде, накопленную в течение периода существования организации и пополняемую специально назначенным для этой работы сотрудником. Особую заботу составляет необходимость следить за изменениями в часто используемых нормах. В любом случае на абсолютную полноту библиотека, в силу ее инерционности, претендовать не может.

Современные информационные технологии добавляют к бумажному фонду безграничные возможности быстрого электронного доступа к нормативным документам всех уровней. Наилучшим образом эта задача решается приобретением организацией профессиональных баз данных, содержащих тексты большого числа нормативных документов. Регулярно обновляемые, эти программы позволяют за минимальное время получить текст искомого документа на экране компьютера и, если нужно, в печатном виде. Если документ отменен, программа об этом сообщает, в том числе и каким документом он заменен. Кроме того, в документах проставлены гиперссылки для анализа их связи с другими нормами и стандартами.

Эти базы можно найти в Интернете, чаще в демонстрационных версиях. Это, например, программы ***Стройконсультант, Кодекс, NormaCS, Гарант, Технорматив*** и др.). Базы систематически обновляются, причем отмененный документ, как правило, не удаляется из базы данных и может использоваться как справочный материал.

Наличие систем нормирования и стандартизации у начинающих проектировщиков создаёт иллюзию простоты: "Следуй тому, что написано и никаких проблем!". На самом деле с нормами и стандартами работать, как правило, не легче, а даже труднее. Основная трудность в работе с нормами заключается в том, что они одновременно могут и способствовать инженерному творчеству и тормозить его. Осмысленный, творческий подход к нормам позволяет создавать проекты, отвечающие самым высоким требованиям и, напротив, при формальном, слепом следовании нормам они могут служить хорошим прикрытием для посредственных инженерных решений.

Нужно усвоить истину: любые нормы - это не догма, а руководство к творческому действию. Усвоение этой истины в монтажном проектировании особенно важно. На отдельные нормы и стандарты мы уже ссылались ранее. В дальнейшем ссылки на нормативные материалы и стандарты будут постоянными.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

2.1 Типы промышленных зданий и сооружений

Основное назначение промышленных зданий - обеспечение нормальных условий для протекающих в них производственных процессов и защита работающих на предприятии людей и оборудования от атмосферных воздействий. Здания бывают одноэтажными (рис. 2.1) и многоэтажными (рис. 2.2). В нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производствах одноэтажные здания обычно служат для размещения производств с «горизонтальными» технологическими процессами, а многоэтажные - с «вертикальными». Многоэтажные здания проектируются каркасными, технологическое оборудование устанавливается на междуэтажных перекрытиях.

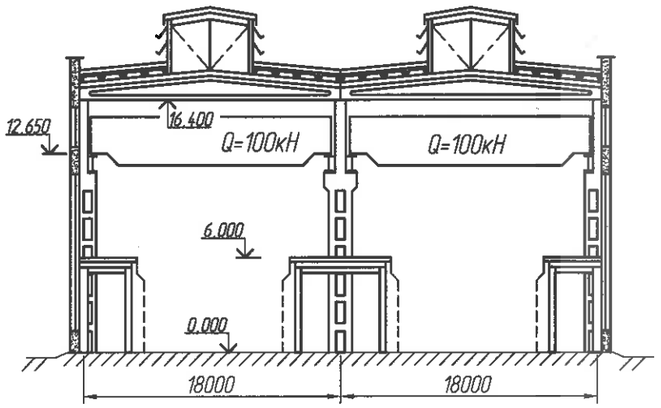
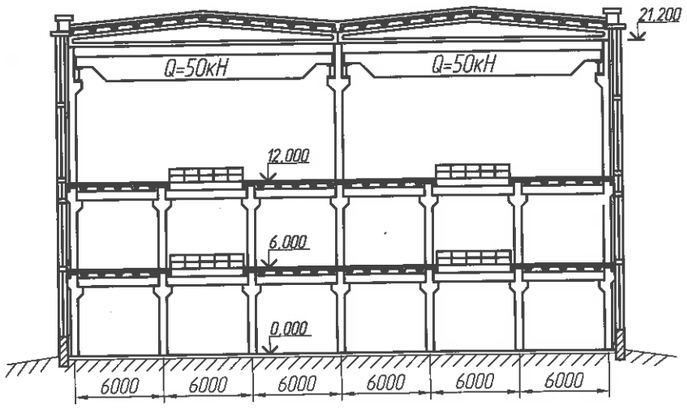


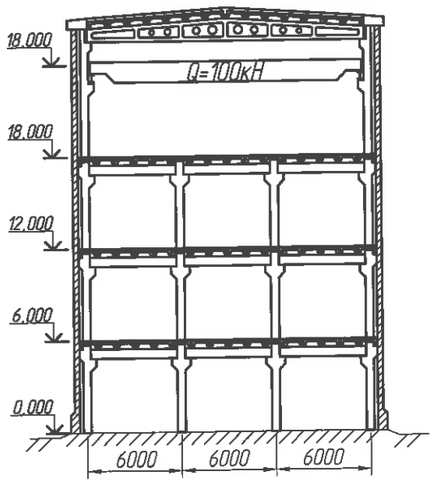
Рис. 2.1. Одноэтажное промышленное здание с мостовыми кранами

В зданиях павильонного типа (рис. 2.3) технологическое оборудование устанавливается на специальных этажерках независимо от основных строительных конструкций здания. Такое конструктивное решение может обеспечить размещение производств с различным технологическим процессом. При этом исключаются тяжелые междуэтажные перекрытия, уменьшается поверхность стен и перегородок, снижается вес здания. Использование зданий павильонного типа дает возможность более экономичной модернизации и технического перевооружения производства без затрагивания основных конструкций здания.

Нормальные условия для ведения многих технологических процессов могут быть созданы и на установках с открытым и полуоткрытым расположением оборудования - наружных установках.



а



б

Рис. 2.2. Многоэтажные промышленные здания с мостовыми кранами

В отличие от зданий такие сооружения не имеют ограждающих конструкций. От внешних атмосферных воздействий в случае необходимости защищаются местными укрытиями пульты управления, места постоянной работы немногочисленного обслуживающего персонала, а также отдельные элементы оборудования (полуоткрытый вариант компоновки). Несущими конструкциями наружных установок являются фундаменты под аппараты, постаменты и открытые сооружения - этажерки.

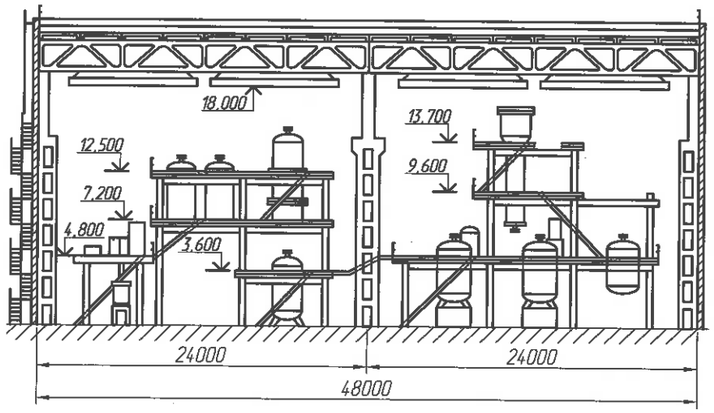


Рис. 2.3. Здание павильонного типа

Постаменты под единичную аппаратуру представляют собой сплошную или каркасную (сквозную) конструкцию, изготавливаемую из железобетона или металла. Сплошные конструкции обычно выполняются из монолитного железобетона; для сквозных конструкций характерен нестандартный шаг между стойками или колоннами.

Открытые наружные установки (этажерки) проектируют в виде рамных конструкций. В зависимости от высоты расположения оборудования, они могут быть одноэтажными и многоэтажными (одноярусными и многоярусными).

Помимо зданий и наружных установок в современных производствах нефтепереработки, нефтехимии и химии применяются самые разнообразные сооружения:

- специальные (дымовые трубы, факелы, отстойники, сооружения водоподготовки, очистки и нейтрализации сточных вод);

- энергетические (градирни, подстанции, кабельные эстакады);

- транспортно-складские (сливо-наливные эстакады, резервуарные парки, газгольдеры, открытые механизированные склады);

- трубопроводных сетей (проходные и непроходные каналы, эстакады, отдельно стоящие опоры и т.п.).

2.2 Элементы несущих строительных конструкций

Элементами несущих строительных конструкций принято называть все то, что составляет несущий остов здания или сооружения. Эти элементы делятся на две большие группы: вертикальные (стойки, колонны) и горизонтальные (балки, фермы плиты и т.д.).

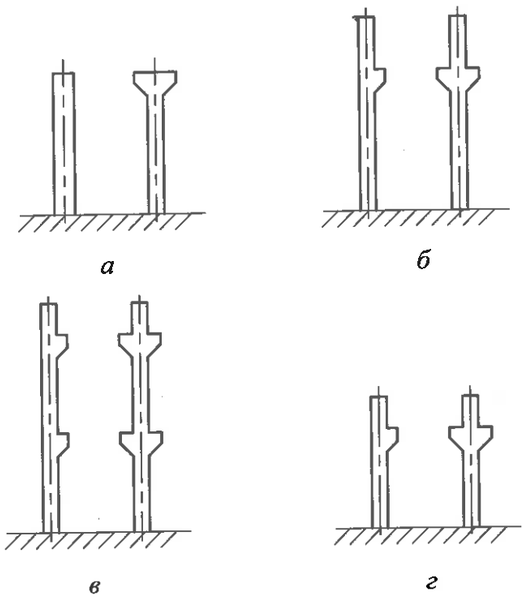
Пролетом здания, сооружения называется расстояние между соседними опорами горизонтальных несущих элементов (например, между колоннами, на которые опирается ферма).

Индустриальные методы возведения промышленных объектов обусловили широкое применение строительных каркасов из сборного железобетона, элементами которых являются колонны, балки, фермы, плиты и фундаменты.

Колонны. Служат опорами для несущих конструкций покрытий и перекрытий. Размещения колонн в плане обычно увязывают с конструктивной схемой покрытия в одноэтажных зданиях и с конструктивной схемой перекрытия - в многоэтажных.

В одноэтажных бескрановых зданиях при высоте зданий до 10,8-х метра колонны выполняются квадратного или прямоугольного сечения с размерами сторон от 1/10 до 1/20 высоты здания (рис. 2.4, *а*).

При наличии мостовых кранов с высотой до уровня головки подкранового рельса не более 10-ти метров от уровня пола сечение колонн выполняют прямоугольным с отношением сторон 1/1,5-1/2, а для опирания подкрановых балок делают выступы (рис. 2.4, *б*).



а *б* *в* *г*

Рис. 2.4. Колонны промышленных зданий
а, б, г – одноэтажные; *в* - двухэтажные

В многоэтажных зданиях наиболее распространенным сечением колонн является 400х400 и 400х600 . Колоны бывают одноэтажными и двухэтажными (рис. 2.4).

Балки. Конструктивные элементы, работающие на изгиб, у которых размеры поперечного сечения малы по сравнению с их длиной. Различают балки фундаментные, покрытий (в одноэтажных зданиях) и перекрытий (в многоэтажных).

Фундаментные балки (рандбалки) служат для опирания самонесущих или навесных стен по периметру здания. Обычно фундаментную балку укладывают так, что-

бы ее верхняя грань проходила выше уровня земли, но ниже чистого пола помещения (рис. 2.5, *а*). Это делается, во-первых, для того, чтобы грунт не касался конструкции стены и не увлажнял ее, а во-вторых, чтобы в любом месте между колоннами можно было устраивать двери и ворота без порогов. Длина балок 6 или 12 метров в зависимости от расстояния между колоннами. Узел сопряжения с фундаментом показан на рисунке 2.5.

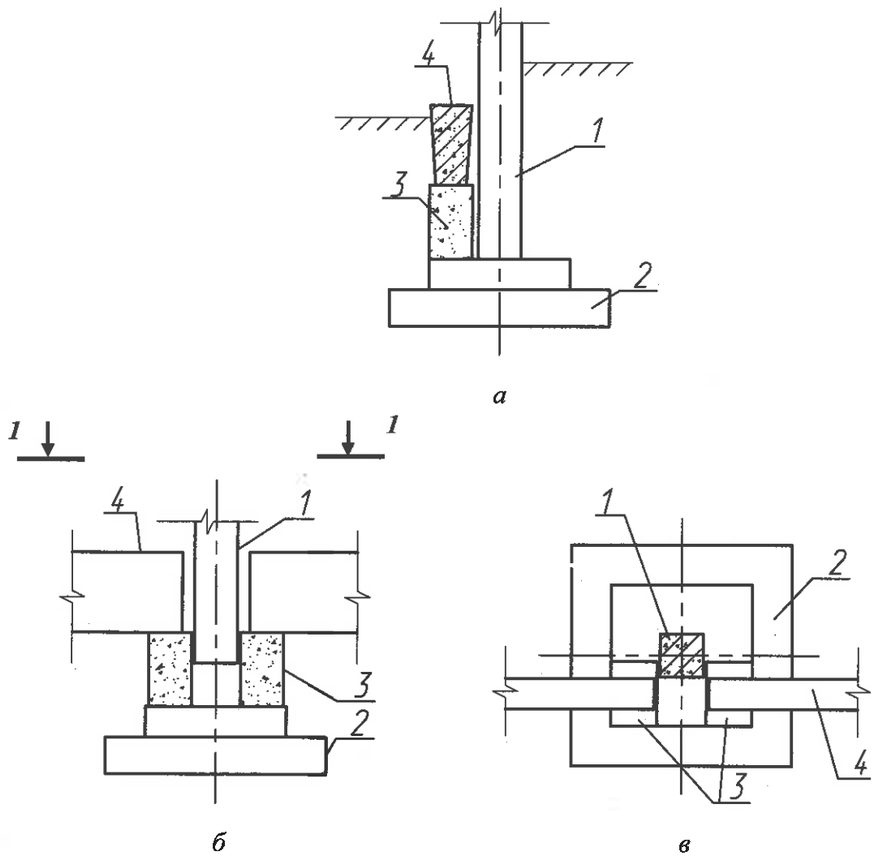
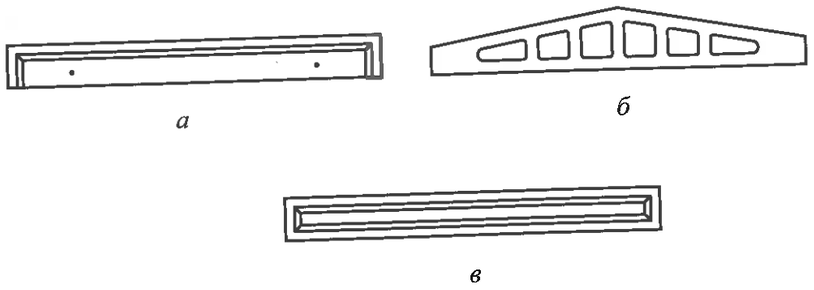


Рис. 2.5. Узел опирания фундаментной балки
а, б – вид сбоку; в – вид сверху (по *1-1*)
1 – колонна; 2 – фундамент (столбчатый); 3 – фундаментный блок;
4 – фундаментная балка.

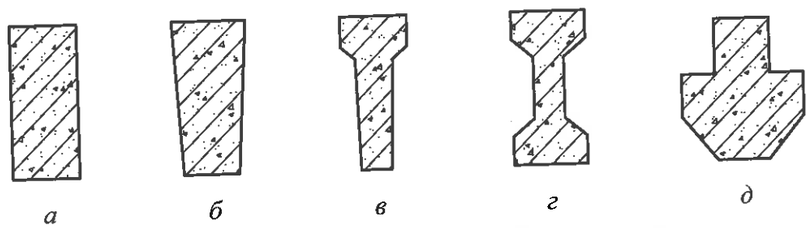
Балки покрытий в зависимости от требуемого профиля кровли могут быть односкатными, двускатными и с параллельными поясами (рис. 2.6). Для уменьшения веса балок, а также для пропуска трубопроводов и различных коммуникаций делают сквозные отверстия различной формы.



а *б* *в*

Рис. 2.6. Железобетонные балки покрытий
а – односкатная, б – двухскатная, в – с параллельными поясами

Балки покрытий имеют длину от 16 до 18-ти метров, а иногда - до 24-х метров (с предварительно напряженной строительной арматурой). При этом балки длиной 6 и 9 метров называют балками малых пролетов. Балки перекрытий бывают 2-х типов: главные и второстепенные. Второстепенные балки служат непосредственными опорами для оборудования, плит перекрытий и т.п. и опираются в свою очередь на главные балки, опорами которых служат колонны. Главные балки, являющиеся несущими горизонтальными элементами рам, называются ригелями.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 2.7. Типы сечений железобетонных балок
а – прямоугольное, *б* – трапецевидное, *в* – тавровое, *г* - двутавровое, *д* – прямоугольное с выступающими полками

В ряде случаев плиты перекрытий опираются непосредственно на ригели и второстепенные балки. Наиболее распространенными типами сечений балок являются прямоугольное, тавровое и двутавровое; у фундаментных балок применяется трапециевидное сечение (рис. 2.7).

Отношение ширины сечения к высоте у балок обычно находится в пределах от 1/2 до 1/4. Высота сечения зависит от пролета (длины) балки и действующих нагрузок и составляет для второстепенных балок от 1/12 до 1/18 длины, а для главных балок 1/8 и 1/12.

Фермы. Представляют собой плоские решетчатые конструкции, работающие на изгиб таким образом, чтобы все элементы фермы испытывали либо сжатие, либо растяжение. Ферма состоит из верхнего и нижнего пояса, раскосов и стоек. В зависимости от

очертания кровли различают фермы полигонального очертания, с параллельными поясами, сегментные и т.п. (рис. 2.8).

Подвеска сосредоточенных грузов от транспортных устройств, трубопроводов и т.п. осуществляется преимущественно в узлах решетки, чтобы избежать работы нижнего пояса на изгиб. Железобетонные фермы применяются для покрытий пролетов 18, 24 и 30 метров, но могут применяться также для пролетов 36 метров и более. Для пролетов 18 метров балка несколько экономичнее фермы, но применение ферм в этих случаях оказывается более рациональным, если возникает необходимость использования межферменного пространства для прокладки инженерных коммуникаций.

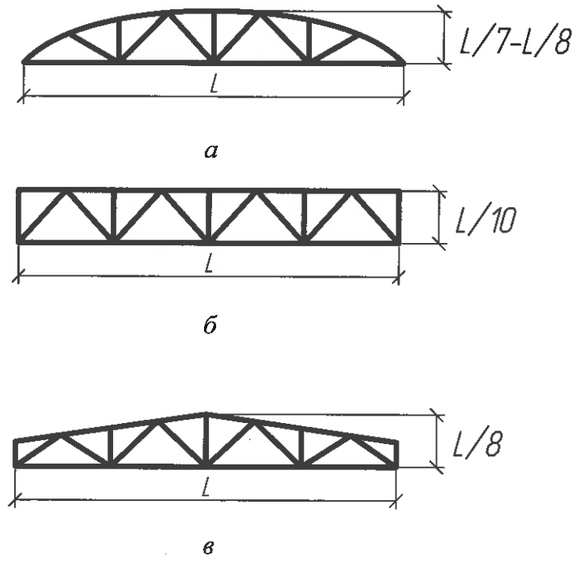


Рис. 2.8. Схемы основных типов ферм
а – полигональная; *б* – с параллельными поясами; *в* – сегментная двухскатная

Железобетонные фермы требуют меньшего расхода металла, чем стальные, но гораздо тяжелее их, что очень усложняет перевозку и монтаж. Поэтому в массовом строительстве для пролетов выше 24-х метров рационально применение стальных ферм. Высота ферм зависит от типа фермы, величины пролета и нагрузок.

Плиты. Плоскостные элементы, у которых высота (толщина) значительно меньше ширины и длины. Различают плиты балочные и опертые по контуру. К первым относятся плиты с отношением сторон более чем 2/1 и опорами (несущими ребрами) по большей стороне, а ко вторым - с отношением менее 2/1 и опорами по всему периметру.

Плиты укладываются на верхние пояса ферм или балок. Наиболее широко для промышленных зданий используются сборные железобетонные ребристые плиты (рис. 2.9).

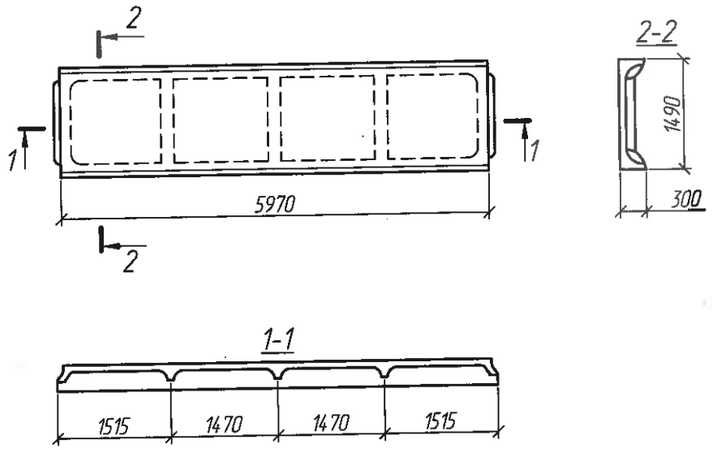


Рис. 2.9. Железобетонная ребристая плита

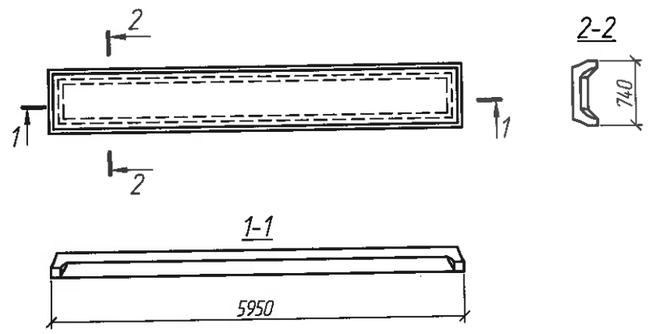


Рис. 2.10. Доборная плита

Плиты покрытий бывают длиной 6 и 12 метров при ширине 3 и 1,5 метра и плиты перекрытий - длиной 6 метров и шириной 1,5 - и 0,75 метра. Плиты покрытий шириной 3 метра являются основными, а шириной 1,5 метра - доборными; для плит перекрытий имеются соответственно: основные шириной 1,5 метра и доборные шириной 0,75 метра. Доборные плиты (рис.2.10) используются в тех случаях, когда раскладка не может быть выполнена полностью из основных плит. Длина плит определяется в основном шагом колонн. Высота плит (по ребрам) 300-450 *мм*. Плиты с вырезами применяют в местах примыкания к колоннам каркаса в междуэтажных перекрытиях.

Фундаменты. Несущие элементы, расположенные ниже поверхности земли, которые служат для восприятия всех нагрузок от зданий (сооружений) и передачи их на грунт или искусственное основание (песчаные подушки, сваи).

Типы и размеры фундаментов зависят не только от воспринимаемой нагрузки, но и от местных условий: свойств грунтов, глубины заложения, условий строительства и т.п. Поэтому выполняют их нередко в монолитном железобетоне по индивидуальным чертежам.

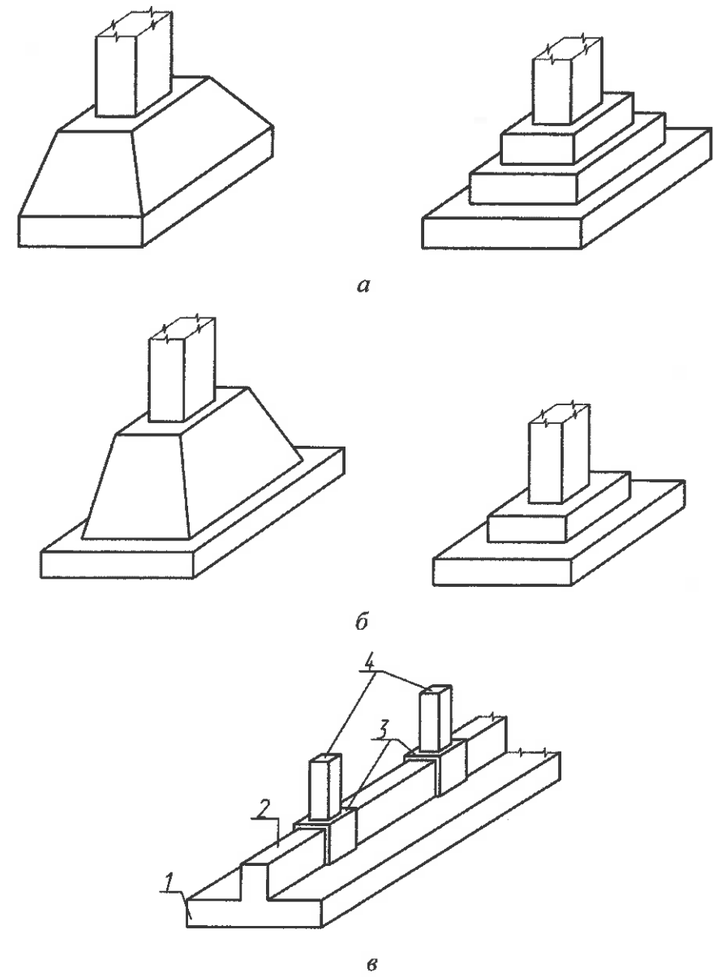


Рис. 2.11. Конструкции фундаментов
а- столбчатый бетонный, *б* – столбчатый железобетонный; *в* – ленточный;
1 – плита; 2 – ребро; 3 – банкеты; 4 – колонны каркаса

Фундаменты каркасных зданий и сооружений делятся на три основных типа:

- столбчатые, устраиваемые под отдельно стоящие колонны или стойки (рис. 2.11, *а*, *б*).

- ленточные (рис. 2.11, *в*) - применяются в тех случаях, когда нагрузки на опоры при слабых грунтах требуют значительного увеличения площади фундаментов, а наличие и расположение подземных сооружений (фундаменты под оборудование, каналы для про-

кладки инженерных сетей) не позволяют расширить фундаменты в направлении пролета. Ленточные фундаменты в двух направлениях применяются также для увеличения жесткости каркаса многоэтажных зданий с тяжелыми нагрузками на слабых или просадочных грунтах;

- сплошные, устраиваемые в виде плиты для распределения нагрузок на всю площадь основания, с передачей нагрузки на слабые неоднородные грунты и обеспечение высокой герметичности оборудования и трубопроводов.

Столбчатые фундаменты делаются сборными или монолитными из бетона или железобетона. Ленточные и сплошные фундаменты в виду большого веса и сложной формы выполняются в монолитном железобетоне.

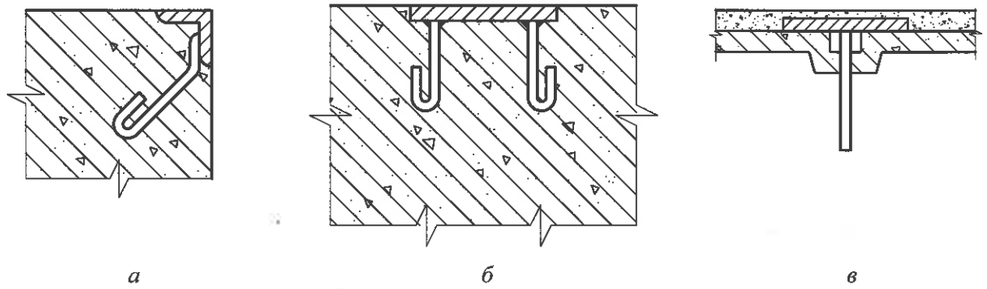
Верх фундамента, отделяющий его тело от остальных конструкций здания, называется верхним обрезом. Низ фундамента (нижняя опорная поверхность) называется подошвой. Расстояние от подошвы до верхнего обреза - высота фундамента; расстояние от уровня планировочной отметки до подошвы - глубина заложения.

При решении вопросов компоновки оборудования и трубопроводов на нулевой отметке и в подземном пространстве размеры фундаментов уточняются проектировщиками – строителями.

Закладные детали. Стальные элементы, закладываемые в тело железобетонных конструкций при бетонировании. Закладные детали изготавливаются из круглого, полосового, листового и профильного проката. В большинстве случаев они состоят из отдельных уголков или пластин с приваренными к ним прямыми или изогнутыми стержнями (рис. 2.12). Закладные детали применяются для соединения элементов железобетонного каркаса, а также любых железобетонных конструкций, как между собой, так и с конструкциями из металла, например, опоры аппаратов, трубопроводов, площадок и т.д.

Металлопрокат. Помимо сборного железобетона в строительстве нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств применяются строительные конструкции из металлопроката.

Металлопрокатом называют типовые элементы, получаемые способом прокатки. Такими элементами являются листовая и профильная сталь (рис. 2.13). Уголковые профили изготавливают равнобокими и неравнобокими. Толщина уголков, применяемых в строительных конструкциях, изменяется от 4-х до 30-ти миллиметров, а полок - от 50х50 до 250х250 миллиметров для равнобоких профилей и от 56х36 до 250х160 миллиметров для неравнобоких. Уголки прокатывают длиной до 19-ти метров.

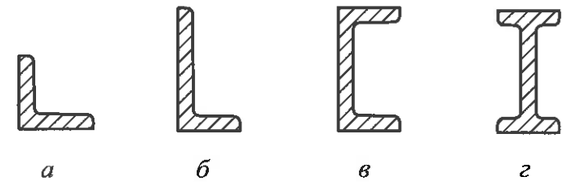


а *б* *в*

Рис. 2.12. Закладные детали

а – из уголка со стержнями арматуры периодического профиля; *б* - пластина с анкерными изогнутыми стержнями; *в* – сварная из плоского железа, заделанная в стык железобетонных плит перекрытия

Швеллеры выпускаются двух типов: обыкновенные с высотой сечения от 50-ти до 400-т миллиметров и облегченные с более тонкой стенкой и высотой от 160-ти до 300-т миллиметров. Швеллеры имеют длину 19 метров.



а *б* *в* *г*

Рис. 2.13. Металлопрокат (профили)
а – уголок равнобокий; *б* – уголок неравнобокий; *в* – швеллер; *г* - двутавр

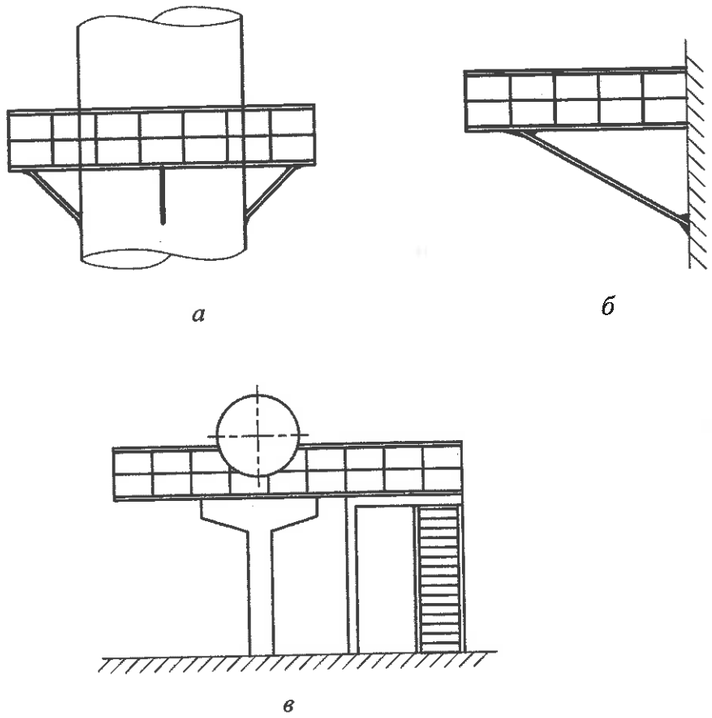
Двутавры выпускают трех типов: балочные, легкие колонные и тяжелые колонные профили. Двутавры имеют высоту сечения до 1000 миллиметров и предназначаются в основном для изготовления балок, стоек и колонн.

Из металлопроката можно изготавливать самые разнообразные строительные конструкции. Эти конструкции характеризуются меньшими (по сравнению с железобетонными) размерами сечений, меньшим собственным весом, способностью воспринимать большие нагрузки, более широкими возможностями для компоновки технологических процессов. Недостатками конструкций из металла являются более высокая стоимость, и слабая огнестойкость (потеря устойчивости при воздействии прямого огня).

Каркасные строительные конструкции с применением металлопроката (балки, фермы, колонны, настилы) применяются ограниченно: для перекрытия больших пролетов (более 24-х метров), а также при невозможности применения унифицированных сборных

железобетонных изделий (главным образом при реконструкции ранее построенных объектов).

В нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производствах металлопрокат широко используется в конструкциях горизонтального и подвесного транспорта, продольных и поперечных связях железобетонных каркасов, обслуживающих площадок, постаментов под аппараты, креплений аппаратов и трубопроводов.



а *б* *в*

Рис. 2.14. Обслуживающие площадки
а - закрепленная на аппарате, *б* – закрепленная к стене здания, *в* – с собственной опорной частью

Обслуживающие площадки. Строительные конструкции, обеспечивающие доступ персонала к оборудованию. По конструктивному исполнению площадки бывают трех типов:

- площадки, закрепляемые на аппаратах (рис 2.14, *а*);

- площадки, которые крепятся к несущим строительным конструкциям (колоннам, стенам, фундаментам под аппараты и т.п.) с помощью кронштейнов или консольных балок (рис. 2.14, *б*);

- площадки, имеющие собственную опорную конструкцию – постамент (рис. 2.14, *в*).

В комплекс обслуживающих площадок входят также лестницы, переходы и ограждения. Лестничные марши устанавливаются с углом наклона 45° и 60° Переходные промежуточные площадки применяют при высоте лестниц более 6-ти метров при устройстве поворотов лестничных маршей. Переходные площадки крепятся на кронштейнах или консольных балках к несущим элементам технологического оборудования, стенам и колоннам. В тех случаях, когда лестницы ставить нецелесообразно или невозможно, применяют стремянки.

2.3 Конструктивные схемы многоэтажных промышленных зданий и наружных установок

Многоэтажные промышленные здания проектируют, как правило, каркасными с навесными панелями стен. Каркасная схема отвечает удобствам компоновки технологического оборудования и требованиям индустриализации строительно-монтажных работ.

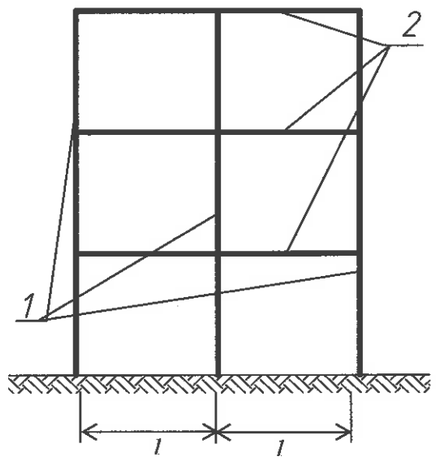
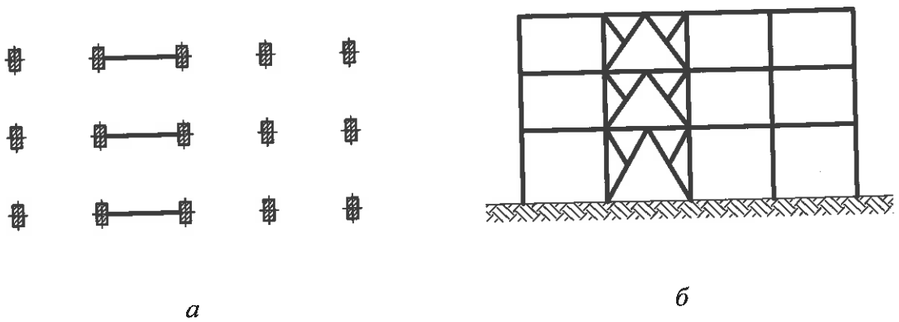


Рис.2.15. Схема двухпролетного стоечно-ригельного каркаса
1 – стойки (колонны); 2- ригели

В промышленных зданиях обычно применяется стоечно-ригельный каркас, основной несущей конструкцией которого является однопролетная или многопролетная рама (рис. 2.15). Вертикальными элементами рамы служат стойки или колонны, а горизонтальными - ригели (балки). В зависимости от того, как опираются междуэтажные перекрытия, каркас может иметь несущие поперечные или продольные рамы. В нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производствах преобладают каркасы с поперечным расположением рам.

Расстояние между осями колонн поперечной рамы характеризует ее пролет, а расстояние между рамами в продольном направлении - шаг колонн. Совокупность расстояний в продольном и поперечном направлении называют сеткой колонн каркасного здания или планировочной сеткой.

Наиболее распространена сетка колонн каркаса 6х6, 9х6, реже 12х6 метров. Такие ограниченные размеры обусловлены большими нагрузками на перекрытия от технологического оборудования и трубопроводов. Высоту промышленных зданий обычно принимают по условиям технологического процесса в пределах 3÷7-ми этажей. Высота этажей принимается: 3,6; 4,8 и 6,0 метров; для первого этажа допускается повышенная высота 7,2 метра (при необходимости размещения высокого оборудования). Для последнего этажа в случае расположения мостового крана также допускается повышенная высота до 10-ти метров (рис. 2.2).



а *б*

Рис. 2.16. Рамно-связевая схема многоэтажного каркаса
а – план; *б* – вид сбоку в продольном направлении

Основными несущими конструкциями многоэтажного каркасного здания являются железобетонные рамы и связывающие их междуэтажные перекрытия. Пространственная жесткость обеспечивается в поперечном направлении работой многоэтажных рам с жесткими узлами - по рамной системе, а в продольном - работой вертикальных стальных связей, располагаемых по рядам колонн и в плоскости наружных стен, - по связевой системе (рис. 2.16). Если по технологическим условиям связи в продольном направлении не могут быть поставлены, их заменяют продольными ригелями. В этом случае пространственная жесткость и в продольном направлении обеспечивается по рамной системе.

Каркас наружных установок (этажерок) представляет собой систему плоских поперечных рам, объединяемых в пространственный каркас путем укладки плит на полки ригелей и установки в продольном направлении вертикальных стальных связей.

Поперечные рамы каркасов этажерок образуются из сборных железобетонных колонн и ригелей (балок). Все узлы сопряжения ригелей с колоннами - жесткие. Это достигается с помощью сварки выпусков арматуры, сварки закладных деталей ригеля и колонны и последующего бетонирования стыка.

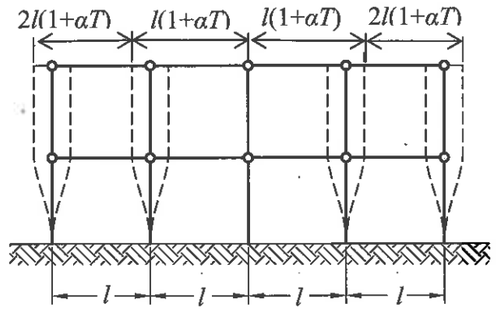


Рис. 2.17. Схема температурных расширений рамного каркаса

Здания и сооружения большой протяженности подвержены деформациям под влиянием многих причин, например: при большой разнице в нагрузке на основание по длине конструкции, при разнородном грунте в основании и неравномерной осадке, при значительных температурных колебаниях наружного воздуха и других причинах (рис. 2.17). В этих случаях в стенах и других элементах конструкции могут появиться трещины, которые снижают ее прочность и устойчивость. Для предупреждения появления трещин устраиваются деформационные швы, которые разрезают здание, наружную установку и сооружение на отдельные отсеки.

В зависимости от назначения различают следующие деформационные швы: усадочные, температурные, осадочные и антисейсмические.

Усадочные швы необходимы в монолитных бетонных и железобетонных конструкциях, т.к. при схватывании (твердении) бетона он уменьшается в объеме. Температурные швы разделяют любое здание и сооружение по всей высоте до фундаментов. В фундаментах температурные швы не устраиваются, т.к. они, находясь в грунте, не подвержены значительным изменениям температуры. Температурные швы обеспечивают горизонтальное перемещение отдельных частей зданий и сооружений, которые они разделяют.

Предельные расстояния между температурными швами: 60 метров - для конструкций внутри отапливаемых зданий и 40 метров - для конструкций наружных установок и не отапливаемых зданий. Конкретные значения расстояний зависят от материала, конструктивной схемы, способа производства работ, атмосферных условий и могут быть уменьшены до 20-ти метров и увеличены до 200-т метров.

Осадочные швы разделяют конструкцию по всей высоте, включая фундаменты, и обеспечивают смежным частям конструкции независимую осадку. Антисейсмические

швы устраиваются в зданиях и сооружениях возводимых в районах, подверженных землетрясениям. Такие швы разбивают здания и сооружения на независимые отсеки аналогично осадочным швам.

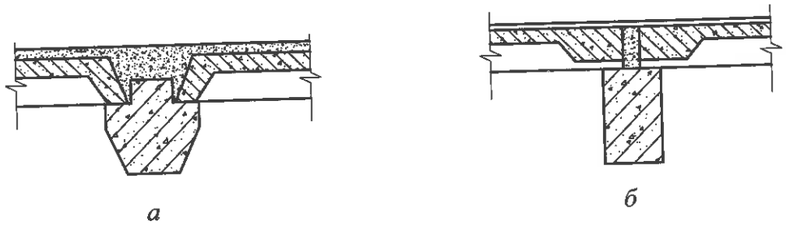
Если необходимо устройство деформационных швов различного назначения в одном здании или сооружении, то они совмещаются. Например, температурные швы совмещаются с осадочными, антисейсмические с температурными и т.д. При этом расстояние между швами определяется по минимальному расстоянию. Например, если температурные швы для данного здания должны идти через 60 метров, а антисейсмические через 30 метров, то при совмещении деформационные швы в здании устаиваются через 30 метров.

2.4 Междуэтажные перекрытия

Перекрытия промышленных зданий и наружных установок (этажерок) бывают следующих типов:

- монолитные железобетонные;
- сборные железобетонные;
- металлические (балочные клетки).

В зависимости от конкретных условий могут использоваться комбинации различных типов перекрытий: сборные железобетонные с монолитными участками или с участками, выполненными в металле; сборные железобетонные плиты, уложенные на металлические несущие конструкции и т.д.



а *б*

Рис. 2.18. Типы сборных железобетонных перекрытий
а – с опиранием плит на выступающие полки ригеля;
б – с опиранием плит по верху ригеля

Наиболее распространенным является перекрытие из сборного железобетона. В нефтеперерабатывающих, нефехимических и химических производствах в основном применяют два типа сборных железобетонных перекрытий: с опиранием ребристых плит на выступающие полки ригеля (рис 2.18, *а*) и с опиранием ребристых плит по верху ригеля (рис. 2.18, *б*). Первый тип имеет меньшую строительную высоту, что создает большие удобства для компоновки оборудования. Указанные перекрытия рассчитаны на полезную нагрузку 15-25 $кН/м^2$.

Раскладка плит показывается на строительных чертежах. Пример раскладки плит приведен на рис. 2.19 (маркировка плит условная). Применение плит различных марок обусловлено сеткой колонн: попадает плита между колоннами или нет, а также положением плиты по отношению к краю перекрытия (как в продольном, так и в поперечном направлении).

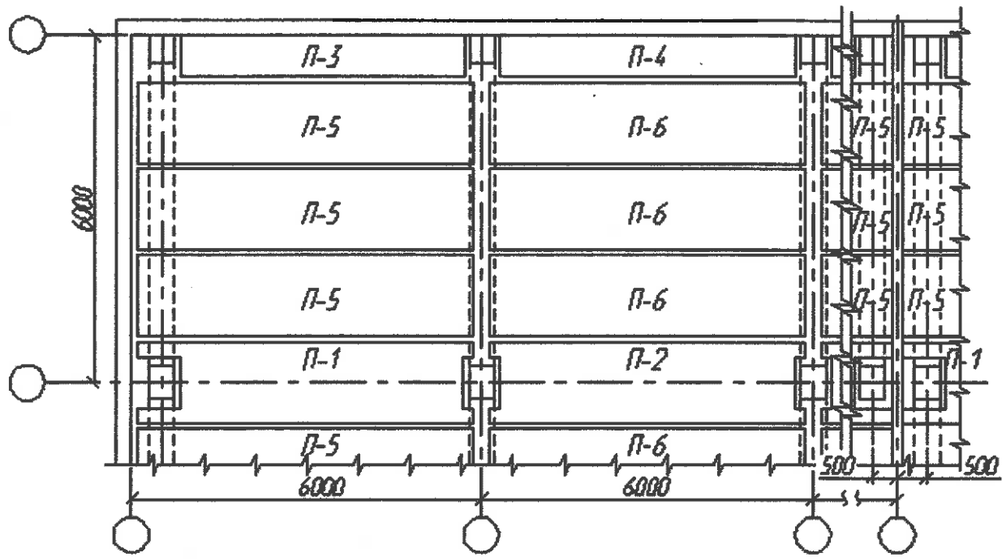


Рис. 2.19. Раскладка плит междуэтажного перекрытия

В перекрытиях оставляются отверстия (пустоты) - технологические и монтажные проемы; в закрытых зданиях с взрывоопасными производствами, кроме того, могут быть предусмотрены специальные взрывные проемы. Проемы необходимы для компоновки и обслуживания провисающего оборудования, пропуска инженерных коммуникаций (труб, кабелей и т.п.), возможности производства монтажных работ, уменьшения разрушающих последствий взрыва (во взрывоопасных производствах, размещаемых в зданиях, проемы должны составлять не менее 10-15% от общей площади перекрытия).

При устройстве проемов необходимо руководствоваться следующим:

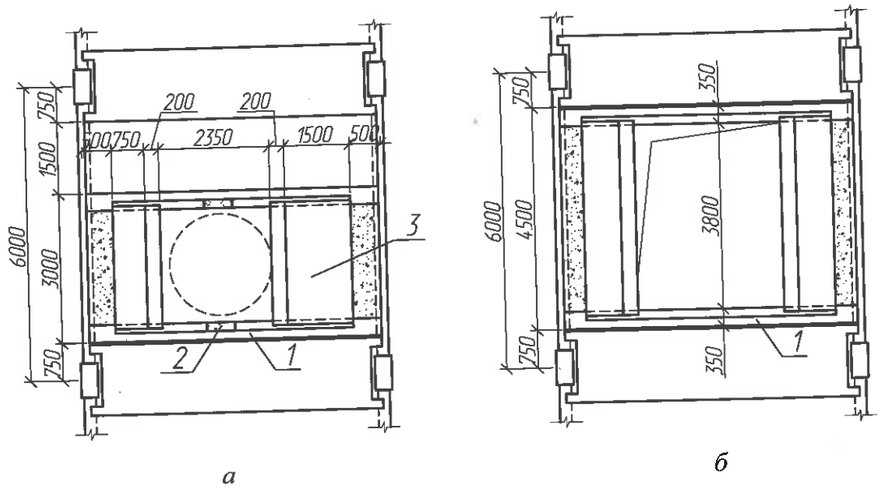
1) пробивка отверстий по месту допускается диаметром до 200-т миллиметров только в полке плиты (чтобы не задевалось ребро);

2) проемы в перекрытиях, как правило, образуются удалением плит, поэтому их размеры должны быть кратны длине и ширине плит;

3) если проемы, образованные удалением плит, оказываются слишком большими, «излишки» закрываются металлическими конструкциями - балками и настилом (балки могут быть съемными);

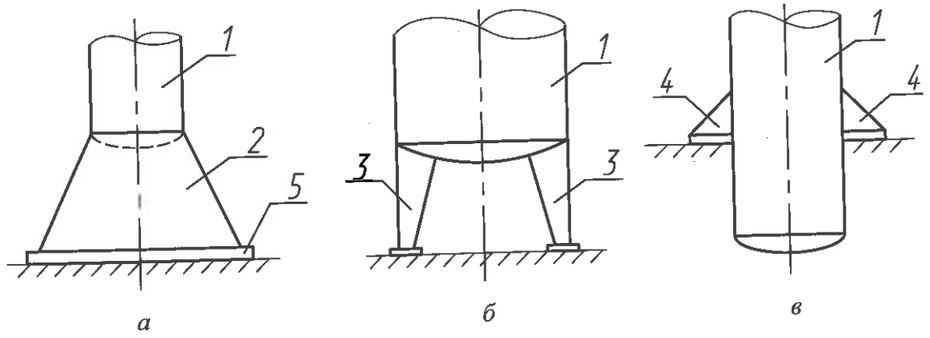
4) в тех случаях, когда удалением плит проемы нужной формы получить не удается, делают вставки из монолитного железобетона или металлические балочные клетки.

Примеры устройства проемов в перекрытии показаны на рисунке 2.20.



а *б*

Рис. 2.20. Проемы в перекрытии
а – для установки провисающего аппарата; *б* – монтажный проем;
1 – главные балки; 2 – «набетонка»; 3 – металлический настил



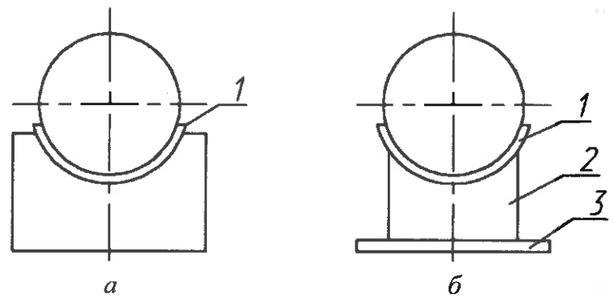
а *б* *в*

Рис. 2.21. Способы опирания вертикальных цилиндрических аппаратов
а – на опорное кольцо, *б* – на стойки *в* – на боковые лапы
1 – аппарат, 2 – юбка, 3 – стойка, 4 –лапа, 5 - кольцо

2.5 Фундаментные конструкции под оборудование Фундаментные болты

Технологическое оборудование устанавливается как на перекрытиях зданий или наружных установок, так и на собственные фундаменты или постаменты. Оборудование, устанавливаемое на перекрытия, обычно не требует возведения специальных опорных

конструкций, кроме тех, которые предусмотрены заводом – изготовителем. Поэтому в дальнейшем речь идет о конструкциях фундаментов и постаментов под тяжелое оборудование. Используемое в технологических процессах оборудование весьма разнообразно. Поэтому дать все фундаментные конструкции затруднительно. Рассмотрим только основные типы под вертикальные, горизонтальные аппараты и машины (в том числе с динамическими нагрузками).



а *б*

Рис. 2.22. Опирание горизонтальных аппаратов
а – бетонное седло; б - седловая опора
1 – подкладной лист; 2 – опора; 3 – опорная плита

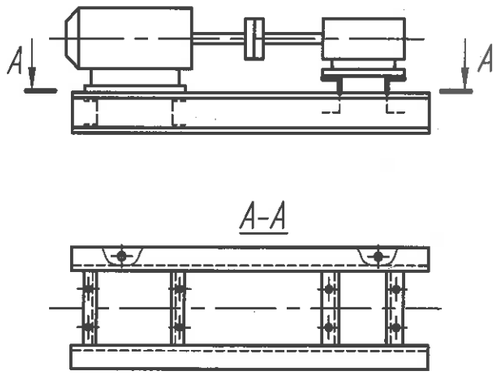
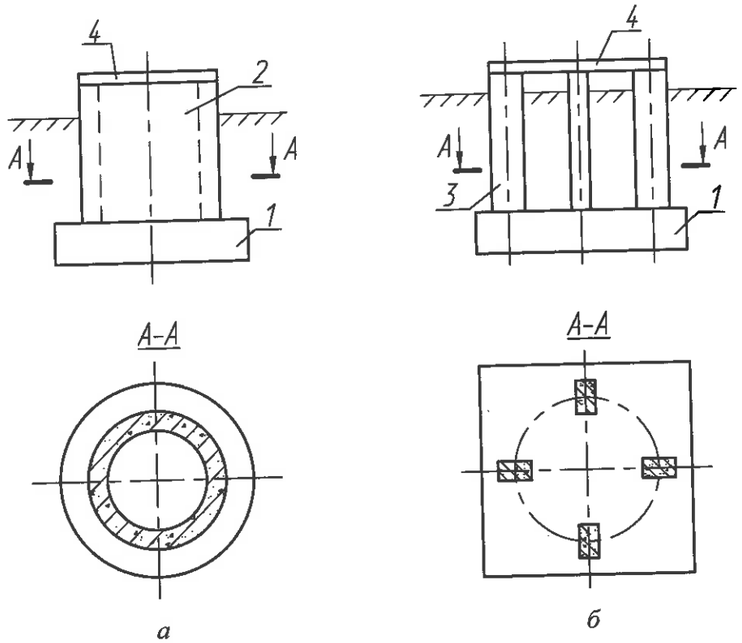


Рис. 2.23. Опирание машин на металлическую раму

Фундаментная конструкция зависит от способа опирания аппарата. Опоры вертикальных аппаратов могут быть выполнены в виде одного или двух сплошных опорных колец, которые соединяются с аппаратом при помощи опорной обечайки - «юбки»; в виде стоек, устанавливаемых у края днища, или в виде лап - для провисающих аппаратов (рис. 2.21). Горизонтальные аппараты могут быть без опор - опираться непосредственно на бетонное седло (рис.2.22, *а*), или иметь седловые опоры (рис. 2.22, *б*).

Опорная часть машин (компрессоров, насосов и т.п.) обычно выполняется в виде металлической рамы, как это показано на рисунке 2.23.



а *б*

Рис. 2.24. Постаменты под вертикальные аппараты
а – сплошной; *б* – сквозной
1 – фундаментная плита; 2 – железобетонный стакан; 3 – стойка;
4 – опорное кольцо аппарата

Фундаментные конструкции под вертикальные аппараты. Наиболее распространены три типа конструкций:

а) фундаментная плита - постамент. Постамент может иметь различное исполнение: сплошной постамент в виде железобетонного стакана (рис. 2.24, *а*), сквозной в виде отдельных стоек под опорное кольцо аппарата (рис. 2.24, *б*)

б) сплошной фундамент. Как правило, это прямоугольная или треугольная (для аппаратов имеющих три опоры) призма, имеющая внизу небольшое уширение (рис. 2.25);

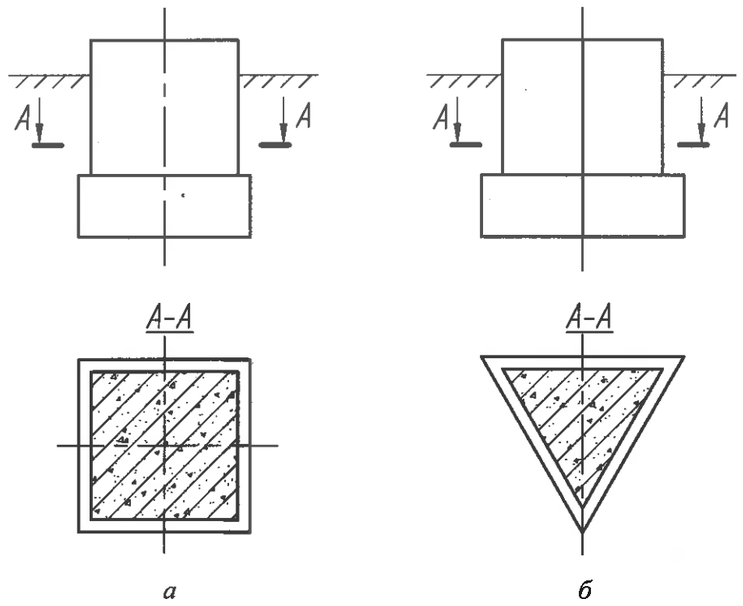
в) провисающие аппараты, устанавливаемые на собственный сквозной постамент, который является этажеркой в миниатюре (рис. 2.26).

Фундаментные конструкции под горизонтальные аппараты. Делятся на следующие типы:

а) опорные стойки, выполненные в виде плоских стенок или колонн с траверсами, опирающихся на железобетонные подушки (рис. 2.27, *а*, *б*);

б) рамная конструкция (из металла или железобетона);

в) железобетонная подушка с седлообразным вырезом (рис. 2.28).



а *б*

Рис. 2.25. Фундаменты под вертикальные аппараты на стойках
а – прямоугольная призма; *б* – треугольная призма

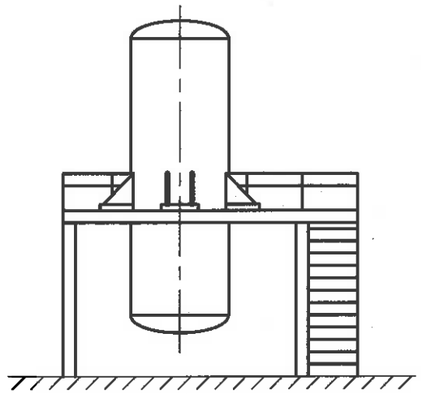


Рис. 2.26. Провисающий аппарат на собственном постаменте

Одна из опор горизонтального аппарата всегда делается неподвижной, а другая - скользящей (т.е. аппарат к ней не крепится) для обеспечения свободы температурных расширений в продольном направлении.

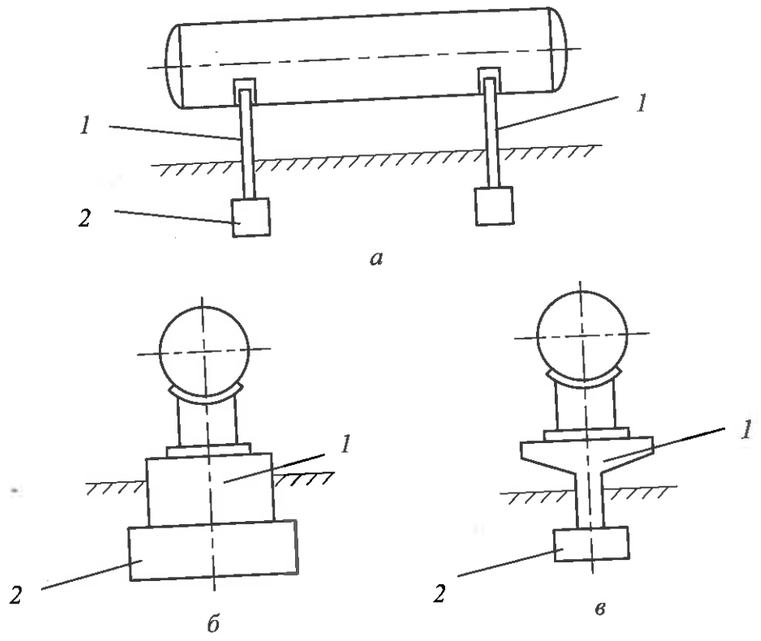


Рис. 2.27. Варианты опирания горизонтального цилиндрического аппарата
а – общий вид; *б* – фундамент с плоской стенкой; *в* – фундамент с траверсой
1 – плоская стенка или колонна с траверсой; *2* – фундамент.

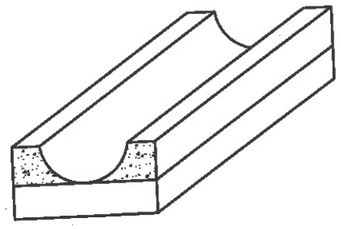


Рис. 2.28. Железобетонная подушка

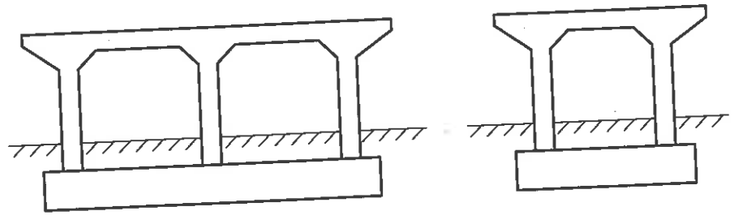


Рис. 2.29. Рамный железобетонный фундамент под компрессор

Фундаменты под машины. Фундаменты под машины с динамическими нагрузками бывают трех типов: массивные монолитные, коробчатые монолитные и рамные сборные

или монолитные (рис. 2.29). Такие фундаменты могут быть большими: в 1-2 этажа. Коробчатые и рамные фундаменты обязательно в нижней части имеют плиту.

Фундаментные болты. Опоры аппаратов и машин закрепляются на фундаментах с помощью фундаментных (анкерных) болтов. По способу установки болты подразделяются на две группы:

- устанавливаемые до бетонирования фундаментов;
- устанавливаемые в готовые фундаменты (в колодцы или скважины).

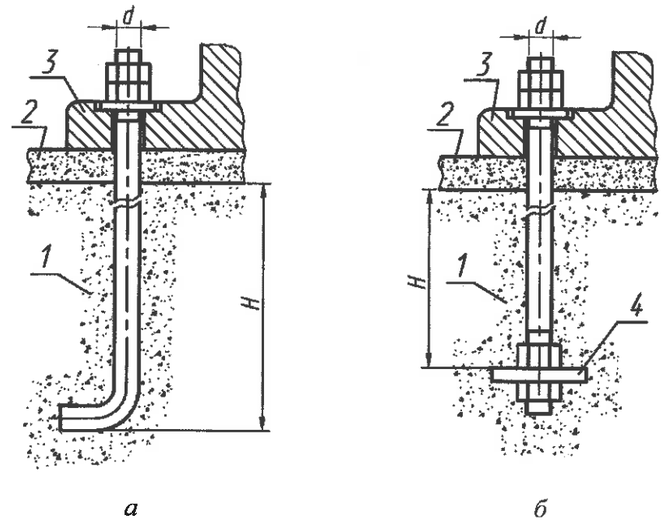


Рис. 2.30. Глухие (не съемные) фундаментные болты
а – с отгибом; *б* – с анкерной плитой
1 – фундамент, 2 – подливка, 3 – оборудование, 4 – анкерная плита

Болты, устанавливаемые до бетонирования, можно разделить на болты, заделываемые в тело фундамента наглухо (глухие), и болты съемные. Глухие болты обычно имеют на конце отгибы (рис. 2.30, *а*) или анкерную плиту (рис. 2.30, *б*). Последняя представляет с собой прямоугольную пластину с круглым отверстием, через которое пропускается нижняя резьбовая часть болта. Пластина крепится к болту с обеих сторон двумя гайками.

Выступая над верхним обрезом фундамента, глухие болты данной конструкции создают определенные неудобства при установке и центрировании машин и аппаратов. Поэтому они используются, как правило, при закреплении небольшого оборудования (электродвигатели малой мощности, легкие аппараты т.п.).

Съемные болты применяются для крепления машин с большими динамическими нагрузками или в тех случаях, когда в процессе эксплуатации болты подлежат замене (рис. 2.31). В массив фундамента закладывается анкерная арматура, состоящая из изолирующей трубы и анкерной плиты с резьбовым отверстием. Для того чтобы резьба не засо-

рялась в процессе бетонирования, отверстие снизу закрывается заглушкой. Съемный болт представляет собой шпильку, которая устанавливается свободно в трубе после устройства фундамента. Такая конструкция анкерного крепления (рис. 2.31, *а*) весьма удобна, но

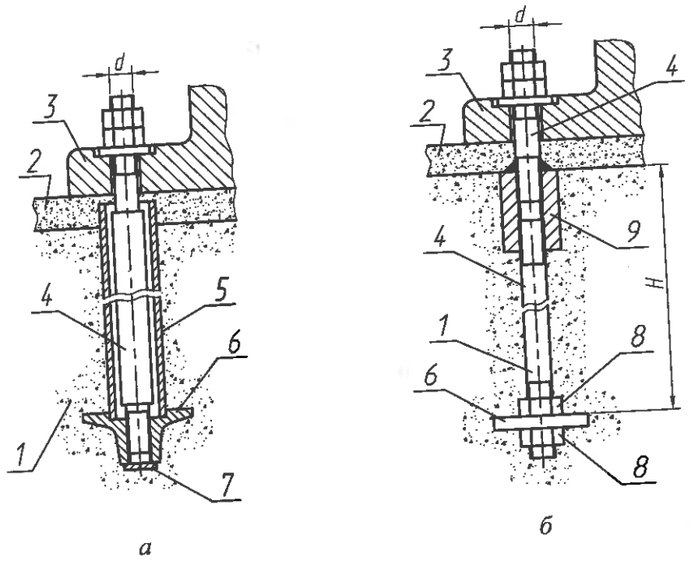


Рис. 2.31. Съемные фундаментные болты
а – цельный; *б* - составной
1- фундамент; 2 – подливка; 3 оборудование; 4 – шпилька, 5 – изолирующая труба, 6 – анкерная плита, 7 – заглушка, 8 – гайка; 9 – соединительная муфта

нужно иметь в виду, что она требует значительного расхода металла (вес анкерной плиты с трубой превосходит вес самого болта).

Более экономичной является конструкция, показанная на рис. 2.31, *б*. Анкерный болт является составным: нижняя и верхняя его шпильки соединяется на резьбе с помощью муфты. Верхний торец муфты выводится на грань фундамента. Нижняя шпилька совместно с муфтой и анкерной плитой устанавливаются в тело фундамента до его бетонирования. Верхняя шпилька ввертывается в муфту и прихватывается сваркой после установки оборудования. Составные болты нашли широкое применение при установке на фундаменты крупногабаритного оборудования методом «надвижки» или методом поворота (см. схему монтажа дистилляционной колонны, показанную на рисунке 8.6).

Болты второй группы, устанавливаемые в просверленные скважины готовых фундаментов, целесообразно применять во всех случаях, когда это возможно по технологическим и монтажным условиям, поскольку эти болты резко упрощают процесс изготовления фундаментов.

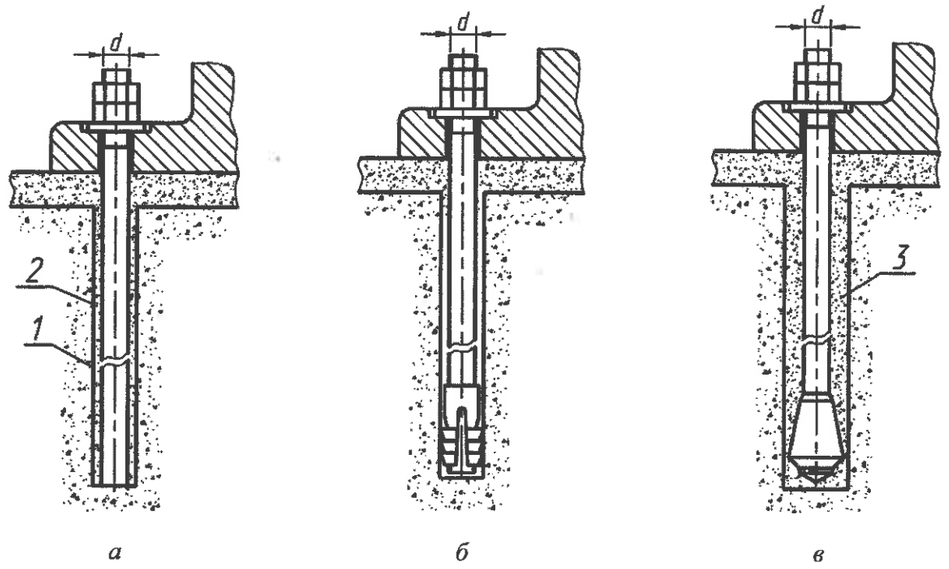


Рис. 2.32. Фундаментные болты, устанавливаемые в просверливаемые скважины
а – прямой, *б* – с коническим концом и разжимной цангой, *в* – с коническим концом;
1 – скважина; 2 – цементно-песчаная смесь или клеевой состав; 3 – цементный раствор

По способу крепления болты подразделяются на:

- болты прямые, закрепляемые с помощью эпоксидного, силиконового клеев или виброзачеканки цементно-песчаной смесью (рис. 2.32, *а*);

- болты с коническим концом, закрепляемые с помощью разжимной цанги (рис. 2.32, *б*) или цементным раствором при вибропогружении в него шпильки болта (рис. 2.32, *в*).

В большинстве случаев болты, устанавливаемые в просверленные скважины, имеют небольшой диаметр (от 12-ти до 48-ми миллиметров) и применяются для крепления легкого оборудования.

Наиболее широко применяются болты, устанавливаемые в колодцах. Колодцы оставляются в теле фундамента при бетонировании, затем в них вставляются болты с отгибами, а колодец заполняется цементным раствором или бетоном (рис. 2.33).

По условиям эксплуатации болты подразделяются на расчетные и конструктивные. Конструктивные болты не воспринимают больших нагрузок и служат для крепления оборудования, устойчивость которого против опрокидывания или сдвига обеспечивается его собственным весом. Болты предназначаются для рихтовки оборудования во время монтажа, обеспечения стабильной работы оборудования в процессе эксплуатации, а также для предотвращения случайных смещений.

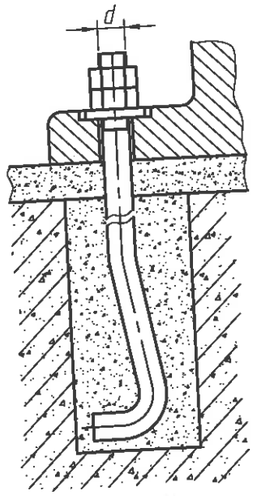


Рис. 2.33. Фундаментный болт с отгибом, устанавливаемый в колодце

Расчетные анкерные болты воспринимают нагрузки, возникающие при работе оборудования. Наименьшую глубину заделки таких болтов рекомендуется устанавливать по действующим в них расчетным усилиям или, если эти усилия неизвестны, - по условию равнопрочности болта на выдергивание из бетона и на разрыв. Для соблюдения указанного условия глубина заделки в бетон обычно составляет 10÷30 диаметров болта (СНиП 2.09.03-85). Наименьшую глубину заделки имеют болты с анкерными плитами, наибольшую - с отгибами. От глубины заделки анкерных болтов зависит высота фундамента, а, следовательно, и условия компоновки оборудования.

2.6 Модульная координация размеров в строительстве (МКРС)

Технико-экономические преимущества индустриализации строительства: сборность, типизация и унификация, достижение взаимозаменяемости элементов, - возможны только при надлежащей взаимоувязке между проектами зданий и материалами, изделиями, конструкциями, выпускаемыми строительной промышленностью. Такая взаимная увязка в размерах достигается в том случае, если эти размеры не являются случайными, а подчиняются определенной системе, в которой заложен принцип кратности всех размеров какой-то величине. Эта величина называется модулем.

Модульная координация размеров в строительстве (МКРС) представляет собой совокупность правил координации размеров объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий (сооружений), строительных изделий (материалов) на базе основного модуля 100 миллиметров (условное обозначение М).

Согласно МКРС условное деление здания (сооружения) на объемно-планировочные элементы осуществляется вертикальными и горизонтальными плоскостями, которые называются основными координационными плоскостями (рис. 2.34).

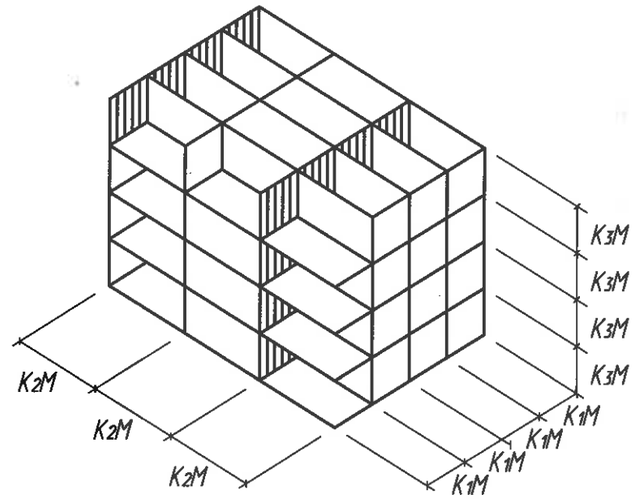
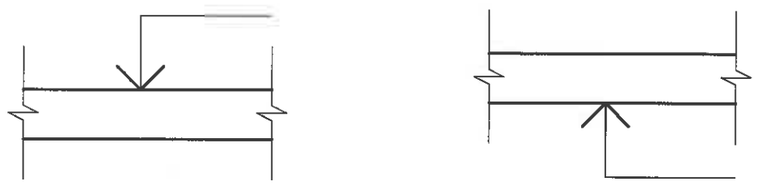


Рис. 2.34. Координационные плоскости многоэтажного сооружения

Поскольку строительные чертежи представляют собой планы и разрезы, положение указанных плоскостей задается на чертежах линиями их взаимного пересечения - координационными осями.



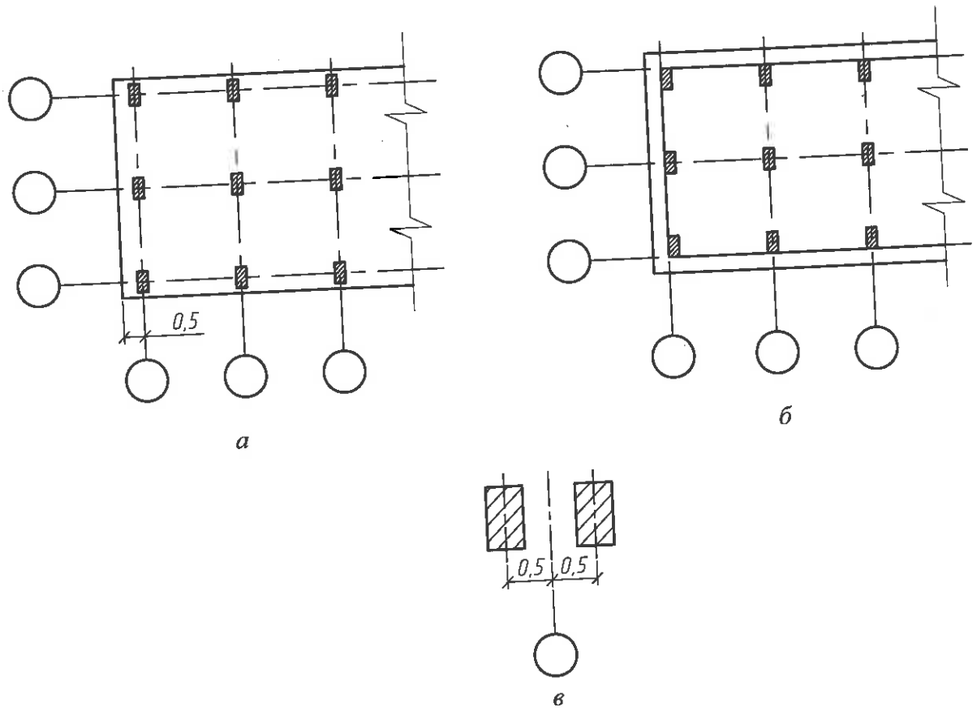
а *б*

Рис. 2.35. Высотные отметки
а – верха перекрытия; *б* – низа перекрытия

Положение основных горизонтальных координатных плоскостей, как правило, задается высотными отметками (рис. 2.35), поэтому в чертежах разрезов соответствующие координационные оси обычно не показываются. Остальные оси изображают штрихпунктирными линиями с кружочками на концах, в которых проставляется буква или цифра. При этом оси, идущие вдоль здания (сооружения) обычно имеют буквенную индексацию, а поперек - цифровую. Такие оси называют строительными осями здания (сооружения).

Единый модуль при проектировании зданий обычно применить не удается. Для крупных и мелких размеров пользуются производными модулями - укрупненными и дробными. Например, продольные и поперечные модульные шаги рекомендуется принимать кратными наиболее крупным производным модулям 6000 *мм* и 3000 *мм* (60 М и 30 М).

Модульные высоты этажей назначаются в соответствии с укрупненными модулями 1200 *мм*, 600 *мм*, 300 *мм* (12М, 6М и 3М). Основной модуль 100 *мм* и дробный модуль 50 и 20 *мм* (М, 0,5 М и 0,2 М) применяются для назначения размеров сечений колонн, балок, толщин стен и плит перекрытий.



а *б* *в*

Рис. 2.36. Разбивка строительных осей
а – на наружных установках; *б* – в зданиях; *в* - в местах температурно-усадочных швов

Различают две категории размеров: координационные и конструктивные. Координационные - номинальные расстояния между координационными осями, условные размеры конструктивных элементов, включающие соответствующие части швов и зазоров, назначаемые в соответствии с правилами МКРС. Конструктивные - размеры конструктивных элементов, строительных материалов и изделий, отличающихся от координационных, как правило, на величину нормированного зазора. Например, координационный размер ширины плиты 1500 *мм*, а такой же конструктивный размер 1480 *мм*.

В каркасных зданиях и сооружениях строительные оси проходят через центры геометрического сечения колонн. Исключения составляют:

- колонны в торцах наружных установок (этажерок) - оси таких колонн смещаются на 0,5 метра внутрь этажерки (рис. 2.36, *а*);

- колонны, примыкающие к наружным стенам здания - строительные оси совмещаются с наружными гранями колонн (рис. 2.36, *б*);

- колонны в местах температурно-усадочных швов. Температурно-усадочные швы образуются установкой двух колонн, оси которых смещены на 0,5 м в обе стороны от строительной оси (рис. 2.36, *в*).

2.7 Основные требования к зданиям и сооружениям

К зданиям и сооружениям химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств предъявляются следующие требования.

1) Надежность - способность длительное время выдерживать нагрузки и воздействия как внутренние (от оборудования, трубопроводов, перерабатываемых продуктов), так и внешние (атмосферные и сейсмические). Надежность зданий и сооружений создается за счет правильного учета всех нагрузок и воздействий, выбора наиболее рациональной конструктивной схемы, расчета на прочность и устойчивость, применения соответствующих строительных материалов и конструкций, защиты конструкций от агрессивных воздействий кислот и щелочей, применяемых в технологическом процессе.

Срок службы зданий и сооружений определяется классом их капитальности и принимается в следующих пределах

- I класс - 70 - 100 лет,
- II класс - 50 - 70 лет,
- III класс - 20 - 50 лет,
- IV класс - до 20 лет.

2) Огнестойкость - способность зданий и сооружений выдерживать в течение определенного отрезка времени воздействие открытого огня или высокой температуры без деформаций и разрушений. Огнестойкость зданий и сооружений определяется пределом огнестойкости основных строительных конструкций: стен, покрытий, перекрытий, колонн и внутренних перегородок. Предел огнестойкости этих конструкций зависит от возгораемости применяемых материалов (сгораемые, трудно сгораемые, несгораемые) и минимального размера сечения конструкции.

Предел огнестойкости определяется временем в часах от начала испытания конструкции на огнестойкость до возникновения одного из следующих признаков:

- образование в конструкции сквозных трещин и отверстий;

- повышение температуры на не обогреваемой поверхности конструкции в среднем более, чем на 140 °С или в любой точки более, чем на 180 °С;

- потеря конструкцией несущей способности (обрушение).

Например, кирпичные стены толщиной 38 сантиметров имеют предел огнестойкости 11 часов и 2,5 часа при толщине 12 сантиметров.

К огнестойким строительным конструкциям относятся конструкции из камня, бетона и железобетона. В железобетонных конструкциях повышенная огнестойкость достигается за счет увеличения толщины защитного слоя от наружной грани конструкции до арматуры до 3 ÷ 4 сантиметров (в обычном железобетоне 1,5 ÷ 2 сантиметра).

По огнестойкости здания и сооружения делятся на пять степеней (СНиП 2.01.02-85). Здания и сооружения, возводимые на территории нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятий, должны быть не ниже второй степени огнестойкости. Это означает, что основные строительные конструкции зданий и сооружений должны быть несгораемыми, а их предел огнестойкости должен быть не ниже:

- для несущих стен и колонн — 2 - 2,5 часа;
- для перекрытий — 0,75 - 1,0 час;
- для покрытий и внутренних перегородок — 0,25 - 0,5 часа.

3) Противопожарная устойчивость - способность зданий и сооружений противостоять пожарам при одновременном обеспечении максимума безопасности персоналу. В соответствии с действующими нормами производственные процессы по степени взрыво- и пожароопасности отнесены, как было указано выше, к 5-ти категориям: А, Б, В, Г, Д.

Противопожарная устойчивость зданий и сооружений в зависимости от категории взрыво- и пожароопасности размещаемого в них производства обеспечивается за счет соответствующей степени огнестойкости, противопожарной защиты и сигнализации, членения зданий несгораемыми стенами - брандмауэрами, четкой организации эвакуационных путей и выходов и других мероприятий.

Так, помещения с разными категориями производств во избежание распространения пожара разделяются брандмауэрами и оборудуются индивидуальными системами вентиляции.

Помещения с категориями производства А и Б оборудуются стационарными системами пенопожаротушения, остальные помещения - противопожарным водопроводом. Над помещениями с производствами категорий А и Б не допускается размещение помещений других категорий. В зависимости от категории и степени огнестойкости конструкций вводятся ограничения на габариты помещений и сооружений, их компоновку и т.д.

4) Взрывоустойчивость - неразрушаемость основных строительных конструкций при взрыве внутри здания. Взрывы потенциально возможны при аварийных ситуациях в

помещениях с производствами категорий А и Б. Разрушение конструкций частично предотвращается за счет взрывных проемов. Производственные здания категорий А и Б проектируются, как правило, одноэтажными. Если по условиям технологического процесса требуется многоэтажное здание, то в этом случае в перекрытиях, расположенных друг над другом взрывоопасных производственных помещений, устраиваются сквозные проемы.

Роль взрывных проемов в зданиях выполняют также оконные и дверные проемы, аэрационные фонари либо, при недостаточной площади последних, дополнительно устраиваемые легкосбрасываемые панели покрытия. Общая площадь взрывных проемов должна быть не менее 0,05 $м^2$ на 1 $м^3$ взрывоопасного помещения. Масса 1 $м^2$ легкосбрасываемых панелей не должна превышать 120 *кг*.

Преимуществом наружных установок является отсутствие ограждающих конструкций и необходимости устройства взрывных проемов.

5) Индустриальность строительства - возможность возведения зданий и сооружений из сборных элементов заводского изготовления.

Широкое распространение в строительстве промышленных зданий получили конструкции из сборного железобетона.

Из монолитного бетона и железобетона изготавливаются, как правило, только фундаменты зданий, сооружений, фундаменты под тяжелое оборудование, а также сооружения сложной формы (когда нет возможности применить сборные элементы).

Применение металла в производствах категорий А и Б снижает уровень индустриализации. Сталь не огнестойка и под непосредственным воздействием огня сильно деформируется. Поэтому несущие металлоконструкции необходимо бетонировать, что требует больших затрат ручного труда.

6) Обеспеченность условий промышленной санитарии и гигиены труда: естественного освещения, температуры, воздухообмена, влажности воздуха, необходимости бытовых удобств (комната приема пищи, туалет, раздевалки и т.п.).

7) При соблюдении перечисленных выше требований нужно стремиться к минимально возможной стоимости проектируемых зданий и сооружений.

3 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

3.1 Трубы

Трубы, как правило, изготавливаются и поставляются специализированными заводами. Они характеризуются размером наружного диаметра, толщиной стенки, материалом, способом изготовления, качеством. Эти показатели определяют область применения труб.

Трубы различаются по размеру наружного диаметра ($D_н$):

- капиллярные 0,3 ÷ 4,8 *мм*;
- малых диаметров 5,0 ÷ 100 *мм*;
- средних диаметров 102 ÷ 426 *мм*;
- больших диаметров свыше 426 *мм*.

Трубы могут быть: металлические, металлические с внутренним и/или наружным покрытием, металлопластиковые и неметаллические.

По конструкции трубы подразделяются на: бесшовные, полученные способом проката, сверления, ковки с последующей механической обработкой, непрерывной центробежной отливки; сварные полученные из листов или полос с помощью электросварки, контактной или газовой сварки. Трубы, полученные с помощью электросварки, называются электросварными. Различают электросварные трубы прямошовные и со спиральным швом. Бесшовные трубы, как правило, являются трубами малых и средних диаметров, а электросварные - малых, средних и больших диаметров.

По толщине стенки трубы подразделяются на тонкостенные и толстостенные. С расчетной точки зрения труба считается тонкостенной, когда отношение толщины стенки s к наружному диаметру $D_н$ не превышает 0,1.

Приведенные ниже пределы применимости различных труб по температуре и давлению являются ориентировочными. В зависимости от свойств транспортируемых сред, особенностей технологических процессов и других факторов эти пределы могут уточняться в каждом конкретном случае.

3.1.1 Металлические трубы

Металлические трубы изготавливаются из стали, чугуна, цветных металлов (медь, алюминий и проч.) и сплавов.

Стальные трубы. Получили наиболее широкое распространение при строительстве нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Применяются для транспортировки различных сред, в широком диапазоне рабочих давлений и температур. Стальные трубы выпускаются малых, средних и больших диаметров.

По материалу изготовления труб стали делятся на углеродистые, низколегированные и высоколегированные. Легирующие компоненты вводятся специально для придания металлу требуемых свойств.

Углеродистые стали подразделяются на качественные и стали обыкновенного качества. Для марок качественных и легированных трубных сталей принята следующая система обозначений.

Первые две цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. По ряду причин содержание углерода в трубных сталях ограничено интервалом 0,1 ÷ 0,27% (при содержании углерода > 0,23% сталь трудно сваривается).

Следующие за цифрами буквы указывают на содержание в стали легирующих элементов: Х - хром, Н - никель, М - молибден, Ф - ванадий, В - вольфрам, Т - титан, Б - ниобий, Р - бор, Г - марганец; С - кремний (силиций).

При содержании легирующего элемента в размере 1% и более, вслед за буквой элемента ставится число, указывающее на среднее содержание в стали этого элемента в процентах. При содержании легирующего элемента менее 1% за буквой элемента цифра не ставится. Марганец и кремний входят в состав каждой стали, и буквами Г и С отмечается повышенное содержание этих элементов в стали сверх обычного.

Например, марка стали 15ГС означает, что сталь содержит в среднем 0,15% углерода и имеет повышенное содержание марганца и кремния. Марка стали 12Х18Н10Т обозначает содержание в этой стали в среднем до 0,12% углерода, в среднем 18% хрома, 10% никеля и менее 1% титана.

Трубы из качественной углеродистой стали применяются для трубопроводов с температурой до 450 °С; из низколегированной стали, перлитного класса - с температурой до 560 °С; высоколегированных сталей аустенитного класса - до 700 °С. Высоколегированные аустенитные стали характеризуются высокой стойкостью против коррозии, в связи с чем их называют коррозионностойкими или нержавеющими.

Металл трубных заготовок в процессе получения из них труб подвергается механическим и температурным воздействиям, вследствие чего его свойства в готовых трубах могут отличаться от свойств исходного материала заготовки. Поэтому готовые трубы должны подвергаться испытаниям и иметь гарантируемые (нормируемые) свойства в соответствии с нормативными документами на их поставку.

Размеры труб определяются ГОСТом или ТУ на их сортамент, а качество - соответствующим ГОСТом или ТУ на технические требования к этим трубам. ГОСТ на сортамент лимитирует диаметр труб, толщину стенки, длину, а также содержит данные по овальности, кривизне, разностенности и допускаемые отклонения по этим параметрам. Но в ГОСТах отсутствует информация о том, выпускается труба определенного типоразмера или нет - для этого существуют номенклатурные перечни и технические условия (ТУ) заводов - изготовителей.

ГОСТ или ТУ на технические требования к трубам определяют: марку и химический состав, гарантируемые механические свойства материала в готовых трубах, необходимость и режим термической обработки, виды испытаний, условия поставки, маркировку и т.д. В таблице 3.1 приведены требования стандартов к качеству труб в зависимости от

группы поставки. Знак «+» означает, что показатель нормируется, а знак «-» - не нормируется.

Таблица 3.1

Группы поставки труб по ГОСТ 10705-80 и ГОСТ 8733-74

Группа поставки	Химический состав	Механические свойства	Давление при гидроиспытании	Примечание
А	-	+	+	Только для электросварных труб
Б	+	-	+	
В	+	+	+	
Г	+	+ На термообработанных образцах	+	Только для бесшовных труб
Д	-	-	+	
Е	+	+ На трубах полностью термообработанных	+	Только для бесшовных труб

Чугунные трубы. Оливаются из серого чугуна с наполнителем из шаровидного графита или специальных чугунов (высокохромистого, из ферросилида и антихлора). Трубы изготовляют бесшовными диаметром от 50-ти до 1200 *мм* (для технологических трубопроводов применяются в основном трубы диаметром до 350-ти *мм*). Трубы выпускаются на расчетное давление до 1,6 *МПа* и могут применяться в диапазоне температур от 0 до +300 °С (из специальных чугунов до 550 °С).

Используются в основном для транспортировки серной кислоты, сернистого газа, натриевых и сульфатных щелоков и других продуктов, вызывающих разрушение стальных труб, а также для линий производственных водопроводов и канализаций. Недостатком чугунных труб является их высокая плотность (они тяжелые), хрупкость, невысокая технологичность при обработке.

Трубы из цветных металлов. В виду их сравнительно высокой стоимости для технологических трубопроводов применяют ограниченно.

Трубы из алюминия и его сплавов отличаются малой плотностью (2,7 *г/см*^{3}) и относительно высокой коррозионной стойкостью ко многим кислотам при комнатной температуре (18-20 °С). С повышением температуры коррозионная стойкость и прочность труб снижаются, допустимый интервал температур от -196 до +150 °С. Алюминиевые трубы диаметром от 10 до 270 *мм* изготавливают бесшовными, диаметрами от 108 до 1012 *мм* сварными на давление до 0,25 *МПа*.

Медные трубы применяются в технологических процессах для транспортировки агрессивных продуктов, а также на установках глубокого охлаждения (при низких температурах медь сохраняет пластические свойства в отличие от стали). Допустимый интервал температур транспортируемого продукта от -196 до +250 °С. Трубы изготавливаются бесшовными диаметром от 6 до 360 *мм* и сварными диаметром от 410 до 510 *мм* на давление до 0,6 *МПа*.

Латунные трубы обычно служат для транспортировки коррозионно -активных сред при низких температурах. Допустимый интервал температур от -196 до +250 °С. Трубы изготавливаются бесшовными диаметром от 3 до 195 *мм* и диаметром от 103 до 1012 *мм* сварными на давление до 0,6 *МПа*.

Свинцовые трубы, обладающие высокой коррозионной стойкостью, применяют преимущественно для транспортировки серной и соляной кислот низкой концентрации и хлора. Предельно допустимая температура +140 °С. Свинцовые трубы диаметром от 18 до 170 *мм* изготовляют бесшовными. Трубы диаметром до 60 *мм* поставляют в бухтах.

Трубы из титановых сплавов применяются для трубопроводов, транспортирующих агрессивные продукты, в том числе азотную кислоту. Титан - прочный и легкий сплав (плотность 4 *г/см*^{3}). Сплавы из титана в два - три раза прочнее алюминиевых и прочнее легированной стали. Трубы диаметром от 83 до 480 *мм* изготавливаются из титановых сплавов ВТ1-0, ОТ4-1, ОТ4 и других бесшовными.

3.1.2 Трубы из неметаллических материалов

Применяют для транспортировки различных агрессивных продуктов, разрушающих стальные трубы. В последнее время для технологических трубопроводов все шире используются трубы из пластмасс. Некоторые конструкторы ошибочно считают пластмассы дешевыми заменителями металлов, тогда как стоимость, например, тонны полипропилена в два с лишним раза выше, чем чугуна и стали. Пластмассы применяют не потому, что они дешевле, а потому, что они обладают целым рядом конструкционных преимуществ по сравнению с металлами.

Это малая плотность, высокая технологичность при изготовлении, обработке и сварке, хорошие тепло- и электроизоляционные свойства, стойкость против коррозии, малый коэффициент трения (пропускная способность пластмассовых труб выше, чем у стальных, т.к. коэффициент трения продукта о стенки труб в них в 1,5÷2 раза ниже).

Недостаток пластмассовых труб - сравнительно небольшая теплостойкость, ползучесть под воздействием длительных постоянных нагрузок и старение материала.

Трубы из полиэтилена. Наиболее широко распространены по сравнению с трубами из других видов пластмасс, т.к. они значительно (на 40%) легче поливинилхлоридных, морозостойки (до -60 °С) и эластичны. Для технологических трубопроводов используются полиэтиленовые трубы, содержащие в качестве стабилизатора цвета газовую канальную сажу.

Трубы из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и низкой плотности (ПЭНП) в зависимости от допустимых рабочих давлений выпускают следующих типов: Л (легкий) - 0,25 *МПа*, СЛ (средне легкий) - 0,4 *МПа*, С (средний) - 0,6 *МПа* и Т (тяжелый) - 1 *МПа*. Допустимый интервал температур для труб из ПЭВП от -65 до +60 °С, для труб из ПЭНП - от -30 до +40 °С. Трубы из ПЭВП изготовляются диаметром от 10 до 630 *мм*, а из ПЭНП - от 10 до 60 *мм*.

Трубы из поливинихлорида. Выпускаются из не пластифицированного поливинилхлорида (НПВХ). Используются для транспортировки воды, воздуха и агрессивных продуктов. Допустимый интервал температур от 0 до +50 °С. Трубы используются от 10 до 450 *мм*. В зависимости от допустимых рабочих давлений выпускаются следующие типы труб: Л (легкий) - 0,25 *МПа*, СЛ (средне-легкий) - 0,4 *МПа*, С (средний) - 0,6 *МПа*, Т (тяжелый) - 1*МПа* и ОТ (особо тяжелый) - 1,6 *МПа*.

Трубы из фторопласта. Служат для транспортировки агрессивных продуктов при давлении до 0,5 *МПа* и температуре от -195 до +260 °С, за исключением расплавленных щелочных металлов, трехфтористого хлора и элементарного фтора. По химической стойкости фторопласт-4 превосходит все известные металлы, в том числе золото и платину. Трубы из этого материала выпускаются диаметром от 32 до 430 *мм*.

Трубы из полипропилена. Используются для транспортировки жидких и газообразных, коррозионно-активных продуктов, к которым этот материал химически стоек при температурах от -10 до 100°С. Напорные трубы выпускаются диаметром от 32 до 315 *мм* из термо- и светостабилизированного полипропилена трех типов в зависимости от максимального рабочего давления: Л (легкий) - 0,25, С (средний) - 0,5 и Т (тяжелый) - 1 *МПа*. Основное преимущество полипропилена по сравнению с поливинилхлоридом в том, что при повышенных температурах (до 100 °С) его механические свойства изменяются незначительно.

Трубы из фаолита. Обладают высокой химической стойкостью к кислым агрессивным продуктам. Из всех применяемых пластмасс, кроме фторопласта-4, только фаолитовые изделия химически стойки к бензолу. Для технологических трубопроводов применяются трубы, изготовленные из кислостойкой фаолитовой массы марок А (наполнитель - антофилитовый асбест) и Г (наполнитель - графит).

Допустимый интервал температур транспортируемого продукта для труб из фаолита от 0 до +140 °С и расчетное давление - до 0,6 *МПа*. Трубы изготовляются диаметром от 32 до 350 *мм*. Недостаток - большая хрупкость, поэтому при транспортировке и монтаже их следует оберегать от ударов.

Трубы из графитопласта. Используют для транспортировки 75%-ной серной кислоты, соляной кислоты любой концентрации, 100%-ного хлорбензола и некоторых других продуктов при температуре до 115 °С. Графитопластовые трубы диаметром от 32 до 74 *мм* способны выдерживать, не разрушаясь, резкие температурные перепады, но вместе с тем они обладают повышенной хрупкостью.

Трубы из стекла и стеклопластика. Служат для транспортировки продуктов с различными физико-химическими свойствами (за исключением плавиковой кислоты, которая растворяет стекло) и температурой от -50 до +200 °С под давлением: для жидких и твердых сред - до 0,6 *МПа*, для газообразных - до 1 *МПа*. Стеклянные трубы выпускают диаметром от 40 до 200 *мм*. Они гигиеничны, легко очищаются моющими средствами; их прозрачность позволяет вести наблюдение за транспортируемым продуктом. К недостаткам следует отнести повышенную хрупкость и небольшую термическую стойкость к перепадам температур.

Трубы из стеклопластика обладают высокой прочностью и хорошими электроизоляционными свойствами. Трубы выпускаются диаметром от 50 до 1000 *мм* и используются в основном для транспортировки агрессивных продуктов.

Трубы керамические и камнелитые. Керамические кислотоупорные трубы применяются для кислото- и газопроводов. Обладают высокой стойкостью ко всем минеральным и органическим кислотам (за исключением плавиковой). Изготавливают трубы диаметром от 25 до 300 *мм*.

Камнелитые трубы служат для транспортировки абразивных и агрессивных материалов (золы, шлама, пульты и т.п.) при температуре от -50 до +50 °С. Получают эти трубы из расплавленных горных пород способом центробежной отливки с последующей термообработкой. Трубы выпускают диаметром от 150 до 400 *мм*.

3.1.3 Стальные трубы с защитным покрытием

Такие трубы являются высокоэффективными заменителями труб из легированных сталей и цветных металлов. По конструкции они выполняются двухслойными, состоящими из наружной оболочки (стальной трубы) и внутренней - плакирующего слоя меди (биметаллические) или слоя из неметаллического материала (футерованные, эмалированные,

гуммированные). Наружная оболочка обеспечивает необходимую прочность, а внутренняя - стойкость против коррозии.

Гуммированные трубы предназначены для транспортировки 70%-ной серной, 85%-ной фосфорной, 15%-ной азотной, соляной и плавиковой кислот любой концентрации и многих других продуктов, включая газы при температуре от -30 до +60 °С с давлением до 1 *МПа*. Гуммирование осуществляют путем покрытия внутренней поверхности труб резиной, эбонитом или полуэбонитом с последующей вулканизацией в автоклавах или другими способами. Наиболее распространены трубы, гуммированные резиной.

Трубы, футерованные полиэтиленом высокой плотности, применяют для транспортировки жидких и газообразных продуктов при температуре от 0 до +90 °С. Футеровку стальных труб производят на специальных заводах предварительно напряженными полиэтиленовыми трубами или совместным волочением. Обычно применяют трубы диаметрами от 25-ти до 150-ти *мм*.

Трубы, футерованные фторопластом-4, используют на диаметрах от 25-ти до 400-т миллиметров для транспортировки агрессивных продуктов при температуре от -60 до +150 °С и давлениях до 0,5 *МПа*, за исключением расплавленных щелочных металлов, трехфтористого хлора и элементарного фтора.

Трубы, футерованные камнелитыми вкладышами, диаметром 150÷400 *мм* применяют для гидравлической и пневматической транспортировки абразивных материалов в самотечных и напорных системах при температурах до +50 °С и давлениях до 1 *МПа*. Внутреннюю поверхность труб футеруют путем установки вкладышей на бетонной связке марки бетона не ниже М50.

Биметаллические трубы диаметром 6÷50 *мм* используют для транспортировки агрессивных сред, к которым медь химически стойка. Наружную стальную оболочку изготовляют из холоднодеформированных труб марки 10 и 20, а внутреннюю - из меди марки М3р.

Эмалированные трубы диаметром 50÷150 *мм* применяют для транспортировки жидких и газообразных агрессивных и слабоагрессивных продуктов, в том числе: растворов неорганических и органических кислот и их солей (за исключением плавиковой, кремнефтористоводородной, концентрированной фосфорной кислот и фтористых соединений), а также щелочных растворов при температуре от -10 до +200 °С и давлении до 0,6 *МПа*. Стеклоэмалевое покрытие наносят на внутреннюю поверхность труб и деталей в виде жидкой массы с последующим обжигом.

3.2 Детали трубопроводов

К трубопроводным деталям относятся: отводы, тройники, переходы, заглушки (днища). Основные типы и размеры деталей стандартизованы.

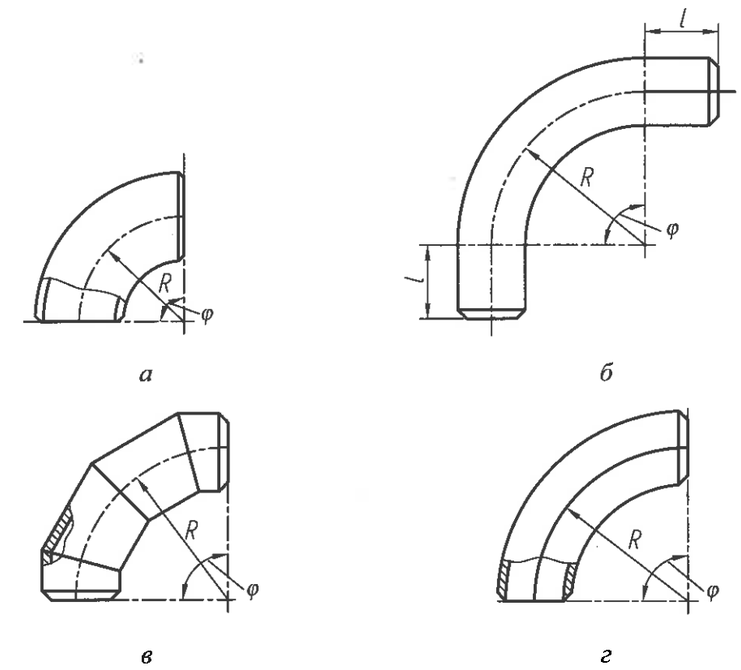


Рис. 3.1. Отводы
а – крутоизогнутый; *б* – гнутый; *в* - сварной (секционный), *г* - штампосварной

3.2.1 Отводы (колена)

Служат для изменения направления транспортируемого продукта. По конструкции и способу изготовления подразделяются на крутоизогнутые и гнутые, штампосварные и сварные секционные.

Гнутые отводы (рис. 3.1, *б*) изготавливают из бесшовных и электросварных труб гибкой на трубогибочных станках в холодном и горячем состояниях. Чтобы уменьшить утонение стенок труб в процессе гибки, такие отводы выпускают радиусом гиба не менее 2,5-3 *DN*. На концах гнутые отводы имеют прямые участки, что вызвано технологией гибки. Минимальная длина прямых участков определяется по условиям закрепления трубы в процессе гнутья.

Гидродинамическое сопротивление гнутых отводов меньше, чем крутоизогнутых. Поскольку изготовление гнутых отводов более трудоемко, их рекомендуется применять для уменьшения гидравлического сопротивления, а также на трубопроводах из сталей, об-

ладающих недостаточной пластичностью и трубопроводах высокого давления (толстостенных).

Сварные (секционные) отводы изготавливают из бесшовных и электросварных труб путем вырезки отдельных секций и их последующей сборки и сварки. Секции могут иметь разные углы скоса, зависящие от требуемого угла поворота и количества секций (рис. 3.1, *в*). Радиус сварных отводов обычно составляет 1-1,5 *DN*. Из-за большого числа сварных швов надежность работы сварных отводов не высока. Поэтому их рекомендуют применять только в тех случаях, когда отсутствуют крутоизогнутые и нет возможности использовать гнутые отводы (трубопроводы больших диаметров), а избыточное давление в трубопроводе не превышает 4,0 *МПа*.

Штампосварные отводы изготовляют из листовой стали путем штамповки С-образных скорлуп на прессах с последующей сваркой двух продольных швов (рис. 3.1, *г*). Такие отводы используют вместо сварных секционных на трубопроводах больших диаметров.

Стандартизованные отводы всех перечисленных конструкций имеют центральный угол 45°, 60° и 90°. Гнутые отводы, кроме того, могут иметь углы 15° и 30°, а сварные и штампосварные - 30°.

3.2.2 Ответвления (врезки, тройники)

Служат, как правило, для отвода части транспортируемого продукта к другому потребителю (элементу технологической схемы). Иногда используются для слияния потоков (сборные коллекторы)

При врезке ответвляемого трубопровода в основной сечение в месте врезки ослабляется отверстием. Соединение трубопровода, для которого это ослабление компенсируется имеющимся запасом прочности основного трубопровода, выполняется врезкой трубы в трубу (рис. 3.2, *а*). Такая врезка может быть выполнена, когда толщина стенки трубы основного трубопровода имеет большой запас прочности по расчету на внутреннее давление и когда для ответвляемого трубопровода требуется сравнительно малое отверстие по отношению к основному (примерное соотношение диаметров ответвления и магистрали ≤ 0,6).

Если это ослабление не компенсируется запасом прочности основного трубопровода, то делается специальное усиление. В зависимости от внутреннего давления, марки материала и диаметров способы усиления могут быть различными: усиленным (толстостенным) штуцером (рис. 3.2, *б*), усиленным (толстостенным) корпусом (рис. 3.2, *в*), усиленной накладкой (рис. 3.2, *г*). Врезки, усиленные накладкой, обычно изготовляют в виде отдельных сварных Т-образных элементов на давление свыше 4 *МПа*.

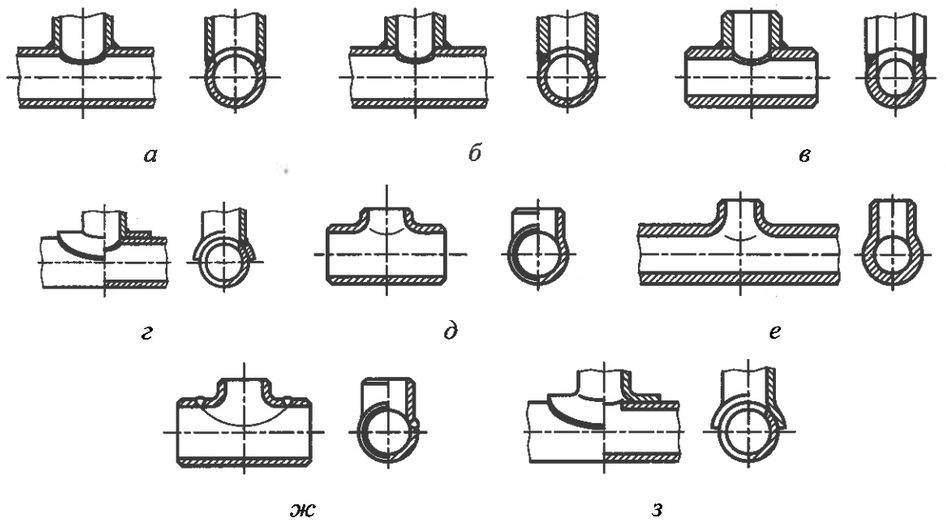


Рис. 3.2. Ответвления
а – врезка; *б, в* – тройник сварной; *г* – врезка усиленная накладкой; *д, е* – тройник штампованный; *ж* – ответвление с врезной седловиной, *з* – ответвление с накладной седловиной.

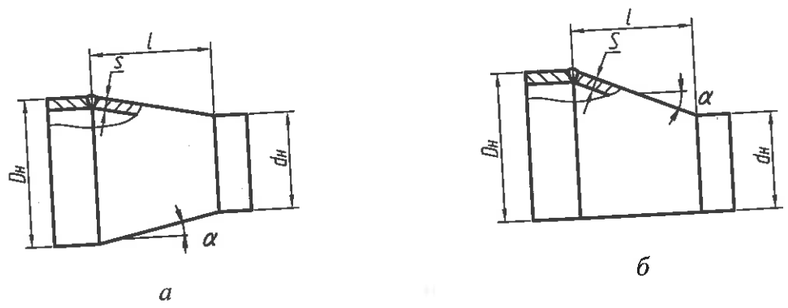
Высокая прочность и надежность ответвлений достигается за счет бесшовного сопряжения горловины. Такие ответвления получают с помощью штампованных тройников (рис. 3.2, *д*), отбортовкой штуцеров в трубах (рис. 3.2, *е*), врезных и накладных седловин (рис.3.2, *ж, з*). Штампованные бесшовные тройники целесообразно применять при соотношениях диаметров основного трубопровода к ответвляемому от 1 до 0.7, а седловины и отбортовку горловины в трубах – от 0.6 и менее. Штампованные сварные тройники изготавливают из листовой стали методом горячей штамповки с отбортовкой горловины и последующим выполнением продольных швов на корпусе. Такие тройники используют на трубопроводах больших диаметров.

3.2.3 Переходы

Это детали трубопровода, с помощью которых осуществляется переход с одного диаметра трубопровода на другой. При соосном соединении труб переходы выполняются концентрическими, а при параллельно сдвинутых осях соединяемых труб - эксцентрическими (рис. 3.3). Концентрические переходы применяют преимущественно на вертикальных участках трубопроводов, а эксцентрические переходы - на горизонтальных. Использование эксцентрических переходов позволяет избежать образования «мешков» в трубопроводе, облегчает удаление продукта из трубопровода при его отключении. По конструкции переходы делятся на бесшовные, сварные и лепестковые.

Бесшовные изготовляются из трубы путем обжима или раздачи, а также из листа путем штамповки с последующей пробивкой отверстия и его отбортовкой.

Сварные переходы изготавливают из листовой стали штамповкой двух половин или вальцовкой с последующей сваркой продольного стыка. Сварные переходы применяют преимущественно на трубопроводах больших диаметров.



а *б*

Рис. 3.3. Переходы сварные
а - концентрический; *б* - эксцентрический

Лепестковые переходы могут применяться для трубопроводов средних и больших диаметров при отсутствии листовых и штампованных на давление до 1,6 МПа. Изготавливают их следующим образом: в торце трубы вырезают клинья определенного размера, затем трубу обжимают и стыки трубы сваривают между собой.

3.2.4 Заглушки и днища

Наиболее часто заглушки и днища применяются для закрытия сечений на концах трубопроводов. В зависимости от конструкции выполняются приварными (с ребрами жесткости и без них), фланцевыми и поворотными. Последние устанавливаются при необходимости периодического закрытия и открытия сечения трубопровода.

Деталь поворотной заглушки - «восьмерки» состоит из двух дисков, вырезанных из листа: сплошного и плоского кольца между которыми имеется отверстие для поворотной оси (рис. 3.4). «Восьмерка» зажимается на трубопроводе между двух фланцев. Верхняя шпилька фланцевого соединения одновременно выполняет роль поворотной оси. Когда сечение трубопровода открыто, между двумя фланцами зажато плоское кольцо, когда закрыто - сплошной диск. Для закрытия сечения фланца крепежные детали фланцев полностью развинчивают и снимают, за исключением верхнего крепежа, служащего поворотной осью. "Восьмерку" поворачивают на верхнем крепеже вокруг ее оси так, чтобы между двумя фланцами встал ее сплошной диск. Затем крепежные детали снова собираются и затягиваются. Работа по замене сечения заглушки возможна только при отключении трубопровода с помощью запорной арматуры, устанавливаемой по направлению движения продукта до заглушки.

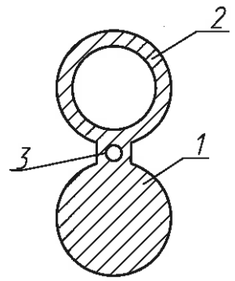


Рис. 3.4. Заглушка «восьмерка»
1 – сплошной диск; 2 – плоское кольцо; 3 – поворотная ось.

Заглушка «восьмерка» является самым простым, компактным и дешевым устройством, используемым для ревизии и ремонта участков трубопроводов.

3.3 Соединения трубопроводов

Соединения трубопроводов бывают неразъемные и разъемные. К неразъемным относятся соединения, полученные путем сварки, пайки, склеивания или прессования, к разъемным - фланцевые, резьбовые, раструбные и т.п.

Выбор соединения трубопроводов зависит от свойств транспортируемого продукта (агрессивность, токсичность, способность к застыванию или выпадению осадка), условий эксплуатации (герметичность, огне- и взрывобезопасность, необходимость частых разборок), давления и температуры.

Приведенные в настоящем параграфе типы разъемных соединений не охватывают все многообразие соединений, применяемых на практике (например, дюритовые, бугельные и др.), но они являются наиболее распространенными в технологических трубопроводах на давление до 10 *МПа*.

3.3.1 Сварные соединения в трубопроводах

Это наиболее распространенный тип неразъемных соединений. Их отличает высокая степень прочности, плотности и надежности. При сварке технологических трубопроводов используют различные виды сварных соединений: стыковые, угловые, в нахлестку (рис. 3.5). Стыковые соединения в трубопроводах могут иметь продольное и поперечное расположение шва.

По характеру выполнения швы разделяются на односторонние, двусторонние и односторонние с подкладным кольцом. Трубопроводы диаметром до 500 *мм* сваривают только односторонним швом. Двусторонний шов, т.е. с подваркой корня шва с внутренней

стороны для повышения прочности соединения, применяют для трубопроводов с диаметром 600 *мм* и более. Применение подкладных колец ограниченно, так как они повышают трудоемкость сварки, уменьшают проходное сечение трубопровода и вызывают дополнительное гидравлическое сопротивление.

Угловые сварные соединения применяются для приварки штуцеров, плоских фланцев и т.д. Выполняются без скоса и со скосом кромок при изготовлении деталей трубопроводов, а также при сварке деталей с трубами. Соединения в нахлестку, в раструб или с муфтой менее прочны, чем стыковые сварные, и применяются в основном для небольших диаметров $DN \leq 40$ *мм*. Такие соединения используются также при сварке труб из цветных металлов и неметаллических материалов, а также при пайке.

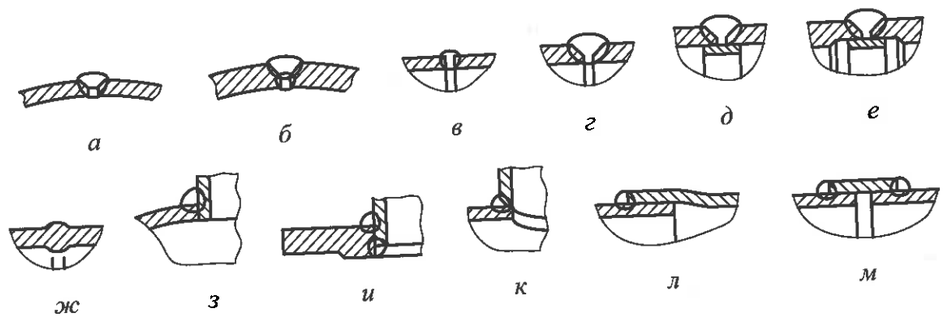


Рис. 3.5. Сварные швы
а, б, в, г – стыковые односторонние швы; *д, е* – стыковые односторонние швы с подкладным кольцом; *ж* - стыковой двусторонний шов; *з, и*, *к* – угловые швы; *л, м* – швы в нахлестку

Процесс электродуговой сварки основан на заполнении шва между свариваемыми трубами или их деталями металлом расплавленного электрода или сварочной проволоки. На небольшом участке в зоне термического влияния наблюдается резкое изменение структуры и механических свойств металла. Это приводит к возникновению внутренних напряжений, которые сохраняются в холодном металле после остывания шва. В сварных соединениях, полученных таким способом, кроме того, могут наблюдаться следующие дефекты: несплавление наплавленного и основного металла, непровары по толщине свариваемых изделий, раковины и шлаковые включения, трещины и т.п.

Высокое качество сварных соединений достигается целым комплексом перечисленных ниже мероприятий.

1) Сварка трубопроводов в зависимости от марки материала труб и их деталей производится различными способами (ручная электродуговая; полуавтоматическая в среде

углекислого газа; ручная, автоматическая и полуавтоматическая аргоннодуговая и т.д.), с применением различных материалов (электродов, сварочной проволоки).

2) Кромки свариваемых торцов труб и их элементов перед процессом сварки специально обрабатываются. Форма разделки кромок и область применения того или иного типа шва назначаются в зависимости от марки материала, диаметра и толщины стенки труб и вида сварки.

3) Для снятия остаточных напряжений после сварки применяется термическая обработка, в результате которой происходит выравнивание структур наплавленного металла шва, околошовной зоны и основного металла. Нагрев труб при термической обработке в условиях монтажа и ремонта производится газопламенным, индукционным или электропечным способом.

4) Осуществляется контроль качества сварных соединений разрушающими и неразрушающими методами: внешним осмотром и измерением, механическими испытаниями образцов на растяжение, загиб и т.д.; металлографическими исследованиями: просвечиванием проникающим излучением, ультразвуковой дефектоскопией и т.д. Выбор метода контроля и его объем в зависимости от категории трубопровода и параметров транспортируемой среды регламентируются техническими условиями и отраслевыми стандартами. Чем выше категория, тем больше объем испытаний.

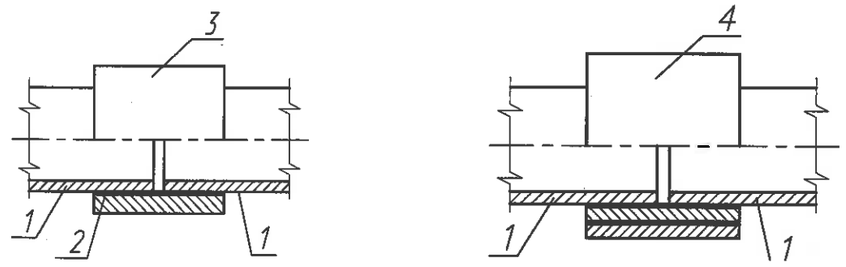


Рис. 3.6. Клеевое соединение
а – муфтовое; *б* - бандажное
1- труба, *2* – клеевая поверхность, *3* - муфта, *4* – бандаж

3.3.2 Клеевые соединения

Применяются в трубопроводах малого диаметра для соединения труб из стали; цветных металлов и неметаллических материалов.

Для склеивания обычно используют эпоксидные клеи холодного отверждения. Основные типы соединений муфтовое (рис. 3.6, *а*), раструбное и бандажное (рис. 3.6, *б*).

Клеевое соединение бандажного типа получают в результате многослойной намотки на концы стыкуемых труб ленты из стеклоткани с нанесенным на нее слоем эпоксидного клея.

3.3.3 *Фланцевые соединения*

Состоят из двух фланцев, прокладки или уплотнительного кольца, соединительных болтов или шпилек и гаек (рис. 3.7). Герметичность соединения достигается с помощью прокладок из упругого материала, установленных между торцевыми поверхностями фланцев. Конструкция фланцев зависит от рабочих параметров и физико-химических свойств транспортируемой среды и других факторов.

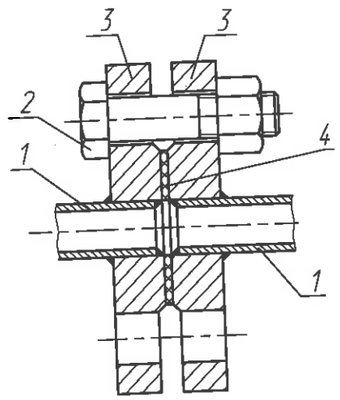


Рис. 3.7. Фланцевое соединение
1 – труба; *2* – болт; *3* – фланец; *4* – уплотнительное кольцо (прокладка)

Фланец может устанавливаться на трубе не только с помощью сварки, но и на резьбе. Применяются также фланцы свободно сидящие на трубе или удерживаемые на ней за счет отбортовки концов трубы или приваренных к трубам колец.

Основные недостатки фланцевых соединений.

1) Недостаточная прочность и долговечность мягких прокладок. Для обеспечения необходимой плотности фланцевого соединения мягкие прокладки сжимаются до напряжений, превышающих предел текучести их материала. Под действием внутреннего давления и температуры в трубопроводе мягкие прокладки перенапрягаются и разрушаются. Правила безопасности рекомендуют применять фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью и мягкими прокладками при давлениях не выше 2,5 *МПа*.

В более широком диапазоне давлений гладкие уплотнительные поверхности применяется в сочетании со спирально-навитыми прокладками, имеющими ограничительные

кольца, что существенно повышает надежность фланцевого соединения и позволяет использовать их на давление до 25 *МПа*. При этом шероховатость плоскости присоединения фланца должна отвечать определенным требованиям и обеспечивать наилучшее сцепление поверхностей фланца и прокладки.

У фланцев с прокладками, утопленными во впадины, работе прокладки помогает борт впадины. Но и эта конструкция не обеспечивает полной надежности фланцевого соединения в течение длительного времени. Подробнее о поверхностях фланцевых соединений и разновидностях прокладок смотрите раздел 3.4.

2) При затяжке фланцевых соединений болты и шпильки работают с высоким напряжением, вследствие чего после длительной работы в них возникают остаточные деформации, приводящие к ослаблению затяжки болтов и к нарушению плотности соединения.

3) При различных коэффициентах теплового расширения металла фланцев и болтов (шпилек), могут возникнуть условия, когда удлинение болтов превышает удлинение фланцев. В результате может произойти ослабление затяга и нарушение плотности фланцевого соединения. Поэтому применять фланцы и болты (шпильки) из разного материала допускается при рабочей температуре, не превышающей 100 °С. При более высокой температуре применение разных материалов необходимо обосновать расчетом.

4) При наличии изгибающих моментов фланцевое соединение работает на изгиб, что может привести к его разуплотнению (раскрытию).

5) Большой расход металла, высокая стоимость изготовления и эксплуатации по сравнению с другими типами соединений.

Фланцы применяются для присоединения трубопроводов к фланцевой арматуре и штуцерам (входным и выходным патрубкам) оборудования, на трубопроводах, требующих периодической разборки для чистки отложений или замены участков из-за повышенной коррозии, на временных участках трубопровода, которые периодически демонтируются.

3.3.4 *Резьбовые соединения*

В технологических трубопроводах применяют ограниченно в основном на трубопроводах малых диаметров. Наиболее распространены муфтовые и штуцерные резьбовые соединения.

В муфтовом соединении (рис. 3.8), применяемом в основном для водогазопроводных труб, на конце одной трубы нарезается удлиненная резьба (сгон), на которой полностью могут поместиться муфта и контргайка, а на конце второй трубы - резьба длиной, равной примерно половине длине муфты. Трубы соединяются путем свинчивания муфты

со сгона на другой конец трубы до конца резьбы. Чтобы обеспечить необходимое уплотнение в резьбе, применяют ленту из полимерных материалов, паклю или лен на сурике либо белилах и поджимают контргайку.

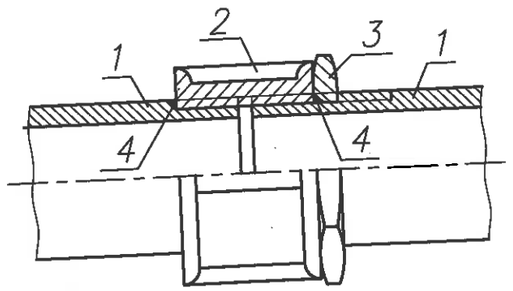


Рис. 3.8. Муфтовое резьбовое соединение
1 – труба; *2* – муфта; *3* – контргайка; *4* - уплотнение.

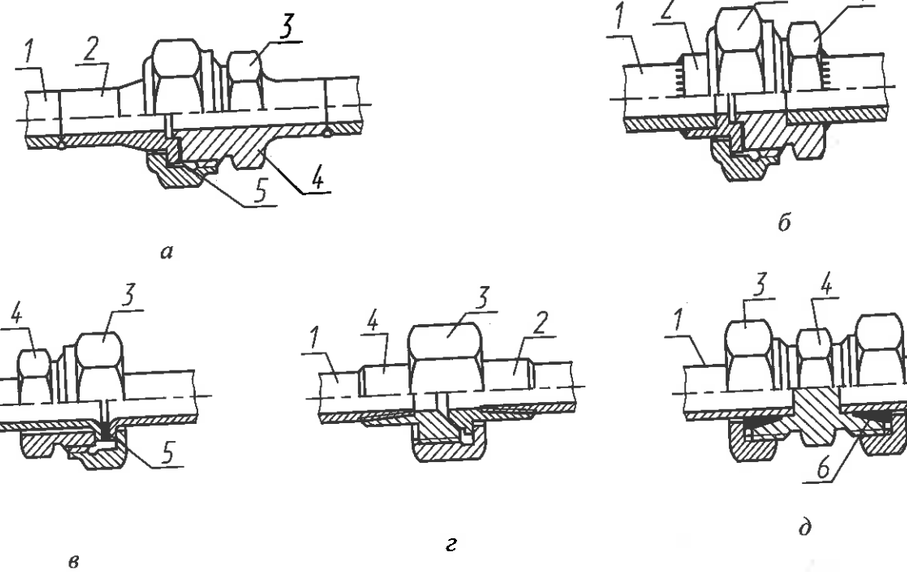


Рис. 3.9. Штуцерные резьбовые соединения труб
а – приварное встык, *б* – приварное внахлестку; *в* - на отбортованных трубах;
г – на конической резьбе; *д* – с врезающимся кольцом
1 – соединяемые трубы; *2*- ниппель, 3 – накидная гайка; 4 – штуцер;
5 – прокладка; 6 – врезающееся кольцо

Штуцерные резьбовые соединения подразделяются на приварные и не приварные (рис. 3.9). Герметичность штуцерных соединений достигается с помощью прокладок или непосредственного контакта сфероконических поверхностей. В трубопроводах смазочных систем, а также контрольно-измерительных приборов и автоматики широко применяют соединения с врезающимся кольцом. Соединяемые трубы обжимаются кольцом по наружной поверхности, при этом оно врезается в трубу и обеспечивает необходимую плотность и прочность.

В цапковом соединении (применяется главным образом в судостроении) конец одной трубы имеет наружную резьбу с буртиком под уплотнение, а другой – свободно вращающуюся гайку с ограничителем. Трубы соединяются путем навинчивания гайки до упора ее ограничителя в буртик. Уплотнение обеспечивается прокладкой или навивкой из полимерных материалов, пакли или льна.

На резьбе также соединяются трубопроводы из винипласта и стальных футерованных труб.

3.3.5 Раструбные соединения

Используются в основном при прокладке трубопроводов из хрупких материалов - чугуна, керамики, пластмассы, асбоцемента и т.п. (рис. 3.10).

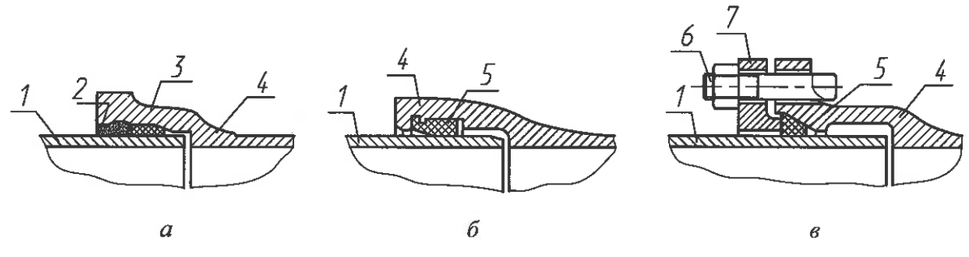


Рис. 3.10. Раструбные соединения
а – с заделкой пеньковой прядью и цементом; *б* – с резиновым уплотнителем;
в – с нажимным фланцем и резиновым уплотнителем
1 – гладкий конец трубы, 2 – цемент; 3 – пеньковая прядь; 4 – раструб; 5 – резиновый уплотнитель; 6 – болт, 7 – нажимной фланец

Гладкий конец трубы вставляется в раструб. Кольцевое пространство заделывают сначала пеньковой прядью, а затем цементным раствором. Для фаолитовых и керамических трубопроводов транспортирующих агрессивные продукты, раструбные стыки заполняют кислотоупорным материалом (например, асбестом) или кислотоупорной замазкой.

Недостатками такого соединения являются: трудность разъема, слабая герметичность (особенно при повышенном внутреннем давлении), высокая трудоемкость зачеканки соединения. Раструбные соединения для чугунных труб применяют при рабочих давлениях не выше 1 *МПа*. Раструбные соединения с резиновым уплотнителем создают более надежную герметичность. Такие соединения требуют меньшего времени на сборку-разборку и обеспечивают лучшее восприятие температурных расширений труб.

3.4 Фланцы и прокладочные материалы, крепежные детали

Фланцевое соединение относится к категории наиболее распространенных разъемных соединений, что объясняется легкостью сборки и разборки, а также широким распространением фланцевой трубопроводной арматуры. Основным элементом, обеспечивающим герметичность такого соединения, является прокладка. Чтобы улучшить условия ее работы в зависимости от давления в трубопроводе и физико-химических свойств транспортируемого продукта, уплотнительным поверхностям фланцев придают специальную форму.

Различают уплотнительные поверхности гладкие и с прокладками, утопленными во впадины и в паз. Гладкие уплотнительные поверхности образуют плоские фланцы и фланцы приварные встык с соединительным выступом (рис. 3.12, *а, б*). Высота соединительного выступа зависит от диаметра проходного сечения и составляет: на малых диаметрах 2-3 *мм*, на средних диаметрах 3-4 *мм* и на больших диаметрах 4-5 *мм*.

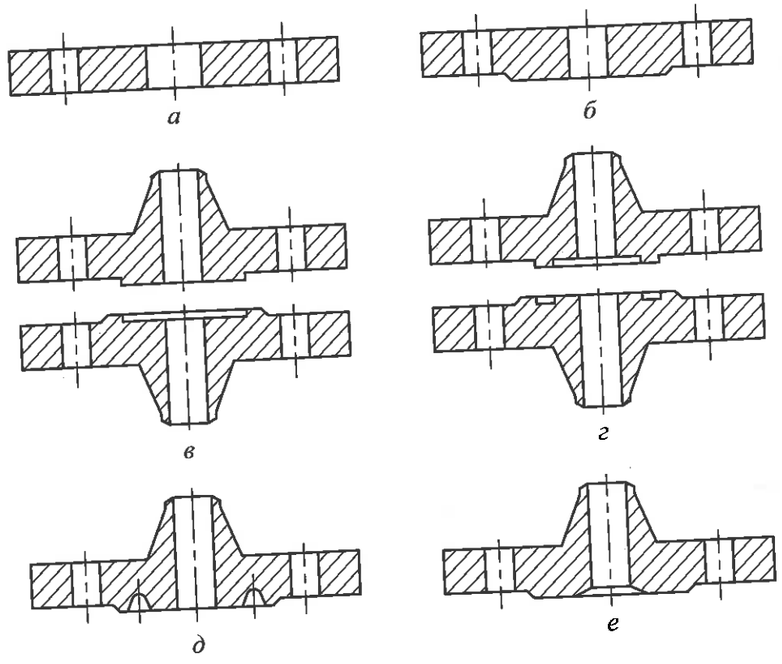


Рис. 3.12. Уплотнительные поверхности фланцевых соединений

а – гладкая по всей поверхности, *б* – гладкая с соединительным выступом; *в* – выступ – впадина; *г* – шип –паз; *д* – под прокладку овального или восьмигранного сечения; *г* – под линзовую прокладку

Достоинством гладкой уплотнительной поверхности является простота конструкции фланцев и легкая замена прокладки, а недостатком - ненадежная работа на восприятие внутреннего давления, которое стремится «выдавить» прокладку. Для повышения надежности применяются прокладки, армированные металлом, спирально-навитые, с металлическим каркасом, ограничительными кольцами и т.д.

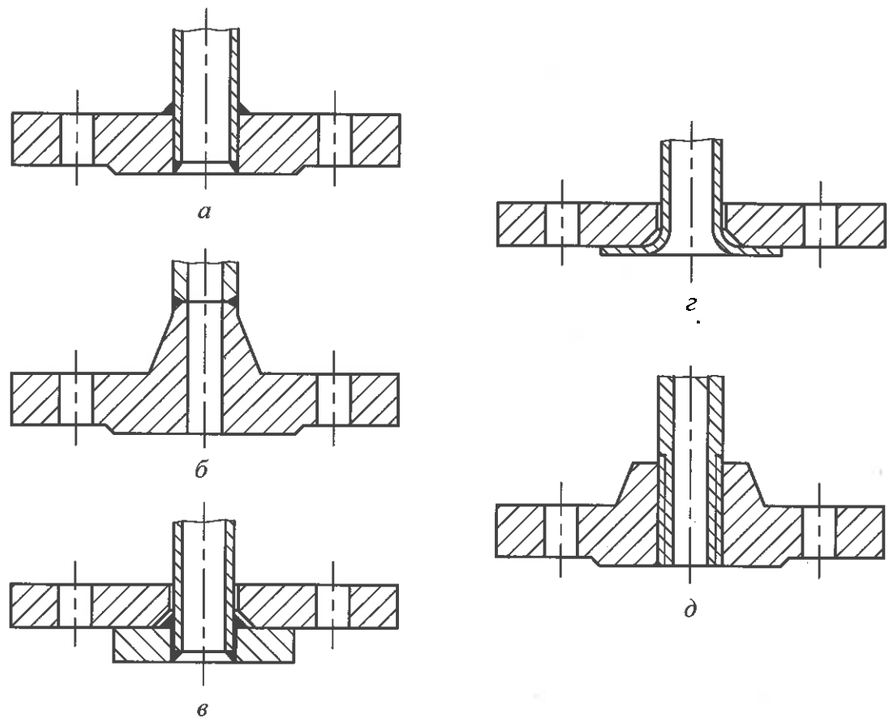


Рис. 3.13. Типы фланцев

а – плоский приварной; *б* – приварной встык; *в* – свободный на приварном кольце; *г* - свободный на отбортованной трубе; *д* – резьбовой

К уплотнительным поверхностям с прокладками, утопленными во впадины, относятся соединения типа выступ-впадина, шип-паз и с канавками под овальную (или восьмигранную) прокладку (рис. 3.12, *в, г, д, е*). Выступ на одном фланце и впадина на другом улучшают условия работы прокладки. Разрушению прокладки от внутреннего давления препятствует борт. Соединение характерно в основном для прокладок, изготовляемых из мягких материалов. Шип на одном фланце и паз на другом применяются для более надежного уплотнения и при вакууме. Уплотнительная поверхность с канавками для соединения двух одинаковых фланцев используется под овальные или восьмигранные металлические прокладки.

Плоские приварные фланцы привариваются по всему периметру трубы сплошным швом изнутри и снаружи (рис. 3.13, *а*). Такие фланцы с прокладкой по всей поверхности фланца применяются в технологических трубопроводах на давлениях до 0,07 *МПа*. По конструктивному оформлению фланцы подразделяются на круглые и квадратные. Квадратные фланцы более экономичны с точки зрения расхода материала, однако их можно применять только при четырех болтовых отверстиях во фланце, что по условиям герметичности оказывается допустимым только в трубопроводах малого диаметра и при не высоких давлениях.

Плоские приварные фланцы диаметром до двухсот миллиметров изготовляют из листа, приваренных встык - из поковок, а диаметром четыреста миллиметров и выше из бандажных заготовок или способом гибки стальной полосы на ребро на фланцегибочных станках с последующей сваркой стыка и механической обработкой

Плоские приварные фланцы обладают недостаточной жесткостью при работе на изгиб. Их не рекомендуется применять при температурах, превышающих 300ºС, т.к. они чувствительны к температурным напряжениям. Достоинством является простота конструкции.

Фланцы приварные встык или воротниковые (рис. 3.13, *б*) находят широкое применение в технологических трубопроводах из углеродистых и легированных сталей. Их конструкция позволяет производить контроль качества стыкового сварного шва с помощью рентгена и ультразвука, что практически невозможно осуществить для плоских приварных фланцев. Фланцы приварные встык могут противостоять знакопеременным изгибающим моментам в трубопроводе. Применяются на трубопроводах, работающих при условном давлении свыше 2.5 *МПа*, а также на трубопроводах с рабочей температурой выше 300 ^{0}С независимо от давления.

Свободные фланцы размещают на отбортованной трубе (рис. 3.13, *г*) или на приварном кольце (рис. 3.13, *в*). У свободных накидных фланцев, по зарубежным данным, срок службы на порядок меньше, чем у приварных встык. Достоинством является то, что такие фланцы изолированы от потока. Наиболее широкое распространение свободные фланцы получили в неметаллических трубопроводах для соединения труб с арматурой и между собой. Применяются они и на трубопроводах из легированных сталей при транспортировке агрессивных продуктов. Кольцо вытачивается из того же материала, что и труба, и приваривается к ней. При этом свободный фланец можно изготовить из более дешевой углеродистой стали.

Резьбовые фланцы (рис. 3.13, *д*) для технологических трубопроводов применяют ограниченно. Такие фланцы в основном используют в водопроводных и отопительных

системах, состоящих из водопроводных и газовых труб, а также для присоединения к резьбовой арматуре и контрольно-измерительным приборам.

Крепежные детали (болты, шпильки, гайки и шайбы) предназначены для сборки фланцевых соединений. Преимущества шпилек по сравнению с болтами: у шпилек при затяжке напряжения распределяются равномерно, а у болтов напряжения концентрируются в местах перехода стержня в головку. Кроме того шпильки можно устанавливать в труднодоступных местах.

Материал крепежных деталей выбирается в зависимости от рабочих параметров транспортируемого по трубопроводу продукта

- при давлении до 2.5 *МПа* и температуре от -30 до +425 ºС применяют сталь 20 и 25;

- при температуре от -40 до -70 ºС - сталь 14Х17Н2;

- при температуре свыше 425 до 450 ºС применяют сталь 30ХМА, 45Х14Н14В2М;

- при давлениях 40 *МПа* и более и температуре свыше 425 ºС - стали 25Х1МФ и 25Х2М1Ф.

Для предотвращения прикипания болты (шпильки) и гайки к ним лучше использовать из разного материала. Например, шпилька из стали 35, гайка из стали 25.

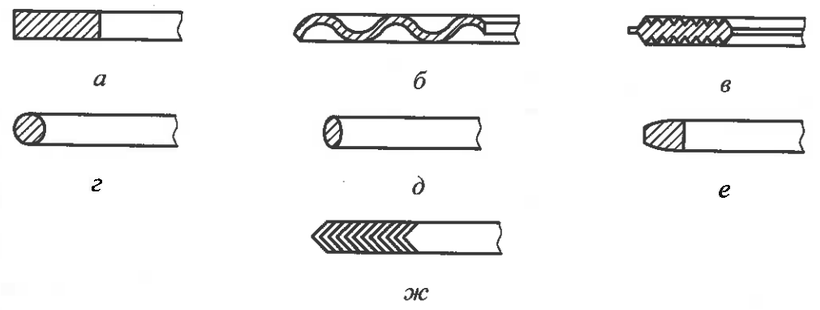


Рис. 3.14. Разновидности прокладок
а – плоская; *б* – гофрированная (волновая); *в* – зубчатая;
г – круглого сечения, *д* – овальная; *е* – линзовая; *ж* – спирально-навитая

Прокладочные материалы и прокладки, служащие для уплотнения фланцевых соединений трубопроводов и арматуры, должны обладать достаточной упругостью и прочностью, химической стойкостью в агрессивных средах и теплостойкостью. Выбор типа и материала прокладок зависит от конкретных условий работы трубопровода - температуры, давления и степени агрессивности среды. Наиболее распространенные типы прокладок показаны на рисунке 3.14.

Форма и размеры прокладки определяются конфигурацией уплотняемого соединения и ее материалом. Прокладки подразделяются на неметаллические (мягкие), металлические и комбинированные. Изготавливают их из технической резины, паронита, пластика, прокладочного и асбестового картона, фибры, фторопласта, графита, алюминия, меди, свинца и высоколегированной стали. Широко применяются плоские и гофрированные асбо-металлические и спирально-навитые прокладки с ограничительными кольцами.

Техническую резину тепло-, морозо-, кислото-, щелочестойкую (ТМКЩ) применяют при рабочих температурах от -60 °С до +80 °С, а повышенно -, масло -, бензостойкую (МБС) - от - 40 до +80 °С при давлении до 1 *МПа*.

Паронит - наиболее распространенный материал для изготовления плоских прокладок фланцевых соединений, работающих при расчетном давлении до 6,4 *МПа* и температуре до 450 °С (для взрыво- и пожароопасных производств имеются более жесткие ограничения). Различают паронит общего назначения (ПОН), паронит масло - бензостойкий (ПМБ), паронит кислотостойкий (ПКС), армированный и т.д. (ГОСТ 481-80*).

Асбестовый картон применяют в качестве прокладок при расчетном давлении до 0,15 *МПа* и температуре от -15 до +45 °С. Прокладочный картон используют при расчетном давлении до 1 *МПа* и температуре до +40 °С.

Фторопластовые прокладки используют при транспортировке агрессивных продуктов при расчетном давлении до 2,5 *МПа* и температуре от -273 до +260 °С.

Для высоких температур и агрессивных сред применяют прокладки из терморасширенного графита. По способу изготовления различают графитовый материал неармированный (МГЛ), армированный (АМГЛ) и многослойно-армированный (ММГЛ). Армирующий материал – легированная сталь, углеродистая сталь, цветные металлы; тип армирующего элемента – гладкая фольга, перфорированная фольга, сетчатый металл, металлические плоские кольца.

С целью повышения прочности графитовая прокладка может быть снабжена внутренним и/или наружным защитным кольцом, иметь оболочку из металлической фольги, из фторопласта или слюды; для улучшения свойств дополнительно используют антиадгезионные покрытия и добавки. Разнообразие свойств и конструкций графитовых прокладок позволяет подобрать нужный вариант для широкого диапазона давлений и температур.

Перспективно применение прокладок на металлическом основании. Металлическое основание покрывается с обеих сторон графитовым или другим неорганическим материалом. Металлическое основание может иметь различные формы: зубчатое (рис. 3.14, *в*), волновое (рис. 3.14, *б*), гладкое и различные конструкции: с дистанционным кольцом, с наружным и/или внутренним ограничителем сжатия. Применяются при температуре от

минус 240 °С до +800 °С (в некоторых средах до 1000 °С), максимально допустимое давление до 20 *МПа* - на уплотнительных поверхностях типа шип-паз и выступ-впадина.

Плоские алюминиевые прокладки предназначены для расчетных давлений до 4 *МПа* и температур от -196 до 250 °С., а медные - для расчетных давлений до 30 *МПа* и температур от -196 до + 250 °С (рис. 3.14, *а*).

Кольцевые прокладки овального сечения (рис. 3.14, *д*) изготовленные из стали рассчитаны на давление до 20 *МПа* и температуру от -70 до + 600 °С (подробнее см. альбом типовых конструкций ЦКБА - АТК 26-18-6-93 [42]), а комбинированные асбестометаллические плоские (рис. 3.14, *а*) и гофрированные (рис. 3.14, *б*) - на давление до 6,4 *МПа* и температуру от -70 до + 425 °С.

Спирально-навитые прокладки (рис. 3.14, *ж*) изготавливают путем навивки на оправку двух чередующихся лент V-образного профиля: основной и наполнителя. Материал основной ленты - холоднокатаная коррозионностойкая сталь, наполнителя – паронит, фторопласт или графитовый картон. Стальной каркас скрепляется по внутреннему и наружному диаметрам посредством сварки. Преимущества таких прокладок - возможность многократного применения, способность противостоять ослаблению затяга болтов, ударам, вибрации, перепадам давления и температуры. В зависимости от материала наполнителя спирально-навитые прокладки используются на давление до 25 *МПа* и температуру от -200 до +600 °С (см. ГОСТ Р 52376-2005 «Прокладки спирально навитые»).

Линзовые прокладки (рис. 3.14, *е*) применяются в системах с повышенными требованиями к безопасности фланцевых соединений на условное давление *PN* 20-100 *МПа* (200-1000 *кгс/см*^{2}) и условный диаметр *DN* от 6 до 200-от *мм* с температурой среды от -50 °С до +510 °С. Существует два вида линзовых прокладок: жесткие и компенсирующие. Жесткая линза бывает с буртом и без бурта. Компенсирующие линзы снабжены вставными разрезными кольцами и тоже имеют два исполнения: на давление до 50 *МПа* (500 *кгс/см*^{2}) и давление от 63 до 100 *МПа* (630 - 1000 *кгс/см*^{2}). Линзы и вставные кольца к ним изготавливаются из одинаковых марок стали.

3.5 Детали для присоединения контрольно-измерительных приборов и средств автоматики

Для измерения и регулирования расхода, давления и температуры продукта, а также для определения качества продукта, на трубопроводах монтируют присоединительные узлы и детали к контрольно-измерительным приборам и средствам автоматики. Как правило, контрольно-измерительные приборы состоят из нескольких элементов, причем некоторые из них монтируют на трубопроводах или в непосредственной близости от них.

Обязательным элементом контрольно-измерительных приборов являются:

- первичные приборы, которые непосредственно воспринимают анализируемые параметры,

- устройства управления, преобразующие снятые измерения в управляющие сигналы,

- исполнительные устройства, которые принимают сигналы и воздействуют на регулируемую среду, вызывая в ней необходимые изменения.

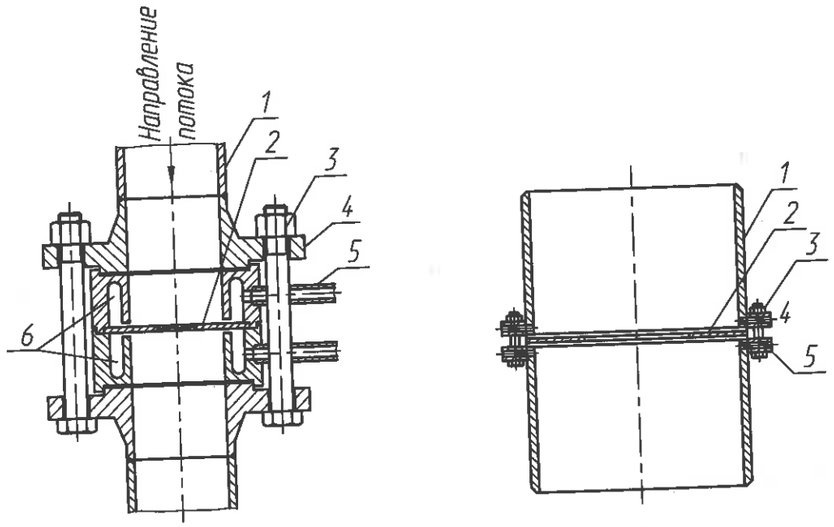


Рис. 3.15. Фланцевые измерительные диафрагмы
а – камерная; *б* – дисковая
1 – патрубок; *2* – диск; *3* – болт с гайкой; *4* – фланец;
5 – импульсная трубка; *6* – прокладка; 7 – входная и выходная камеры

Далеко не каждый прибор служит для регулирования технологических параметров. Широко распространены показывающие приборы, в которых отсутствует регулирующий элемент. Измерительные диафрагмы и сопла – наиболее распространенные, простые и дешевые устройства, которые служат для определения расхода продукта в трубопроводе. В трубопроводах диаметром до 500-т миллиметров и давлением до 6,4 *МПа* ставят фланцевые камерные диафрагмы, а диаметром 600 миллиметров и более - фланцевые дисковые диафрагмы, поставляемые вместе с контрольно-измерительными приборами (рис. 3.15).

Принцип действия измерительных диафрагм и сопел основан на изменении перепада давления при прохождении продукта через отверстие меньшего диаметра. При прохождении продукта через диафрагму (сопло), диаметр которой меньше внутреннего диаметра трубопровода, скорость его течения возрастает, а давление падает, причем с увеличением количества проходящего продукта увеличивается перепад давления. Падение давления продукта начинается перед диафрагмой и заканчивается на небольшом расстоянии позади нее. Перед диафрагмой и позади нее присоединяют импульсные трубки, по которым продукт поступает к расходомеру. По разности давления продукта перед диафрагмой и за ней измеряют расход продукта.

Для измерения массового расхода, плотности, температуры, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей используются современные массовые и электромагнитные расходомеры и плотномеры, являющиеся частью систем автоматического управления технологическими процессами.

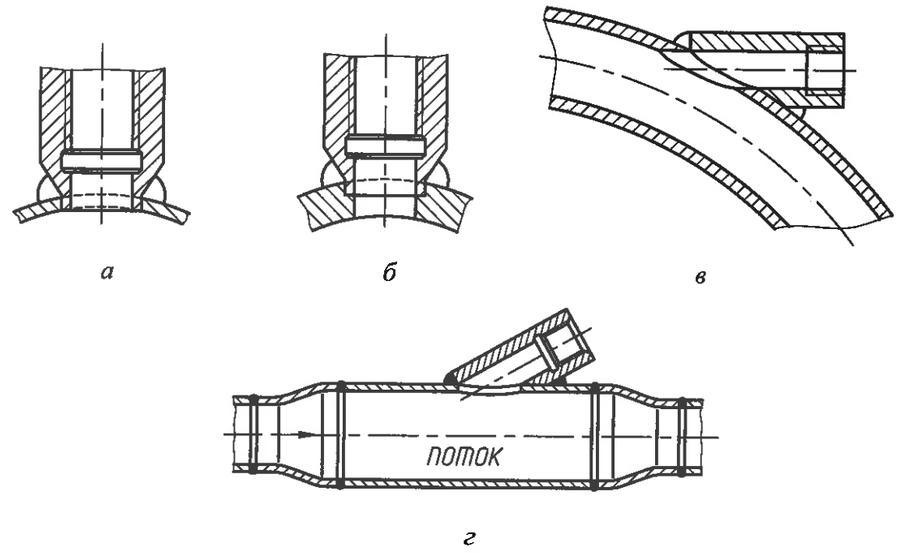


Рис. 3.16. Приварка штуцеров на трубопроводы
а – на трубах с толщиной стенки до 8 *мм*, *б* – на трубах с толщиной стенки более 9 *мм*;
в – на отводе; *г* – на трубах малого диаметра.

Штуцера и бобышки (рис. 3.16) для присоединения импульсных линий к контрольно-измерительным приборам и средствам автоматики, для установки манометров и термометров сопротивления, должны быть врезаны и приварены так, чтобы их концы не выступали внутрь трубопровода. Под установку манометров обычно используют арматуру на условный диаметр *DN* 15 *мм*.

Места врезки штуцеров и бобышек в рабочем положении показывают на чертежах расположения оборудования и трубопроводов с необходимыми привязочными размерами и отметками.

Гильзы термометров располагают в трубопроводах диаметром до 200-от миллиметров под углом 45° против движения теплоносителя, а при большем диаметре труб под углом 45° ÷ 90°. Конец гильзы должен находиться примерно в центре трубы. До начала монтажа контрольно-измерительных приборов в отверстия штуцеров и бобышек ввертывают пробки.

4 ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА

С трубопроводной арматурой мы встречаемся ежедневно, пользуясь, например, водопроводным краном и прочими удобствами современной жизни. Слово «арматура» имеет тот же корень, что и «армия»: в переводе с латинского «арматура» означает «вооружение». Трубопровод «вооружают» арматурой для того, чтобы управлять потоком рабочей среды путем изменения площади прохода среды. Это действие позволяет отключать или включать отдельные участки трубопровода, регулировать количество жидкости, газа, пара, сыпучего вещества, изменять направление движения продукта. Изменяя количество проходящего через трубопроводную арматуру продукта, можно регулировать (изменять или поддерживать) самые разные параметры среды в трубопроводе или технологическом аппарате: расход, давление, уровень, температуру.

4.1 Типы арматуры

В технической литературе и нормативных документах можно встретить четыре названия - четыре основных конструктивных типа трубопроводной арматуры: клапан, задвижка, кран и дисковый затвор. К клапанам также относится «исполнительное устройство» - происхождение этого термина будет объяснено позднее. При некотором навыке эти четыре конструкции можно отличить по внешнему виду. Но основное отличие каждого типа определяется способом перемещения подвижной детали, перекрывающей поток. Эта деталь в официальной терминологии называется запирающим или регулирующим элементом. В литературе для этого элемента можно встретить синонимы: затвор, золотник, плунжер, диск, мембрана, диафрагма, шар, сегмент – в зависимости от его формы и способа перемещения. При этом главную роль играет то, как этот элемент движется относительно потока среды.

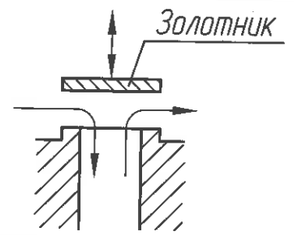
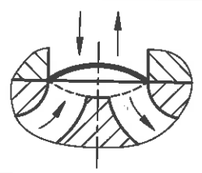
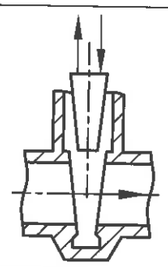
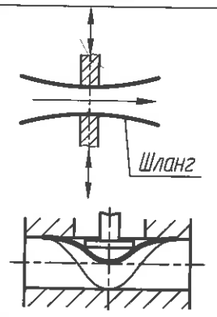
В **клапане** запирающий или регулирующий элемент перемещается возвратно-поступательно параллельно оси потока. В **задвижке** запирающий элемент перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока. **Кран** имеет запирающий или регулирующий элемент в форме тела вращения или его части и поворачивается вокруг своей оси перпендикулярно к направлению потока рабочей среды. Повороту запирающего или регулирующего элемента может предшествовать его возвратно-поступательное движение. **Дисковый затвор** имеет запирающий или регулирующий элемент в форме диска, который поворачивается вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока.

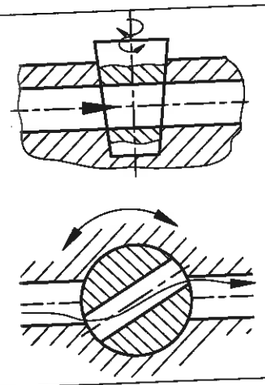
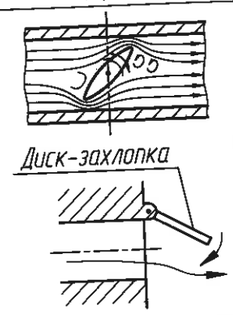
Принцип действия и краткие характеристики различных типов арматуры сведены в таблицу 4.1.

Используемые в области трубопроводной арматуры термины не оригинальны и не вполне однозначны, что объясняется длительной историей применения арматуры в различных отраслях промышленности. Стремление специалистов сделать терминологию по трубопроводной арматуре непротиворечивой, четкой и однозначной привело к установлению точных терминов с помощью национального стандарта ГОСТ Р 52720-2007 [37].

Таблица 4.1

Основные типы арматуры

Тип арматуры	Затвор	Эскиз	Краткая характеристика
Клапан	Золотник Плунжер		Большая строительная длина. Малый ход затвора, малое время открывания и закрывания. Большое гидравлическое сопротивление.
	Мембрана (диафрагма)		Большая строительная длина, малая строительная высота. Малый ход затвора. Малое время открывания и закрывания. Большое гидравлическое сопротивление.
Задвижка	Клин Шибер		Малая строительная длина, большая строительная высота. Большой ход затвора, большое время открывания и закрывания. Малое гидравлическое сопротивление.
	Шланг		Большая строительная длина, малая строительная высота. Малое время открывания и закрывания. Малое гидравлическое сопротивление.

Тип арматуры	Затвор	Эскиз	Краткая характеристика
Кран	Пробка (в виде цилиндра или конуса) или шар		Малая строительная высота. Малое время открывания и закрывания. Большие крутящие моменты, необходимые для управления. Малое гидравлическое сопротивление.
Затвор дисковый	Диск		Малые габаритные размеры и масса. Малое время открывания и закрывания. Проход частично перекрыт затвором при открытом положении. Незначительное гидравлическое сопротивление.

Этот ГОСТ устанавливает три категории терминов, из которых две категории применять не следует: недопустимые и не рекомендуемые. К недопустимым, в частности, относится термин «вентиль», который надо всегда заменять термином «клапан» или «запорный клапан». Не рекомендуется применять термин «заслонка», «регулирующая заслонка», «запорно-регулирующая заслонка», «поворотный затвор» - лучше называть этот тип арматуры «дисковый затвор».

4.2 Виды арматуры

При выборе конструктивного типа арматуры для установки на трубопроводе или технологическом аппарате нужно хорошо понимать, какую функцию необходимо осуществить с помощью выбираемого устройства. ГОСТ Р 52720-2007 называет 13 видов арматуры, предназначенных для выполнения различных функций.

1. **Запорная** арматура. Предназначена для полного перекрытия потока с определенной герметичностью. Имеет наиболее широкое распространение и по количеству применяемых единиц составляет примерно 80% всего количества изделий. Для этой функции применяются все перечисленные выше типы арматуры: клапаны (запорные), задвижки, краны и дисковые затворы.

2. **Предохранительная** арматура. Обеспечивает автоматическую защиту оборудования и трубопроводов от недопустимого превышения давления путем сброса избытка рабочей среды. Функция осуществляется с помощью предохранительных клапанов, импульсных предохранительных устройств, предохранительных (разрывных) мембран, перепускных клапанов.

3. **Регулирующая** арматура. Служит для регулирования параметров рабочей среды путем изменения расхода. Это в основном регулирующие клапаны, регуляторы давления прямого и непрямого действия, регуляторы температуры прямого действия, регуляторы уровня жидкости (поплавковые клапаны), используются также шаровые краны и дисковые затворы.

4. **Запорно-регулирующая** арматура. Совмещает обе функции - регулирующую и запорную. Фактически это арматура регулирующая, но с обеспечением заданного класса герметичности в закрытом положении затвора.

5. **Обратная** арматура. Автоматически предотвращает обратный поток среды при понижении давления на каком-то участке трубопровода (обратные клапаны, обратные затворы).

6. **Невозвратно-запорная** арматура. Обратная арматура, в которой может быть осуществлено принудительное закрытие арматуры.

7. **Невозвратно-управляемая** арматура. Обратная арматура, в которой может быть осуществлено принудительное открытие, закрытие или ограничение хода арматуры.

8. **Распределительно-смесительная** арматура. Предназначена для распределения рабочей среды по определенным направлениям или для смешения потоков среды (например, холодной и горячей воды). Сюда относятся распределительные клапаны и краны.

9. **Спускная арматура.** Запорная арматура для сброса рабочей среды из емкостей (резервуаров), систем трубопроводов.

10. **Фазоразделительная** арматура. Предназначена для разделения рабочих сред, находящихся в различных фазовых состояниях (конденсатоотводчики, воздухоотводчики).

11. **Защитная** арматура. Служит для автоматической защиты оборудования и трубопроводов от недопустимых или не предусмотренных технологическим процессом изменений параметров или направления потока среды, а также для отключения потока без выброса рабочей среды из технологической системы. К защитной часто относят арматуру обратную, но мы будем придерживаться ГОСТ Р 52720, который, придавая этому виду особое значение, выделил обратную арматуру в отдельный вид. Поэтому сюда

отнесем пока только так называемые отключающие клапаны, которые ещё называют отсечными.

12. Арматура **редукционная.** Обеспечивает снижение (редукцию) давления в системе за счет повышения гидравлического сопротивления в корпусе арматуры. Функция редуцирования давления осуществляется посредством редукционных клапанов, по конструкции схожих с запорными, но имеющими более мощную пару плунжер-седло, способную выдержать высокие нагрузки при быстром снижении давления.

13. Арматура **контрольная.** Управляет подачей среды в контрольно-измерительные приборы, например, краны и клапаны для манометров, указатели уровня.

Может возникнуть вопрос, почему к защитной арматуре не относят арматуру предохранительную. Как и в случае с обратной арматурой, предохранительная выделена в особый вид из-за ее высокой значимости для безопасности производства. Терминологически различие между предохранительной и защитной арматурой заключается в том, что при возникновении аварийного состояния предохранительная арматура **открывается** для выпуска среды, а защитная **закрывается**, отсекая защищаемый участок от остальной части трубопровода.

В технической литературе и справочниках встречаются следующие названия и разновидности арматуры.

Промышленная арматура – арматура, имеющая многоотраслевое применение, к которой не предъявляются специальные требования заказчика.

Специальная арматура – арматура, которая разрабатывается и изготавливается с учетом специальных требований заказчика применительно к конкретным условиям эксплуатации.

Вакуумная арматура – арматура, обеспечивающая выполнение своих функций при рабочих давлениях менее 0,1 *МПа* (абсолютное).

Фонтанная арматура - комплект арматуры, предназначенный для оборудования устья нефтяных и газовых скважин с целью их герметизации, контроля и регулирования режима эксплуатации.

Автоматически действующая арматура - арматура, срабатывание которой происходит без участия человека.

Проходная - арматура, в которой присоединительные патрубки соосны или взаимно параллельны.

Угловая - арматура, в которой оси входного и выходного патрубков расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Полнопроходная - арматура, в которой площади сечений проточной части равны

или больше площади отверстия входного патрубка.

Неполнопроходная - арматура, в которой площади сечений проточной части меньше площади отверстия входного патрубка.

Отсечная - запорная арматура с минимальным временем срабатывания, обусловленным требованиями технологического процесса.

Прямого действия - арматура, работающая от энергии рабочей среды без использования вспомогательных устройств (встроенного импульсного механизма либо вынесенной импульсной арматуры).

Непрямого действия - арматура, работающая от энергии рабочей среды с использованием вспомогательных устройств (встроенного импульсного механизма либо вынесенной импульсной арматуры).

4.3 Способы управления арматурой

Вначале выделим арматуру, которая срабатывает автоматически, без участия человека или управляющего сигнала, а только под воздействием самой рабочей среды: это обратная арматура и отчасти предохранительная (предохранительные мембраны и предохранительные клапаны прямого действия). Такую арматуру еще называют самодействующей.

Очень большое место в промышленности занимает арматура с ручным управлением. Это всевозможные краны, задвижки, запорные клапаны, параметры которых позволяют человеку приложить мышечное усилие к рукоятке или маховику и преодолеть сопротивление рабочей среды. Ясно, что это арматура небольшого проходного сечения (условного прохода *DN*), невысокого давления среды в трубопроводе, а также арматура не слишком ответственная.

И, наконец, арматура, которую иногда называют приводной - управляемой от постороннего источника энергии: это арматура с пневматическим, гидравлическим электрическим или электромагнитным приводом.

К «промежуточным» способам управления отнесем арматуру с механическим приводом и арматуру под дистанционное управление. Механический привод – это вариант ручного управления, когда для увеличения усилия, передаваемого на подвижной элемент арматуры, в конструкцию включен механический редуктор - зубчатый, реечный, цилиндрический.

Арматура под дистанционное управление не имеет непосредственного органа управления, а соединяется с ним при помощи колонок, штанг и других переходных устройств, с автоматическим или ручным управлением.

4.4 Плотность по отношению к окружающей среде

Это важнейший показатель безопасности применения арматуры. Особое значение он приобретает в условиях транспортировки взрыво- и пожароопасных сред. В арматуре имеется два возможных источника утечки продукта в атмосферу: места соединения корпуса арматуры с трубопроводом и место выхода штока или шпинделя из внутренней полости арматуры наружу. Способы соединения корпуса арматуры с трубопроводом не отличаются от способов соединения остальных деталей трубопровода – труб, отводов и переходов - и выбираются в зависимости от нескольких факторов, главным из которых является безопасность. Место выхода штока или шпинделя через отверстие в корпусе (крышке) арматуры уплотняют нескольким способами.

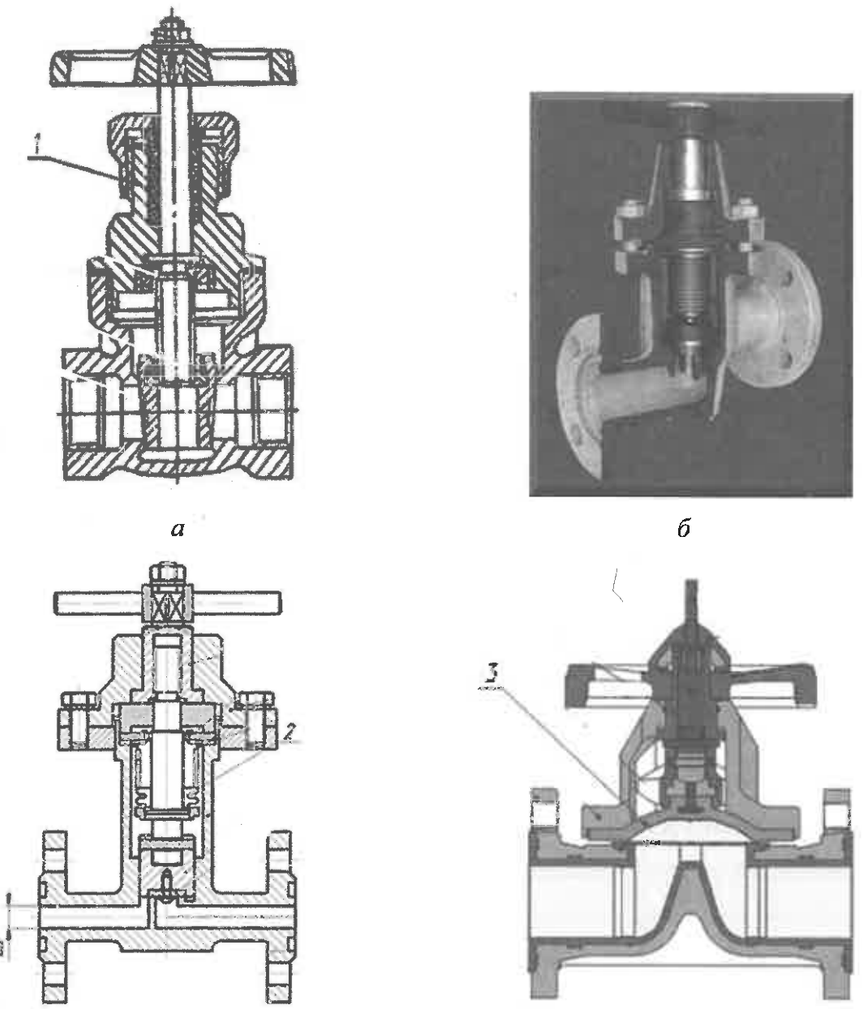
В зависимости от конструкции уплотнения арматуру подразделяют на сальниковую, сильфонную и мембранную (рис. 4.1).

Сальник *1* представляет собой набор разрезных колец, охватывающих шток или шпиндель. Проход рабочей среды через зазоры между цилиндрической деталью и кольцами затрудняется по мере продвижения среды наружу. С помощью сальника можно успешно уменьшить пропуск рабочей среды или даже полностью герметизировать этот узел, если среда достаточно вязкая или (и) давление среды невелико. Усилие трения, которое неизбежно возникает при соприкосновении движущейся детали и неподвижных колец, минимизируют применением смазки или антифрикционных материалов – графита, фторопласта, латуни, бронзы.

Сильфон *2* – это гофрированный, часто многослойный, стакан, один конец которого приваривается к штоку, а другой - к корпусу арматуры. Он обеспечивает свободу перемещения штока и при этом полностью изолирует верхнюю часть штока от контакта со средой. Мембрана *3* выполняет аналогичную роль, но при меньшем ходе штока или шпинделя. Мембрана одновременно служит запирающим элементом клапана.

4.5 Герметичность затвора

Под герметичностью затвора понимают свойство затвора препятствовать газовому или жидкостному обмену между средами, разделенными затвором, т.е. затвором в закрытом положении. Самые высокие требования при этом предъявляются к запорной арматуре, работающей на линиях с горючими, токсичными, пожаро- и взрывоопасными средами.



а *б* *в* *г*

Рис. 4.1 Арматура
а - сальниковая, *б, в* - сильфонная, *г* - мембранная
1 – сальник; *2* – сильфон; *3* - мембрана

Герметичность затвора измеряется пропуском испытательной среды (воздуха или воды, в $см^3$/мин) во время приемо-сдаточных испытаний. В зависимости от объема среды, пропускаемой при закрытом затворе, ГОСТ 9544-2005 установлены следующие классы герметичности: **A, B, C, D, B1, C1** и **D1**.

Для затворов арматуры класса **A** установлен качественный критерий герметичности - отсутствие видимых утечек в течение времени выдержки. Это качество требуется от запорной арматуры в двух диапазонах параметров: для $DN = 3 \div 200$ *мм* при $PN = 0.1 \div 42$ *МПа* и для $DN = 250 \div 2000$ *мм* при $PN = 1 \div 20$ *МПа*. Испытания проводят воздухом давлением 0.6 *МПа* или водой номинальным давлением, умноженным на 1,1. Арматуру $DN = 3$

÷200 *мм* можно испытывать воздухом при номинальном давлении. Для арматуры остальных классов значения утечки приведены в ГОСТ 9544-2005 при испытании воздухом (таблицы 2÷10 ГОСТ) и при испытании водой (таблица 11 ГОСТ).

Высокая герметичность затвора достигается тщательной подгонкой затвора к седлу, установкой на седле или плунжере уплотнительных колец из эластичного материала высокой прочности.

4.6 Материалы для изготовления арматуры

Арматура, так же как трубы, изготавливается из самых разных материалов в зависимости от химических и физических свойств транспортируемой среды и ее эксплуатационных параметров - давления и температуры. Материал арматуры настолько важная характеристика, что классификация и кодировка арматуры в номенклатурных справочниках и каталогах предприятий осуществляется в первую очередь по материалу основных деталей, к которым относят всего две детали - корпус и крышку арматуры. В классификаторах продукции, которыми пользуются изготовители и потребители (см. параграф 4.13), мы найдем арматуру стальную (из углеродистой стали), из коррозионностойкой стали, серого чугуна, ковкого чугуна, цветных металлов, пластмасс и керамики. Подвижные и подверженные циклическим нагрузкам детали (шток, шпиндель, золотник, седло) изготавливаются в основном из противоударной износостойкой стали.

Одновременно материал (а иногда и конструкция изделия) определяется внешними условиями эксплуатации: температурой и влажностью окружающего воздуха, местом установки (на суше или море), в открытом или закрытом помещении, и другими факторами, совокупность которых составляют понятие «вид климатического исполнения». Оно объединяет характеристику макроклиматического района, например, климат умеренный (У), холодный (ХЛ), умеренный и холодный (УХЛ), тропический (Т), и категорию размещения изделий (1- на открытом воздухе, 2 – под навесом или в сходных условиях, 3 - в закрытых помещениях с нерегулируемыми климатическими условиями, 4 – в закрытых отапливаемых помещениях). В ГОСТ 15150-69 с поправками 1999 года дается подробная классификация условий по климатическим параметрам и по категориям размещения – укрупненным (1, 2, 3, 4, 5) и дополнительным (1.1, 2.1,…, 4.1, 4.2,…). Детально зная условия эксплуатации, проектировщик выберет оптимальный по материалам вариант арматуры, не вдаваясь в тонкости материаловедения. Эту ответственность берет на себя изготовитель, указывая в обозначении или в каталожных данных вид климатического исполнения арматуры (так же как многих других изделий). Пример каталожных данных для такой арматуры одного из заводов – изготовителей приведен в таблице 4.2 .

Таблица 4.2

Каталожные данные для арматуры, выпускаемой Благовещенским арматурным заводом

Температура рабочей среды	От -40°С до +425°С	От -60°С до +425°С	От -60°С до +600°С	От -60°С до +100°С
Условия эксплуатации ГОСТ 15150-69	У1, Т1	ХЛ1	УХЛ1	УХЛ1
Минимальная температура окружающего воздуха	-40°С	-60°С	-60°С	-60°С

4.7 Запорная арматура

4.7.1 Требования, предъявляемые к запорной арматуре

Основное назначение запорной арматуры – обеспечение герметичности при перекрытии потока. Важна, разумеется, и плотность по отношению к окружающей среде, но она обнаруживается и ликвидируется легче, чем пропуск в затворе, для устранения которого требуется, как правило, демонтаж арматуры из трубопровода. Пропуск среды в закрытом положении может оказать решающее влияние на ход технологического процесса, поэтому проектировщик должен в первую очередь обращать внимание на указываемый в каталогах класс герметичности выбираемой арматуры.

При работе на агрессивных средах главным требованием является коррозионная стойкость материалов, соприкасающихся со средой. Наряду с обеспечением надежности и долговечности всей трубопроводной системы этот фактор непосредственно влияет и на герметичность затвора.

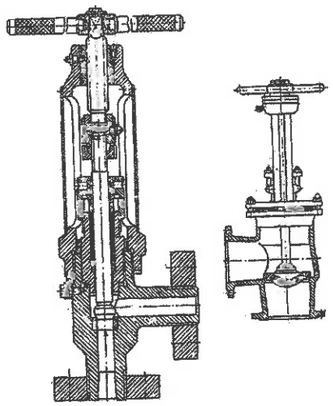
На линейных участках магистральных и протяженных технологических трубопроводов запорная арматура подавляющую часть времени должна находиться в открытом положении и закрывается только при необходимости отсечь участок для проведения ремонта или при аварии. Поэтому здесь арматура должна иметь минимальное гидравлическое сопротивление, чтобы существенно не снижать пропускную способность трубопровода.

При частой смене состояния «открыто-закрыто» (высокой цикличности) на первый план выступает возможность избежать повреждения уплотнительных поверхностей затвора. Этим качеством обладает, в частности, конструкция запорного клапана, в котором трение уплотнительных поверхностей плунжера и седла при движении запирающего элемента отсутствует, в отличие от задвижки и крана.

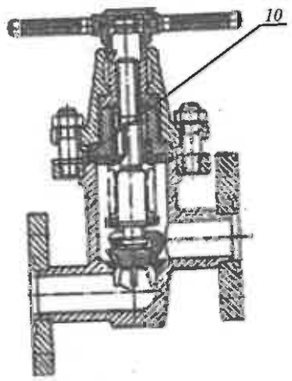
К запорной арматуре в нефтепереработке и нефтехимии предъявляются требования, связанные с взрыво- и пожароопасностью транспортируемых сред: взрывобезопас-

ность электропривода и электроавтоматики, масло-бензостойкость материалов сальниковой набивки, прокладок, уплотнительных деталей корпуса и затвора.

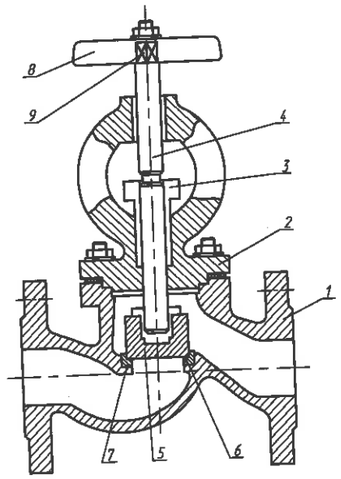
Запорную арматуру не следует использовать для целей дросселирования (снижения давления потока при прохождении через сужение), так как при этом быстро повреждается уплотнительная кромка запирающего элемента.



а



б



в

Рис.4.2. Запорные клапаны
а – угловой; *б, в,* - проходной

4.7.2 Запорные клапаны

По сравнению с другими типами арматуры клапаны имеют наиболее высокое гидравлическое сопротивление, т.к. проходящий через клапан поток меняет свое направление: один раз - в угловой конструкции корпуса (рис.4.2, *а*) и дважды - в случае проходной конструкции (рис.4.2, *б*).

В литом корпусе 1 запорного клапана помещен проходящий через крышку 2 и сальник 3 подвижной узел, состоящий из золотника 5 и шпинделя 4. Золотник представляет собой тело вращения с плоским основанием, на котором закреплено уплотнительное кольцо 6 из прочного сплава или полимерного материала. Благодаря плоскому золотнику достигается достаточная плотность отключения даже при наличии отложений на уплотнительных поверхностях золотника и седла. Нежесткий способ соединения шпинделя с золотником позволяет оси золотника смещаться по отношению к оси шпинделя, что способствует плотному прилеганию кольца 6 к седлу 7. Вращение маховика 8 через ходовую гайку 9 передается шпинделю, а крупный шаг резьбы обеспечивает быстрое открывание и закрывание прохода. Вращательное движение шпинделя снижает надежность работы сальника, поэтому предусмотрена возможность смены сальниковой набивки без снятия клапана с трубопровода.

Если утечка в атмосферу рабочей среды недопустима - вследствие ее токсичности, агрессивности или взрыво-пожароопасности, место выхода шпинделя из клапана уплотняют сильфоном 10 (рис. 4.2, *б*). При этом шпиндель должен перемещаться только поступательно, вращение его вокруг своей оси, во избежание разрушения сильфона, недопустимо. На случай усталостного разрушения сильфона в удлиненной крышке клапана монтируют аварийный сальник, высота которого меньше чем в обычном клапане.

Согласно Правилам ПБ 03-585-03 запорные клапаны в нефтепереработке, нефтехимии и химии применяют на трубопроводах диаметром до 50 *мм*. При большем диаметре их используют только тогда, когда гидравлическое сопротивление арматуры не имеет существенного значения.

Запорные клапаны не следует устанавливать на трубопроводах, по которым транспортируются загрязненные и легко кристаллизующиеся жидкости, т.к. грязь и кристаллы осаждаются в проходном канале и препятствуют его закрытию. Нельзя использовать запорные клапаны в качестве регулирующей арматуры.

К недостаткам запорных клапанов, помимо высокого гидравлического сопротивления, относится возможность подачи среды только в одном направлении, определяемом конструкцией клапана. Обычно среда подается «под золотник», что требует большего усилия для герметизации прохода, но позволяет ремонтировать сальник без отключения линии. При подаче среды «на золотник» облегчается уплотнение прохода, но сальник всегда находится под действием полного рабочего давления, и заменить набивку во время эксплуатации, не отключая линии, не удается.

Направление подачи среды указано отлитой на корпусе стрелкой, наряду с величинами условного диаметра *DN* и условного давления *PN*.

4.7.3 Задвижки

Это основной тип запорной арматуры, широко применяемый на трубопроводах диаметром от 50 до 2000 *мм*, давлением от 0,16 до 25 *МПа* (от 1,6 до 250 *кгс/см*^{2}) и температурой рабочей среды до 565 ^{0}С. В специальных случаях возможен выход за пределы указанного диапазона.

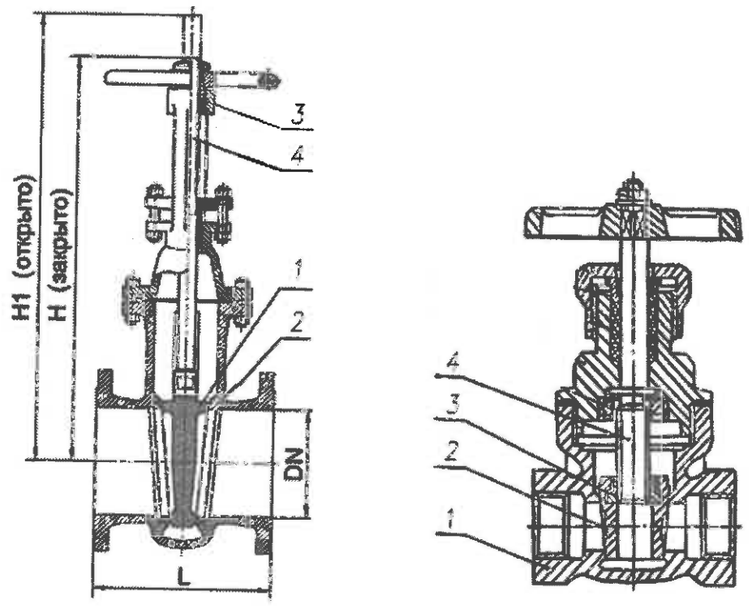
Основное преимущество задвижек - их малое гидравлическое сопротивление (в 30-40 раз меньше, чем у запорных клапанов): при полном открытии затвор полностью выходит из потока продукта в верхнюю часть корпуса. Задвижки отличаются от запорных клапанов меньшей строительной длиной, что облегчает их установку в труднодоступных местах. Простая форма внутренних устройств позволяет использовать их на трубопроводах с загрязнёнными (но не кристаллизующимися) продуктами. Подача среды может происходить в любом направлении.

Недостатки применения задвижек: малая скорость открытия, большая высота, высокая стоимость, высокая трудоемкость ремонта уплотнительных поверхностей, которые довольно быстро изнашиваются.

При проектировании инженер-монтажник принимает решение о направлении горизонтального монтажа задвижки – приводом вверх или вниз. В большинстве случаев штурвал направляют вертикально вверх, но если случайное закрытие арматуры угрожает безопасности процесса, как например, перекрытие входа в факельную систему, то задвижку ставят штурвалом вниз, а при монтаже в цеху иногда вообще снимают его с задвижки. При снятии штурвала обычно оставляется надпись «Опломбировать в открытом (или закрытом) состоянии арматуры».

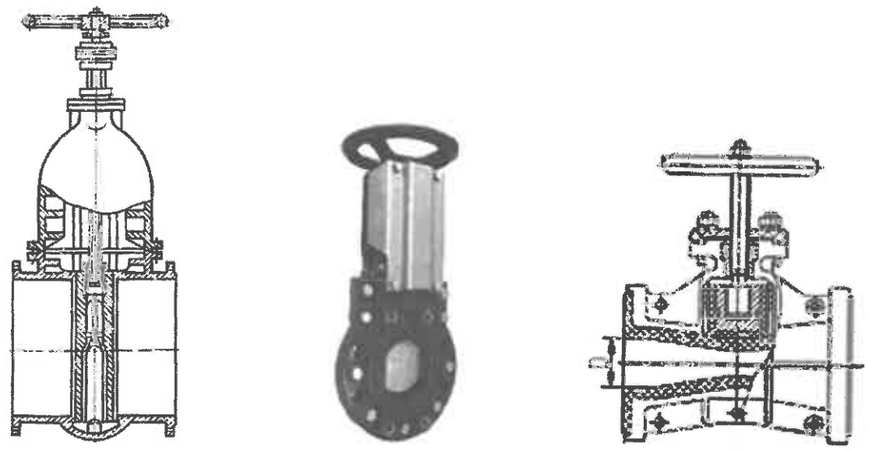
В зависимости от конструкции затвора (рисунки 4.3 и 4.4) задвижки подразделяются на клиновые, параллельные и шланговые. В **клиновых** задвижках (рис. 4.3) затвор выполнен в виде клина 1, расположенного в корпусе с наклонными уплотнительными поверхностями 2. Клин может быть сплошной (или цельный), упругий и составной (двухдисковый). Упругий клин состоит из двух частей, связанных между собой пружинящим элементом (ребром, коротким валом). Упругий элемент позволяет половинкам клина менять свое положение относительно друг друга на некоторый угол, что дает лучшее прилегание к уплотнительным поверхностям седел.

Ходовая гайка 3 размещается вне корпуса, т.е. постоянно находится «вне среды». Такие задвижки применяются на трубопроводах с агрессивными средами.



а *б*

Рис. 4.3. Клиновые задвижки
а – с выдвижным шпинделем, *б* - с невыдвижным шпинделем



а *б* *в*

Рис. 4.4 Задвижки
а - параллельная двухдисковая, *б* - шиберная однодисковая, *в* - шланговая

В задвижке с «невыдвижным» шпинделем (рис.4.3, *б*) ходовая гайка 3 размещена в теле затвора. Шпиндель 4 совершает только вращательное движение, и высота задвижки остается неизменной. Однако положение резьбовой пары непосредственно в рабочей сре-

де исключает применение таких задвижек на агрессивных средах или при высокой температуре рабочей среды.

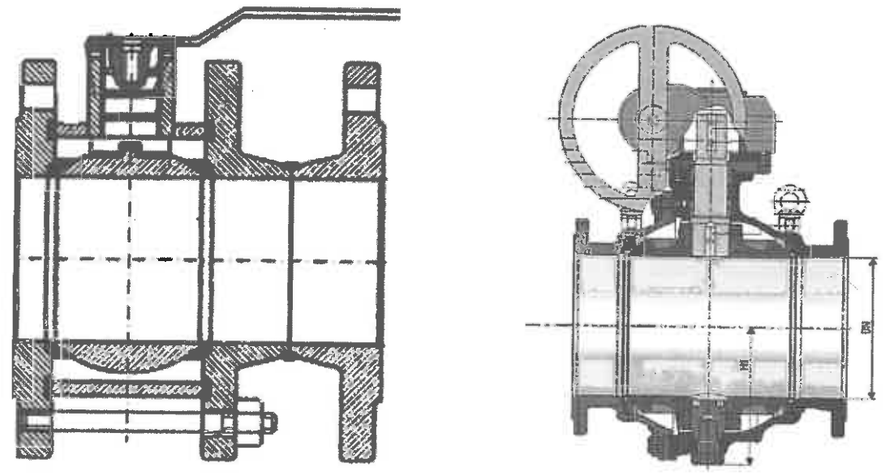
В параллельной задвижке (рис. 4.4) уплотнительные поверхности затвора параллельны друг другу. Основное преимущество параллельных задвижек – отсутствие «заедания» затвора в закрытом положении. Двухдисковые задвижки отличаются почти полным отсутствием износа уплотнительных поверхностей и высокой герметичностью. Одно-дисковые задвижки (шиберные) применяют тогда, когда не требуется высокой герметичности. Жесткая конструкция затвора позволяет использовать их для довольно больших расчетных давлений и температур рабочей среды.

В шланговой задвижке (рис.4.4, *в*) рабочая среда проходит через эластичный патрубок (шланг), который, деформируясь под действием шпинделя, изменяет площадь проходного сечения и, следовательно, расход рабочей среды. Применяются задвижки с односторонним и двусторонним пережимом шланга. Для обеспечения зажима эластичного патрубка необходимо значительное усилие управления. Эластичные патрубки изготавливаются из резины (бензостойкой, маслостойкой, химически стойкой). Основное достоинство шланговых задвижек - полная герметизация рабочей среды от внешней, главный недостаток - небольшой срок службы эластичного патрубка.

4.7.4 Краны

Подвижная деталь крана в виде тела вращения может иметь форму шара, цилиндра, усеченного конуса. Соответственно краны называют шаровыми, цилиндрическими, конусными. Иногда к цилиндрическим и конусным кранам применяют название «пробковый», но при этом подвижную деталь, будь то шар, цилиндр или конус, объединяют под названием «пробка».

В полнопроходных шаровых и цилиндрических кранах сквозное отверстие представляет собой отрезок трубы диаметром равным диаметру трубопровода, и, следовательно, в открытом положении имеет минимальное гидравлическое сопротивление. Наибольшее применение получили шаровые краны, их производство в России составляет 20% от общего числа производимой арматуры. Различают шаровые краны с плавающим шаром и с шаром в опорах (рис.4.5). Плавающий шар соединен со штоком нежестко и поддерживается уплотнительными кольцами, или седлами. Такая конструкция проста и надежна, но при высоком давлении седла подвержены сильному износу. В кране с опорами «плавающими» являются седла, а давление среды в основном воспринимается опорами (подшипниками).



а *б*

Рис.4.5. Шаровые краны
а - с плавающим шаром, *б* - с шаром в опорах

В современных конструкциях шаровых кранов эти недостатки преодолеваются: первый - применением не требующих смазки материалов и покрытий, второй - подъемом шара относительно седла перед началом поворота, в результате чего происходит очищение поверхностей седла и шара от механических отложений. Шар отводится от седла и поворачивается, не касаясь его, что позволяет избежать абразивного износа уплотнительных поверхностей.

К преимуществам шаровых кранов относятся: полнопроходность, допускающая возможность механизированной очистки трубопровода. Простота управления (поворот затвора на 90°), малое время поворота, хорошая защита и возможность смазки уплотнительных поверхностей, применимость для вязких или загрязненных сред, суспензий, пульп и шламов, возможность использования в качестве регулирующих устройств. Однако на технологических трубопроводах объектов нефтепереработки и нефтехимии краны применяются ограниченно вследствие недопустимости присутствия смазки в трубопроводе и возможности нарушения герметичности затвора и заклинивания шара или пробки в седле из-за наличия в транспортируемой среде посторонних включений

В современных конструкциях шаровых кранов эти недостатки преодолеваются: первый - применением не требующих смазки материалов и покрытий, второй - подъемом шара относительно седла перед началом поворота, в результате чего происходит очищение поверхностей седла и шара от механических отложений. Шар отводится от седла и

поворачивается, не касаясь его, что позволяет избежать абразивного износа уплотнительных поверхностей.

Конусные краны подразделяются на сальниковые и натяжные в зависимости от способа создания удельного давления на конических поверхностях корпуса и пробки. В сальниковых усилие затяжки сальника передается на пробку, прижимая ее к седлу. В натяжных (рис.4.6) продольное усилие на пробке создается затяжкой гайки в нижней части крана. Натяжные краны не имеют дополнительных устройств для предотвращения пуска среды в окружающее пространство, поэтому их применение ограничено давлением до 1,0 *МПа* или неопасными для внешней среды веществами.

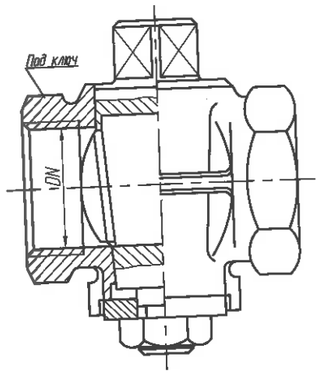


Рис.4.6. Конусный кран натяжной

Конусный кран, в котором пробка перед поворотом отрывается от корпуса, а после поворота прижимается к нему, называют краном с выдвижной пробкой, или с подъемом пробки. Такое устройство уменьшает требуемый для поворота крутящий момент, поворот происходит в отсутствие контакта с корпусом, и удельное давление, необходимое для достижения герметичности, не ограничено усилием, необходимым для поворота. Поэтому краны с выдвижной пробкой могут применяться в трубопроводах больших диаметров и на большое давление.

При давлении среды выше 4 *МПа* удельное давление на уплотнительной поверхности пробки возрастает до значений, при которых становится возможным задирание контактирующих поверхностей. На этот случай существует вариант конусного крана с устройством периодической (ручной или автоматической) подачи густой смазки по каналам на пробке и в корпусе.

По назначению краны делятся на трубопроводные и спускные (пробно-спускные). Первые монтируются на участке трубопровода и имеют два или более присоединительных патрубка (двух- или трехходовые в зависимости от числа рабочих положений проб-

ки). Вторые обычно монтируются на агрегатах, котлах, емкостях, резервуарах; имеют один присоединительный патрубок и прямой или изогнутый спуск.

В технологических трубопроводах химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, краны применяются, когда недопустимо или нецелесообразно использовать задвижки и запорные клапаны, например, для жидкостей, содержащих взвеси, на линиях мазута, масла, полимеризующихся жидкостей.

Недостатком кранов является возможное «прикипание» пробки при прохождении нагретых жидкостей, вызванное тепловой деформацией корпуса. Кроме того, быстрое открывание проходного сечения затрудняет регулировку, а при высоких давлениях оно может привести к гидравлическому удару.

Диапазон применения у шаровых кранов - условный проход *DN* до 2500 *мм*, условное давление *PN* до 32 *МПа* (320 *кгс/см*^{2}), температура рабочей среды от минус 200 до плюс 400 ^{0}C.

4.7.5 Дисковые затворы

Из названия ясно, что запорным элементом является диск – плоский или профилированный (рис.4.7). Диск вращается на валу в подшипниках, размещенных по центральной оси корпуса. Угол поворота 90°. В открытом положении диск устанавливается вдоль оси трубопровода, создавая минимальное сопротивление потоку. При этом он может выходить за пределы своего корпуса и использовать пространство трубопровода, поэтому у дисковых затворов наименьшая из всех типов арматуры строительная длина, и, следовательно, наименьшие вес и стоимость.

Рис. 4.7. Дисковые затворы

Герметичность затвора в закрытом положении достигается установкой уплотнительного кольца в диске или эластичного седла в корпусе, причем вал с подшипниками

расположен эксцентрично по отношению к плоскости диска, чтобы не нарушать целостность уплотнения.

Существуют конструкции с двойным эксцентриситетом вала – не только относительно диска, но и по отношению к оси трубопровода. Это позволяет кромке диска при открывании сразу же отходить от седла, сводя к минимуму износ и повреждение седла.

На высоких температурах используются дисковые затворы с металлическим уплотнением. Герметичность уплотнения достигается изготовлением его из тонкого металлического листа со сложным профилем, например, гофрами. Возможно сочетание внешнего полимерного и внутреннего металлического кольца, или даже двух металлических колец специальной конструкции (например, прокладка типа «геликофлекс»).

Диапазон применения дисковых затворов: условный проход *DN* от 40 до 2800 *мм*, условное давление *PN* от 0,25-ти до 2,5 *МПа* (от 2,5 до 25 *кгс/см*^{2}) с расчетной температурой среды от минус 60 до +420 ^{0}C,

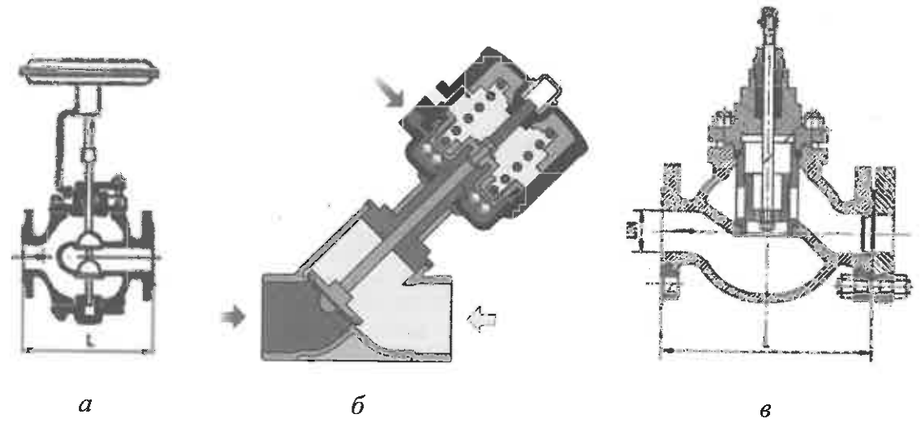
4.8 Регулирующая арматура

4.8.1 Регулирующие клапаны

Регулирующие клапаны отличаются от других типов арматуры тем, что являются частью контура автоматического управления, в который входят: объект управления, датчик, автоматический регулятор и исполнительное устройство, роль которого выполняет клапан. Автоматический регулятор на основании показаний измерительного элемента (датчика) и заданного значения управляемого параметра (температуры, давления, уровня, расхода) вырабатывает сигнал, воспринимаемый чувствительным элементом привода и затем плунжером регулирующего клапана. Благодаря особой конструктивной форме плунжера и седла обеспечивается заданная характеристика регулирования потока. На рисунке 4.8 показаны основные конструкции регулирующих клапанов. Односедельный и клеточный клапаны могут размещаться в проходном или угловом корпусе. Двухседельные регулирующие клапаны обеспечивают более плавную кривую регулирования и требуют меньшего усилия для перемещения штока. Несмотря на довольно сложную конструкцию, значительную металлоемкость и большие габариты, они нашли широкое применение благодаря своей высокой пропускной способности, малой энергоемкости и достаточно высокой надежности. Они имеют гидростатически уравновешенный плунжер, что требует меньших перестановочных усилий привода.

Клеточные регулирующие клапаны являются усовершенствованным видом плунжерных клапанов. В них устранены недостатки односедельной конструкции (неуравновешенность конструкции) и двухседельной конструкции (недостаточная герметичность затвора). Клеточные клапаны можно использовать при значительно более высоких перепадах давления, чем допустимо для двухседельного клапана того же размера. Клеточная конструкция обладает дополнительными преимуществами: отсутствием или уменьшением разрушающего действия кавитации в регулирующем органе при прохождении потока жидкости и снижением уровня шума при регулировании сжимаемых сред.

Односедельные регулирующие клапаны применяются тогда, когда площадь плунжера невелика или требуется надежная герметичность в закрытом положении. Односедельными выполняют также клапаны на высокое давление и на крайне малые расходы (игольчатые клапаны). Регулирующие клапаны, предназначенные для работы на больших перепадах давления, иногда называют дроссельными.



а *б* *в*

Рис.4.8. Регулирующие клапаны
а - двухседельный, *б* - односедельный, *в* - клеточный

В литературе и каталогах трубопроводной арматуры можно встретить также название «исполнительное устройство», означающее то же, что регулирующий клапан, но рассматривающее его как элемент системы управления.

Поскольку регулирование в трубопроводной системе происходит с помощью изменяющегося расхода рабочей среды, то при выборе регулирующего клапана наряду с номинальными диаметром и давлением учитывают его гидравлические параметры: условную пропускную способность *Kvy* и пропускную характеристику

$$Kv/Kvy = f(l),$$

где Kv -текущая пропускная способность, $м^3/ч$, Kvy - условная пропускная способность, $м^3/ч$; l – относительный ход штока.

Пропускная способность Kv - величина, численно равная расходу жидкой среды с плотностью 1000 $кг/м^3$, протекающей через регулирующий клапан при перепаде давлений на нем 0,1 $МПа$ (1 $кгс/см^2$). Условная пропускная способность Kvy - пропускная способность при условном (максимальном) ходе. В зарубежных каталогах параметру Kvy соответствует коэффициент Cv (flow coefficient) - расход воды через регулирующий клапан при перепаде давлений 1 $фунт/кв.дюйм$, измеряемый в галлонах в минуту. Численное соотношение между Kv и Cv: $Kv = 0{,}853\ Cv$; $Cv = 1{,}17\ Kv$.

Традиционные регулирующие клапаны выпускаются с двумя видами стандартных пропускных характеристик

- линейной $Kv/Kvy = l$

- равнопроцентной $Kv/Kvy = (Kv_0 / Kvy)^{1-l}$,

где Kv_0 - начальная пропускная способность, равная 2-4% от условной.

Линейная характеристика означает пропорциональную зависимость между ходом и текущей пропускной способностью. Равнопроцентная получила свое название от исходного уравнения $dKv/dh = cKv$, задающего пропорциональную зависимость между приращением Kv при ходе плунжера h и текущей величиной Kv. Надобность в такой характеристике обнаружилась, когда выяснилось, что в рабочих условиях при меняющемся перепаде давления и наличии сопротивления трубопровода линейная зависимость действительной величины расхода от хода при линейной пропускной характеристике не обеспечивается.

Это хорошо видно на рисунке 4.9, где показаны зависимости относительного расхода q от относительного хода l при различных значениях гидравлического модуля $n = Kvy/ Kvm$ (Kvm - пропускная способность расчетного участка трубопровода без регулирующего клапана). Если по условиям регулирования регулирующий клапан должен обеспечить линейную зависимость расхода от командного сигнала, то выбор между линейной и равнопроцентной пропускной характеристикой следует проводить в зависимости от величины гидравлического модуля n.

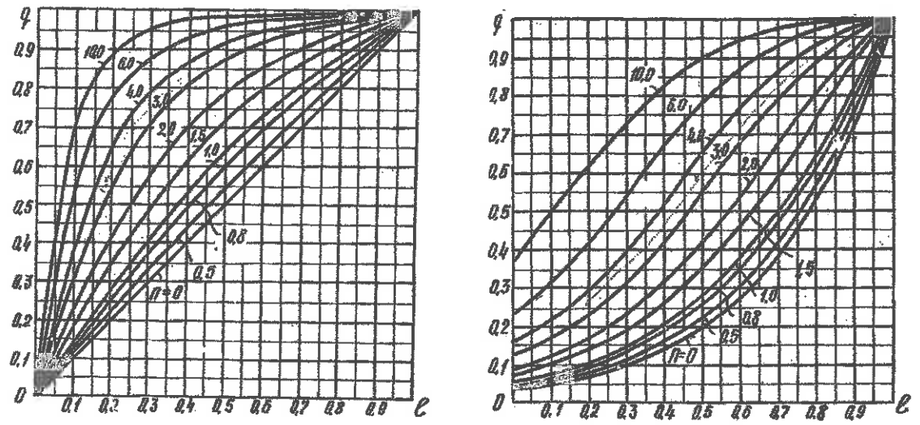


Рис.4.9. Расходные характеристики регулирующих клапанов
а - с линейной пропускной характеристикой; б - с равнопроцентной пропускной характеристикой

Если же регулируемый параметр при определенных видах возмущений зависит от расхода нелинейно, например, температура продукта при изменении температуры греющего агента, то зависимость расхода от командного сигнала должна быть равнопроцентной, в этом случае пригодна только равнопроцентная пропускная характеристика. Нужная пропускная характеристика достигается соответствующей профилировкой формы плунжера, а в клеточном клапане – количеством и размером отверстий в золотнике.

Расчет требуемых величин $Kv_{мин}$ и $Kv_{макс}$ для обеспечения минимального и максимального расходов через регулирующий клапан проводится с учетом агрегатного состояния и режима течения среды. Для жидких сред учитывается вязкость (отклонение от режима развитой турбулентности) и возможность возникновения кавитации. Для сжимаемых сред рассматривается течение в докритическом и критическом режимах.

Для клапанов, регулирующих поток жидкости, в каталогах часто указывают коэффициент начала кавитации K_c. Это безразмерный параметр, определяющий перепад давления, при котором начинается кавитация – образование в жидкости пузырьков пара, разрушение которых происходит на рабочих поверхностях плунжера и седла и ведет к их эрозии и быстрому износу. Не рекомендуется установка регулирующих клапанов при перепадах давления жидкости, превышающих значение, рассчитанное по формуле

$$\Delta P = K_c\left(P_1 - P_{н.п}\right),$$

где

P_1 - абсолютное давление на входе в клапан, $МПа$ ($кгс/см^2$);

$P_{н.п}$ - абсолютное давление насыщенных паров рабочей среды при температуре t_1 на входе в клапан, *МПа* (*кгс/см*^{2}).

Рассчитанные для любой среды величины *Kvмин* и *Kvмакс* должны пройти ряд проверок. Во-первых, из стандартного ряда выбирается *Kvy*. Она выбирается так, чтобы *Kvмакс* находилась в пределах:

- $0,6Kvy \le Kvмакс \le 0.92Kvy$ при линейной пропускной характеристике;

- $0,22Kvy \le Kvмакс \le 0,75Kvy$ при равнопроцентной пропускной характеристике.

Во-вторых, *Kvмин* должна находиться на таком участке характеристики, чтобы сохранялась регулируемость и стабильная работа регулирующего клапана, т.е. не слишком близко от закрытого положения. Диапазон регулирования указывается в технической документации на клапаны.

В-третьих, выбирают условный проход клапана *DN* так, чтобы

$$0,25D_{mp} \le DN \le D_{mp}.$$

В-четвертых, проверяют максимальную скорость среды в трубопроводе. На выходе из регулирующего клапана она должна быть не более:

- $V_2 \le 10$ *м/с* для жидкости (скорость, при которой гарантируется отсутствие вибраций);

- $V_2 \le 90$ *м/с* для газа (скорость, при которой гарантируется допустимый уровень звукового давления 10 *дБА*).

В каталогах всегда приводится еще один важный параметр регулирующего клапана, указывающий на исходное положение плунжера при отсутствии энергии внешнего источника. Клапаны подразделяются на нормально-открытые и нормально-закрытые. Нормально-открытые (НО) - затвор открыт при отсутствии энергии внешнего источника, а нормально-закрытые (НЗ) - затвор закрыт при отсутствии энергии внешнего источника.

Перемещение плунжера происходит благодаря наличию в регулирующем клапане привода (исполнительного механизма), на чувствительный элемент которого передается управляющий сигнал. Чаще всего используются пневматические мембранно-пружинные исполнительные механизмы (МИМ) или поршневые (ПИМ) ввиду их безопасности и относительной дешевизны; применяются также гидравлические, электрические (ЭИМ) и электромагнитные приводы.

В пневматическом мембранно-пружинном исполнительном механизме под воздействием управляющего сигнала мембрана создает усилие, действующее на возвратную пружину и шток, соединенный со штоком клапана. Обратный ход совершается под воз-

действием пружины. В беспружинном исполнительном механизме мембрана перемещается в обе стороны сжатым воздухом, газом или жидкостью, либо при помощи груза.

При отсутствии потока рабочей среды через клапан перемещение штока будет пропорционально развиваемому приводом усилию, с погрешностью в пределах 4-6%. В пневматических исполнительных механизмах столь высокая погрешность объясняется наличием в них зоны нечувствительности – разности значений управляющего сигнала при прямом и обратном ходе плунжера, измеренных при одном и том же значении хода.

В рабочих условиях, особенно плунжер неуравновешенной конструкции, испытывает воздействие рабочей среды, вызывающее рассогласование между усилием привода и ходом гораздо большее, чем при незаполненном клапане. Для повышения точности регулирования к исполнительному механизму присоединяют позиционер – пневматический или электропневматический усилитель с обратной связью по положению штока исполнительного механизма. Управляющий сигнал в этом случае поступает на позиционер, который формирует усилие для установки штока в нужном положении.

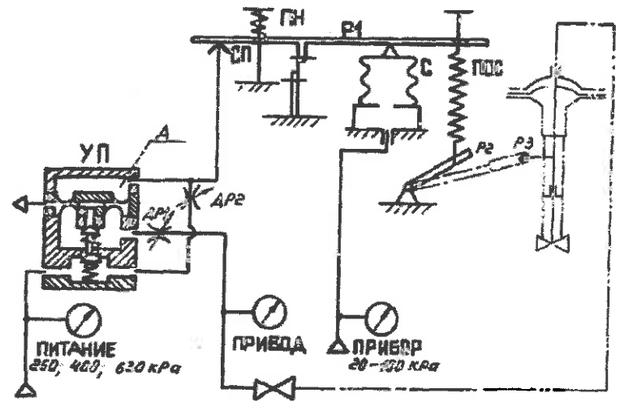
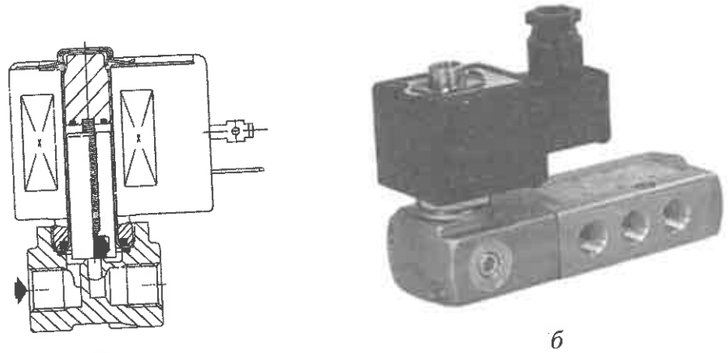


Рис. 4.10. Принципиальная схема позиционера (тип ПП)

На рисунке 4.10 приведена принципиальная схема позиционера ПП Саранского приборостроительного завода. Командный сигнал (линия ПРИБОР) поступает в сильфон С, деформация которого нарушает равновесие рычага Р1. Рычаг Р1 (при повышении давления) прикрывает сопло СП, в результате чего повышается давление в полости А пневматического мембранного усилителя УП. В средней камере усилителя прекращается сообщение с атмосферой, воздух питания из нижней камеры через дроссель ДР1 поступает в рабочую полость привода.

Шток клапана перемещается, воздействуя через рычаги Р2 и Р3 на пружину обратной связи ПОС. Увеличение усилия пружины обратной связи ПОС происходит до тех пор, пока вновь не будет достигнуто равновесие на рычаге Р1. В момент, когда наступает равновесие, сильфон возвращается в первоначальное состояние. Рычаг Р1, выполняющий роль заслонки, отходит от сопла СП, в камере управления устанавливается атмосферное давление, и подача воздуха питания к приводу прекращается. Таким образом, каждому значению давления управления будет соответствовать определенное положение подвижного элемента регулирующего клапана.

В системах пневмо- и газоавтоматики широкое применение получили двухходовые и распределительные клапаны с электромагнитным приводом: электромагнитные, или соленоидные клапаны (рис. 4.11). В зависимости от количества обслуживаемых линий и положений подвижного элемента их обозначают 2/2, 3/2, 4/2, 5/2, 5/3. Первое число означает количество портов (линий), второе - количество позиций золотника.



а *б*

Рис.4.11. Электромагнитные клапаны
а - 2/2-ходовой, *б* -5/2-ходовой (распределитель)

В современных системах управления сложными технологическими процессами регулирующие клапаны получают команды от программируемого контроллера, в котором управляющие алгоритмы формируются на основе опроса и обработки информации от датчиков. Задания для регулируемых параметров вводятся с компьютера, на экране которого отображаются текущие значения измеряемых технологических параметров и положение затвора регулирующего клапана.

4.8.2 Регуляторы прямого действия

Конструктивно регулятор прямого действия представляет собой вариант односедельного или двухседельного регулирующего клапана, который работает без постороннего источника энергии. В регуляторе источником энергии является сама рабочая среда.

Она подводится к мембранному, сильфонному или поршневому приводу посредством импульсной трубки, которая врезана в трубопровод перед арматурой или после нее. Соответственно, регулятор носит название «до себя» или «после себя».

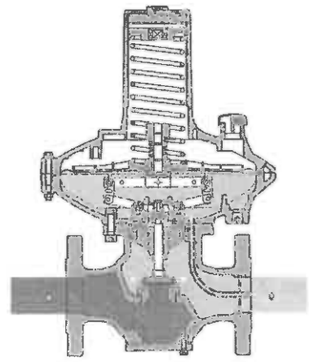
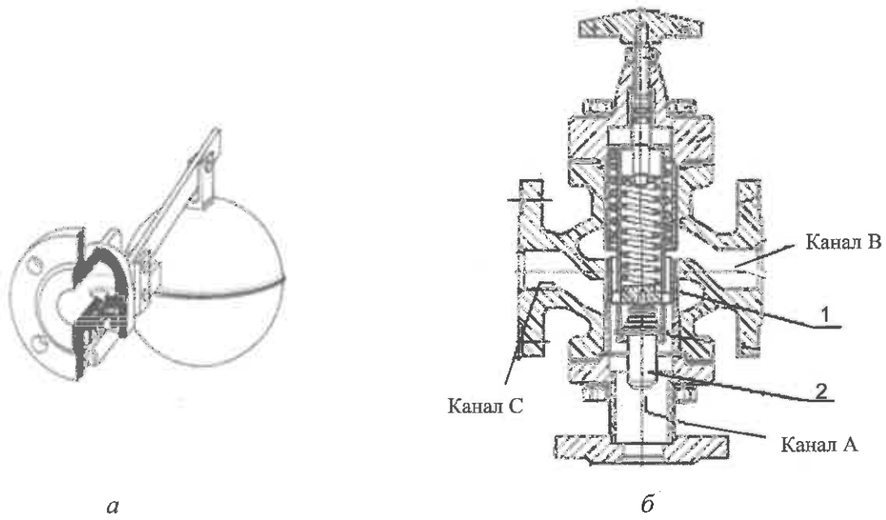


Рис. 4.12. Регулятор давления «после себя»

С помощью пружины или груза регулятор настраивают на некоторый узкий интервал давлений, при котором затвор открыт для прохода жидкости. В регуляторе давления «после себя» тарелка плунжера установлена сверху седла (рис. 4.12).



а *б*

Рис. 4.13. Регуляторы прямого действия
а - регулятор уровня, *б* - регулятор температуры

При повышении давления в трубопроводе мембрана, преодолевая действие груза, перемещается вниз, и плунжер перекрывает проход в седле, доводя давление после регулятора до нужной величины. В регуляторе «до себя» тарелка плунжера установлена снизу седла. При повышении давления в трубопроводе мембрана, опускаясь, увеличивает проходное сечение в седле, и давление перед регулятором снижается до заданного предела.

Если регулятор давления «после себя» работает в условиях, когда отрегулированное давление после регулятора P_2 меньше половины входного давления P_1, такой регулятор называют редукционным клапаном.

Диапазон применения регуляторов прямого действия: условный диаметр *DN* 30÷800 *мм*, условное давление *PN* не более 40 *МПа* (400 *кгс/см*^{2}), расчетная температура среды от минус 200 до +600 ^{0}C.

4.9 Регуляторы уровня и температуры

4.9.1 Регуляторы уровня и температуры прямого действия

В регуляторе уровня, называемого также поплавковым клапаном (рис. 4.13, *а*) поплавок служит датчиком положения, его перемещение через рычаг передается на регулирующий элемент клапана.

В регуляторе температуры (терморегулятор типа РТ-ТС) регулирующий элемент 1 перемещается в зависимости от изменения объема твердого наполнителя датчика температуры 2 (рис.4.13, б).

4.9.2 Регуляторы непрямого действия

Если требуется высокая точность поддержания давления, применяют регуляторы **непрямого** действия. Главный регулятор снабжен вспомогательным (импульсным, или пилотным) устройством, которое, в свою очередь, может быть небольшим регулятором прямого действия. Его задача состоит в точном регулировании проходного сечения главной арматуры. При этом импульсное устройство может устанавливаться отдельно, даже на значительном расстоянии от главной арматуры, в том числе в релейных системах, управляемых с центрального пульта.

4.9.3 Другие типы регулирующей арматуры

В качестве регулирующей арматуры, помимо регулирующих клапанов, исполнительных устройств и регуляторов прямого и непрямого действия, используются и другие типы арматуры. К ним относятся шаровые краны (иногда неправильно называемые шаровыми клапанами) и дисковые затворы (часто называемые регулирующими или дроссельными заслонками). Для повышения точности установки затвора в требуемое положение эта арматура, так же как регулирующие клапаны, оснащается пневматическим или электропневматическим позиционером, указателем положения штока и концевыми выключателями.

4.10 Предохранительная арматура

Предохранительная арматура служит для выпуска из трубопровода, технологического аппарата или сосуда избыточного объема рабочей среды, создающего повышенное давление, не предусмотренное нормальным ходом технологического процесса.

Чаще всего для целей предотвращения разрушения сосудов и аппаратов применяют предохранительные клапаны, реже - предохранительные (разрывные) мембраны; применяется также сочетание этих типов устройств.

Предохранительные клапаны подразделяются на клапаны прямого действия, открывающиеся непосредственно под действием давления рабочей среды, и непрямого действия, в которых открытие осуществляется с помощью дополнительного устройства.

После окончания сброса давление в объекте снижается до величины меньшей давления начала открытия клапана, и он автоматически закрывается под действием силы, которая была преодолена в процессе срабатывания клапана.

Давление может сбрасываться в атмосферу (для экологически безопасных продуктов) и в закрытую систему (байпас, емкость, трубопровод на факел). Соответственно используются клапаны с открытой и закрытой крышкой. Варианты трубопроводной обвязки при этом будут различными.

4.10.1 Предохранительные клапаны прямого действия

В клапанах прямого действия возврат золотника в положение закрытия происходит с помощью нагружающей пружины, мембраны или груза, смонтированного на рычаге (рычажно-грузовой клапан) или непосредственно на штоке (грузовой клапан).

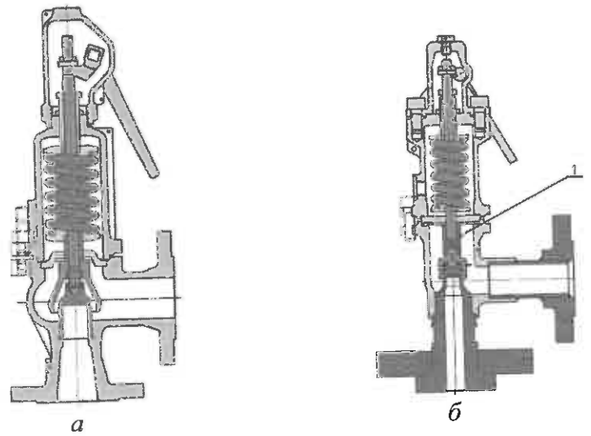


Рис. 4.14 Пружинный предохранительный клапан
а - в закрытом положении, *б* - в закрытом положении с сильфоном 1

Наибольшее применение в нефтепереработке, нефтехимии и химии нашли клапаны пружинные, в которых герметизация запорного органа обеспечивается усилием спирально-навитой пружины (рис. 4.14).

Предохранительные клапаны могут иметь угловой (как правило) или проходной корпус. Независимо от типа корпуса клапаны устанавливаются вертикально так, чтобы при закрывании седла шток опускался вниз. Подавляющее большинство предохранительных клапанов выпускается с одним седлом в корпусе, но изготовляются клапаны и с двумя седлами, работающими параллельно.

Конструкции предохранительных клапанов различают по высоте подъема золотника: малоподъемный клапан: ход запирающего элемента не превышает 1/20 от наименьшего диаметра седла; полноподъемный клапан: ход запирающего элемента составляет 1/4 и более от наименьшего диаметра седла. Существуют клапаны с высотой подъема золотника менее 0,25, но более 0,05 диаметра седла, такие клапаны можно назвать среднеподъемными.

В малоподъемных и среднеподъемных клапанах величина подъема золотника над седлом зависит от давления среды, поэтому их условно можно назвать клапанами пропорционального действия, хотя подъем золотника (тарелки) не пропорционален давлению рабочей среды. Клапаны пропорционального действия используются на несжимаемых средах, когда нет опасности взрыва; часто их называют перепускными, реже – разгрузочными, и даже регуляторами давления "до себя".

В полноподъемных клапанах при работе на газовой среде открытие клапана происходит сразу на полный ход золотника, поэтому их называют предохранительными клапанами двухпозиционного действия. В этих клапанах после небольшого повышения давления золотник рывком поднимается на заданную величину практически без изменения давления среды. Чтобы создать достаточную подъемную силу в полноподъемных клапанах, конструкция пары седло-золотник должна обеспечить условия, при которых струя, отражаясь от тарелки, резко изменяет направление. Создаваемая реактивным действием при повороте струи сила поднимает тарелку на полную высоту.

Полноподъемные клапаны характеризуются быстротой срабатывания на полный ход золотника. Они обеспечивают высокие значения пропускной способности при сравнительно малых превышениях давления в защищаемой системе. Время открытия этих клапанов 0,008 ÷ 0,04 секунды. Современные полноподъемные клапаны обычно применимы как на газовых, так и на жидких средах.

Для защиты пружины от воздействия агрессивной рабочей среды, высокой или низкой температуры среды подвижной узел клапана дополняют сильфоном, который при равенстве его внутреннего диаметра диаметру прохода в седле защищает клапан от воздействия противодавления (давления в линии сброса). Такая же нейтрализация противодавления достигается применением уравновешивающего поршня.

К конструкции предохранительного клапана предъявляются следующие требования:

- при достижении максимально допустимого давления клапан должен безотказно открываться до полного подъема и пропустить рабочую среду в требуемом количестве;

- в открытом состоянии клапан должен работать устойчиво без вибраций;

- клапан должен начать закрываться при давлении немного ниже расчетного, и при последующем возрастании давления до расчетного обеспечить требуемую степень герметичности;

- в закрытом состоянии клапан должен обеспечивать требуемую степень герметичности при расчетном давлении.

В пружинном предохранительном клапане большая часть этих требований обеспечивается соответствующей жесткостью и размерами пружины. Каждый клапан снабжен набором сменных пружин, позволяющим отрегулировать клапан на заданное давление срабатывания.

Согласно ГОСТ 12.2.085-2002 пружинные и грузовые клапаны должны быть оснащены ручным устройством (рычагом) для проверки исправности действия клапана во время работы объекта. Возможные причины неисправности: прикипание, примерзание, полимеризация, забивание клапана рабочей средой.

Рычаг связан со штоком через кулачковый механизм, который позволяет выполнить принудительное открытие (подрыв) клапана при давлении значительно меньшем, чем давление настройки (80 %).

Допускается устанавливать клапан без приспособления для принудительного открывания, если оно недопустимо по свойствам рабочей среды (вредная, взрывоопасная и т.д.) или по условиям ведения технологического процесса. В этом случае проверку клапанов проводят периодически в сроки, установленные технологическим регламентом, но не реже одного раза в 6 месяцев, при условии исключения возможности прикипания или сходных явлений.

При проектировании систем защиты от разрушения объектов, работающих под давлением, особенно тщательно относятся к выбору параметров предохранительных устройств. Перед инженером проектного отдела, помимо выбора конструкции, встает задача расчета и выбора размера и если необходимо, количества клапанов, которые обеспечат своевременный сброс среды, т.е. необходимую пропускную способность предохранительного клапана.

Согласно ГОСТ 12.2.085-2002 количество клапанов, их размеры и пропускная способность выбираются так, чтобы в сосуде не могло создаваться давление, превышающее расчетное:

- более чем на 0,05 *МПа* (0,5 *кг/см*^{2}) для сосудов с давлением до 0,3 *МПа*,
- более чем на 15 % - для сосудов с давлением выше 0,3 до 6,0 *МПа*,
- более чем на 10 % - для сосудов с давлением выше 6,0 *МПа*.

В этих, казалось бы, ясно сформулированных условиях не видна взаимосвязь параметров защищаемой системы и параметров предохранительных клапанов, которые предстоит выбрать.

Параметрами защищаемой системы являются:

- расчетное давление $P_{расч}$: избыточное давление, на которое производится расчет прочности сосуда в соответствии с ГОСТ 14249;

- рабочее давление $P_{раб}$: наибольшее избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана. Под нормальным протеканием рабочего процесса следует понимать условия (давление, температуру), при сочетании которых обеспечивается безопасная работа сосуда;

- разрешенное давление: максимальное допустимое внутреннее или наружное давление, установленное по результатам технического освидетельствования или технического диагностирования;

- давление аварийного сброса $P_{max}^{ав}$: максимально допустимое давление в защищаемой системе в процессе аварийного сброса.

К параметрам системы следует также отнести параметр, который выбирают на основе анализа защищаемой системы, но относящийся и к предохранительному клапану, а точнее, к любому предохранительному устройству, так как с его помощью необходимо начать сброс возросшего до недопустимой величины давления. Этот параметр - давление начала открытия $P_{но}$: избыточное давление на входе в предохранительный клапан, при котором усилие, стремящееся открыть клапан, уравновешено усилиями, удерживающими запирающий элемент на седле. Другое, более простое определение - это избыточное давление перед клапаном, при котором клапан сделает первый хлопок во время эксплуатации. То есть, при давлении начала открытия заданная герметичность в затворе клапана нарушается и начинается подъем запирающего элемента.

В зарубежной практике давлению $P_{но}$ соответствует термин Set pressure, который определяется как избыточное давление на входе в клапан, на которое он был настроен для открытия в рабочих (расчетных) условиях.

К параметрам предохранительного клапана относятся:

- давление настройки $P_н$: наибольшее избыточное давление на входе в клапан, при котором затвор закрыт и обеспечивается заданная герметичность затвора. Давление настройки $P_н$ должно быть не менее расчетного давления в оборудовании $P_{расч}$;

- давление полного открытия $P_{по}$: избыточное максимальное давление перед предохранительным клапаном при достижении полного его открытия. При давлении полного открытия совершен ход арматуры и достигнута его максимальная пропускная способность;

- давление закрытия $P_з$: избыточное давление на входе в предохранительный клапан, при котором после сброса рабочей среды происходит посадка запирающего элемента на седло с обеспечением заданной герметичности затвора;

- пропускная способность: массовый расход рабочей среды через клапан.

Из определений давления настройки $P_н$ и давления начала открытия $P_{но}$ можно понять, что эти параметры численно очень близки, достаточно почти неуловимого приращения к давлению настройки, чтобы герметичность затвора была нарушена, и началось открывание и срабатывание клапана.

Обилие терминов и понятий в данной области, по-видимому, отражает стремление специалистов как можно точнее выразить численно тонкости сложного процесса сброса давления через предохранительный клапан.

При выборе и настройке предохранительного клапана всегда должны выполняться следующие условия:

$$P_н > P_{раб} \ , \qquad (4.1)$$

$$P_{но} \le P_{расч} \ , \qquad (4.2)$$

$$P_{по} \le P_{max}^{ав} \ . \qquad (4.3)$$

Условие 4.1 обеспечивает нормальное протекание технологического процесса без срабатывания предохранительных клапанов. Разница $P_н - P_{раб}$ должна быть достаточной, чтобы незначительные колебания давления не приводили к срабатыванию системы аварийного сброса. Условие 4.2 обеспечивает срабатывание системы аварийного сброса при превышении расчетного давления. Условие 4.3 гарантирует полное открытие клапана до достижения максимально допустимого давления в защищаемой системе в процессе аварийного сброса $P_{max}^{ав}$. Тем самым при давлении $P_{max}^{ав}$ обеспечивается полная пропускная способность клапана, заявленная изготовителем.

Для системы, включающей несколько параллельно установленных предохранительных клапанов (в том числе с различными характеристиками), условия 4.1 и 4.3 должны выполняться для всех клапанов, а условие 4.2 – хотя бы для одного из них.

При выборе одного предохранительного клапана давление $P_{но}$ принимают равным расчетному давлению:

$$P_{но} = P_{расч} \qquad (4.4)$$

Если целесообразно, $P_{но}$ принимают меньшим расчетного, но так, чтобы выполнялось условие 4.1. Для системы клапанов давление начала открытия части (но не всех!) клапанов может даже превышать $P_{расч}$, но не более чем на 5%.

Здесь уместно упомянуть еще одну характеристику предохранительного клапана, часто встречающуюся в литературе - установочное давление. Если давление начала открытия $P_{но}$ задается технологом по совокупности параметров и состояния защищаемой системы и может быть равно расчетному давлению, меньше или даже больше него, то установочное давление есть характеристика самого клапана, формируемая на стенде с учетом противодавления. То есть клапан должен начать открываться и начинать сброс при назначенном $P_{но}$, а как достигнуть этой величины – зависит от конструкции предохранительного клапана и величины противодавления. Для пружинного предохранительного клапана установочное давление, или регулировочное давление пружины, есть избыточное давление перед клапаном, при котором клапан сделает первый хлопок во время регулировки его на стенде сжатым воздухом или начнет терять герметичность в затворе при испытании водой.

Для обычных (не сбалансированных) клапанов $P_{уст}$ принимается равным давлению начала открытия минус статическое противодавление. При отсутствии противодавления (сбросе в атмосферу) $P_{уст} = P_{но}$. Вот почему часто эти параметры путают, и даже в ГОСТ Р 52720 они считаются синонимами, правда, $P_{уст}$ снабжен пометкой «не рекомендуемый». Для сбалансированных клапанов вычитать статическое противодавление не требуется.

В зарубежных (преимущественно американских) каталогах можно встретить еще один термин: холодное дифференциальное пробное давление CDTP (Cold differential test pressure). Это установочное давление пружины клапана для работы в системе с противодавлением. Если температура сбрасываемого продукта значительно отличается от температуры при настройке на стенде, то при расчете регулировочного давления пружины может быть введен дополнительный поправочный коэффициент, учитывающий линейное расширение деталей клапана и предоставляемый изготовителем клапана.

Теперь можно выразить основное условие выбора предохранительного клапана по ГОСТ 12.2.085-2002 через его параметры:

$$P_{по} = \begin{Bmatrix} P_{но} + 0{,}05 & \text{при} & P_{но} \le 0{,}3 \\ 1{,}15\,P_{но} & \text{при} & 0{,}3 < P_{но} \le 6{,}0 \\ 1{,}1P_{но} & \text{при} & P_{но} > 6{,}0 \end{Bmatrix}.$$

Пропускная способность рассчитывается по формулам, приведенным в Приложении А ГОСТ 12.2.085-2002, в зависимости от физических свойств среды (жидкость, газ, водяной пар), давлений до и после клапана (P_1 и P_2) и конструктивных параметров клапана (наименьшей площади прохода седла F и коэффициента расхода α по газу или по жидкости).

В ГОСТ 12.2.085-2002 регламентируется еще один конструктивный параметр предохранительного клапана - давление закрытия $P_з$. Это снизившееся после сброса давление перед клапаном, достаточное для того, чтобы пружина смогла посадить золотник на седло и удерживать его с некоторой герметичностью. Согласно ГОСТ $P_з$ должно быть не менее, чем $0{,}95P_н$. На практике это требование не всегда выполняется.

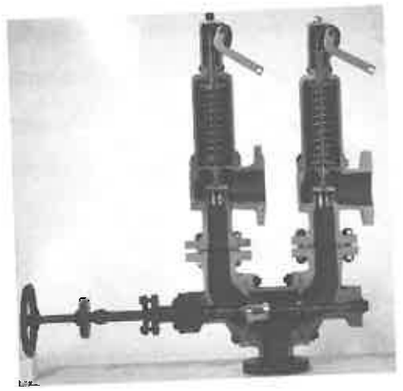


Рис. 4.15. Предохранительные клапаны с переключающим устройством

Желательно (хотя и не строго обязательно) выполнение условия $P_з \geq P_{раб}$. Это условие гарантирует самостоятельное закрытие предохранительного клапана без дополнительного сброса давления или ручного закрытия клапана. При установке нескольких клапанов это условие должно выполняться для всех клапанов.

Для пожаро- и взрывоопасных веществ и веществ 1-го и 2-го классов опасности применяют сочетание рабочего и резервного клапанов. Резервный клапан должен иметь равную с рабочим пропускную способность, обеспечивающую полную защиту сосуда от превышения давления сверх допустимого. Для надежного перехода с работы одного клапана на другой используется переключающее устройство (ПУ) в виде трехходовой арматуры (рис. 4.15). Трехходовая арматура постоянно соединяет защищаемое оборудование только с одним из предохранительных клапанов; переключение на другой клапан производится маховиком.

Наиболее безопасные условия для демонтажа и ремонта предохранительного клапана создает блок, в котором используются одновременно два ПУ, одно из которых подключается к входу, а другое – к выходу предохранительных клапанов (рис. 4.16). Валы переключающих устройств соединены цепной передачей.

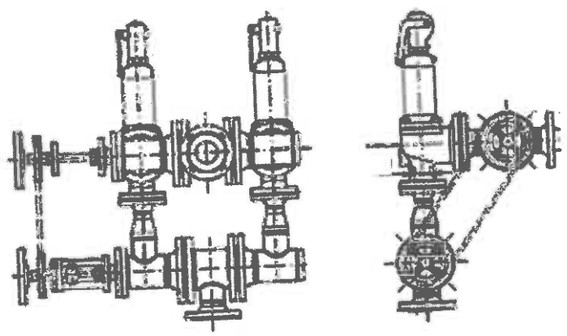


Рис. 4.16. Блок предохранительных клапанов с переключающими устройствами

4.10.2 Предохранительные клапаны непрямого действия

Клапаны непрямого действия подразделяются на

- импульсно-предохранительные, в которых импульсом для срабатывания служит рабочая среда, поступающая из импульсного (пилотного) предохранительного клапана, настроенного на заданное повышение давления;

- клапаны со вспомогательным управлением, или с клапаном управления, в которых осуществляется принудительное открытие от постороннего источника энергии.

- клапаны со вспомогательным управлением комбинированные - клапаны, в которых главный клапан может работать и как клапан прямого действия на случай прекращения подачи энергии.

В импульсно-предохранительном клапане (рис. 4.17) давление из входа главного клапана передается через систему трубок на пилотный клапан и в пространство над золотником. Так как площадь воздействия давления сверху больше площади седла, клапан закрыт до тех пор, пока повышение входного давления не поднимет поршень пилотного клапана, который отсекает от входного давления пространство над золотником.

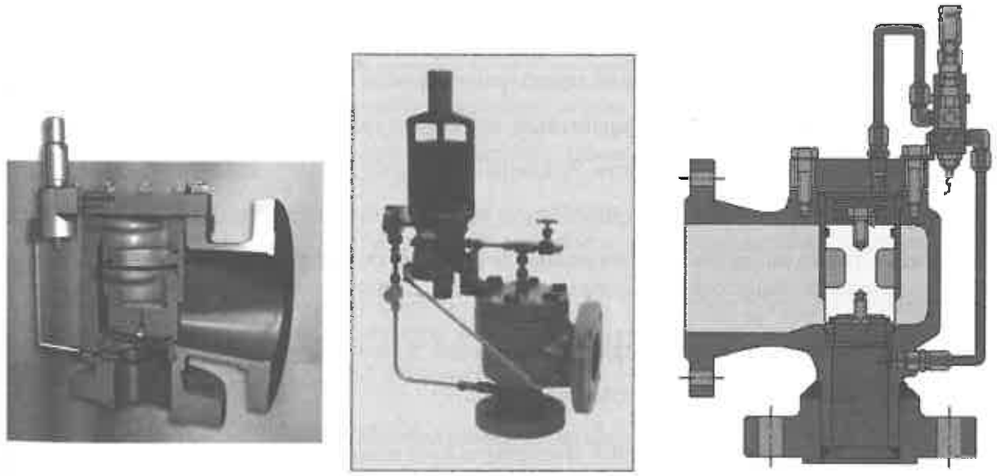


Рис. 4.17. Импульсно-предохранительные клапаны

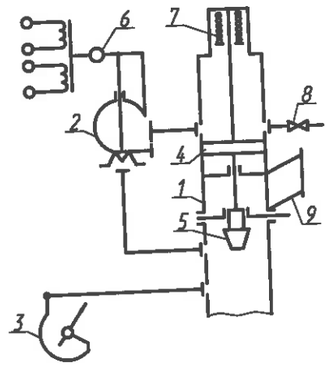


Рис 4.18. Схема действия ИПУ (импульсно- предохранительного устройства)
1- главный предохранительный клапан; 2 - импульсный предохранительный клапан;
3 - контактный манометр; 4 - поршень главного предохранительного клапана;
5 - затвор главного предохранительного клапана; 6 - электромагнитный привод;
7 - пружина; 8 - запорный клапан; 9 - выпускной патрубок.

Одновременно открывается отверстие для сброса рабочей среды из этого пространства в атмосферу или выходной патрубок. При понижении давления в системе поршень пилотного клапана опускается, восстанавливая воздействие входного давления на верхнюю поверхность золотника главного клапана, обеспечивая, таким образом, его закрытие. Существуют конструкции с двумя выходными патрубками (для двухфазных сред и вскипающих жидкостей).

Вспомогательное управление предохранительным клапаном может осуществляться разными способами: электромагнитным приводом (рис. 4.18), с помощью пневмоцилиндра и других силовых устройств. К клапанам, приводимым в действие вспомогательным управлением, приходится прибегать в условиях больших проходов и/или высоких давлений, а также на особо ответственных и опасных объектах, например на паровых установках.

Конструкция клапана непрямого действия должна обеспечивать его закрывание при давлении не менее 95 % давления настройки.

4.10.3 Дыхательные клапаны

Дыхательные клапаны (рис. 4.19) поддерживают заданное давление в резервуарах, предохраняя их от деформации при чрезмерном повышении давления (выше 200 *мм* водяного столба) или образовании вакуума (менее 40 *мм* водяного столба). При поступлении нефтепродукта в резервуар или при изменении объема в результате повышения температуры в газовом пространстве резервуара повышается давление, такое же давление создается в корпусе клапана. При определенном давлении газо-воздушная смесь из резервуара приподнимет тарелку 2, освободив ее выход в атмосферу под избыточным давлением. По-

сле достижения заданного давления в газовом пространстве тарелка опустится на седло. При сливе нефтепродукта из резервуара или при понижении температуры вакуум, образовавшийся в газовом пространстве резервуара, после достижения определенной величины втягивает тарелку 4 в патрубке для вакуума, отрывая ее от седла, и в резервуар поступает атмосферный воздух до снижения вакуума.

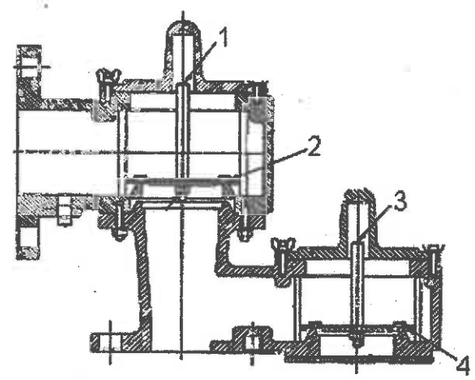


Рис 4.19. Дыхательный клапан

4.10.4 Правила установки предохранительных клапанов в трубопроводе

Рычажно-грузовые клапаны допускается устанавливать только на стационарных сосудах.

Клапаны на вертикальных сосудах следует устанавливать на верхнем днище, а на горизонтальных сосудах - на верхней образующей в зоне газовой (паровой) фазы.

Клапаны следует устанавливать в местах, исключающих образование застойных зон.

Установка запорной арматуры между сосудом и клапаном, а также за клапаном не допускается, кроме варианта применения блока предохранительных клапанов, исключающего возможность одновременного закрытия запорной арматуры на рабочем и резервном клапанах (ГОСТ 12.2.085-2002, пункты 4.10, 4.11).

4.10.5 Предохранительные мембраны

Это предохранительные устройства одноразового использования: при их разрушении полностью теряется продукт, находящийся в системе. По характеру разрушения мембраны подразделяют на разрывные, хлопающие, ломающиеся, срезные, отрывные и специальные с принудительным разрушением от прокалывания или взрывной искры.

Наибольшее распространение получили разрывные и хлопающие мембраны. Разрывную мембрану применяют для жидких и газообразных сред, хлопающую – в основном для газов.

Самые простые - разрывные мембраны со сплошным куполом - изготавливаются из тонколистового проката пластичных металлов: нержавеющих сталей, никеля, алюминия.

На низкое давление срабатывания применяют разрывные мембраны с радиальными или круговыми рисками или мембраны с прорезями. Мембраны с прорезями двухслойные, они имеют дополнительную герметизирующую подложку из коррозионностойкого и малопрочного материала (фторопласт, полиэтилен и т.п.).

Хлопающие мембраны применяются в основном для аппаратов, работающих под вакуумом или подвергаемых периодическому вакуумированию. Хлопающая мембрана (рис.4.20) представляет собой цельнометаллический куполообразный диск. Расчетное давление воздействует на выпуклую поверхность. При достижении требуемого давления срабатывания мембрана теряет устойчивость и с резким хлопком выворачивается в обратную сторону. При этом она разрезается перекрещивающимися ножами узла крепления и освобождает требуемую площадь сбросного сечения.

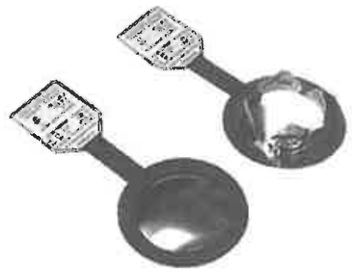


Рис.4.20. Разрывная мембрана до и после срабатывания

Давление срабатывания хлопающей мембраны определяется не прочностью материала, а устойчивостью ее сферического купола. Критическое давление потери устойчивости тонкостенной сферической оболочки под действием внешнего давления примерно на порядок меньше критического внутреннего давления ее разрыва, поэтому хлопающие мембраны дают возможность значительно снизить давление срабатывания при одной и той же толщине металлопроката.

Разрывная мембрана применяется в тех случаях, когда по условиям безопасности требуется быстрое открытие больших проходов для сброса большого количества вещества. Разрывная мембрана обладает минимальной инерционностью при срабатывании и способна сбросить среду при очень быстром повышении давления.

Она может быть использована самостоятельно, без предохранительного клапана, когда он не в состоянии нормально функционировать, например, при работе на кристаллизующихся средах.

Мембрану изготавливают на основании технического задания, в котором заказчик указывает требуемую по пропускной способности площадь сбросного сечения при срабатывании, допустимые пределы давления срабатывания, свойства среды и другие данные условий выбора

$$DN \geq D_{раб} \geq D_{расч},$$

$$P_{раб.\,макс} \leq P_{сраб} \leq nP_{расч},$$

где

$D_{раб}$ – диаметр мембраны, соответствующий площади ее раскрытия при срабатывании;

$D_{расч}$ - безопасный диаметр разгерметизации.

n - коэффициент зависящий от условий эксплуатации (принимается согласно ПБ 03-583-03[21]).

Предохранительные мембраны часто устанавливают параллельно или последовательно с предохранительными клапанами. В первом случае мембрана рассчитывается на давление срабатывания несколько более высокое, чем у предохранительного клапана, чтобы увеличить пропускную способность системы сброса давления и обеспечить дополнительный сброс среды при экстремальных условиях.

Во втором случае мембрану устанавливают перед предохранительными клапанами тогда, когда предохранительные клапаны не могут надежно работать вследствие вредного воздействия рабочей среды (коррозия, эрозия, полимеризация, кристаллизация, прикипание, примерзание) или возможных утечек через закрытый клапан взрыво- и пожароопасных, токсичных, экологически вредных и т.п. веществ. В таких случаях необходимо предусмотреть устройство, позволяющее контролировать исправность мембраны.

На выходной стороне предохранительных клапанов мембрану ставят для предотвращения вредного воздействия рабочей среды со стороны сбросной системы, а также чтобы исключить влияние колебаний противодавления на точность срабатывания клапанов. Мембрану заменяют после каждого сброса давления.

4.11 Обратные клапаны и затворы

Это самодействующие устройства, закрывающие проход при движении среды в обратном направлении.

ГОСТ Р 52720 строго разделяет обратные клапаны и обратные затворы по принципу движения запирающего элемента. Поэтому откажемся от термина «обратные поворотные клапаны», но при этом будем знать, какую конструкцию подразумевают под этим названием консервативно настроенные изготовители и потребители.

Обратный клапан имеет диск (тарелку), иногда обтекатель, совершающий возвратно-поступательное движение (рис. 4.21). Поток поднимает тарелку, которая опускается в седло под действием собственного веса или при изменении направления потока.

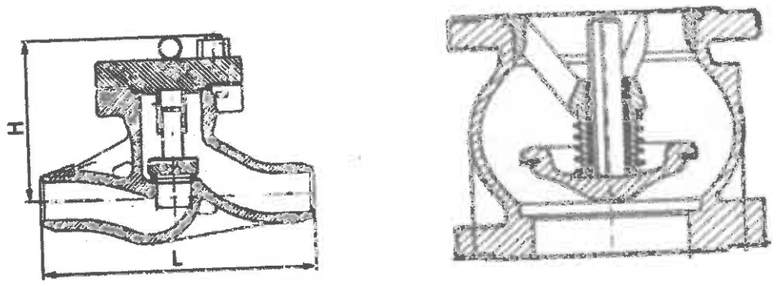


Рис 4..21. Обратные клапаны

Обратные клапаны просты и надежны, они могут быть проходными и угловыми, для их изготовления можно использовать корпус запорного клапана. Применяются главным образом на трубопроводах углеводородных газов, водяного пара и воды. Пригодны для установки на трубопроводах с пульсирующим потоком.

Некоторые конструкции обратных клапанов могут работать только в горизонтальном положении. Их не рекомендуется устанавливать на средах с большим содержанием механических примесей. Изготавливаются диаметром 200 *мм* и менее.

Обратные клапаны, имеющие на входе сетку и предназначенные для установки в начале всасывающего трубопровода, называют приемными клапанами.

В обратных затворах (рис. 4.22) диск поворачивается вокруг горизонтальной оси, расположенной выше центра седла, а центр качающегося диска совпадает с центром проходного отверстия, что гарантирует посадку в седло без перекоса. Проходящий поток держит диск в открытом положении до тех пор, пока падение давления до клапана не изменит направление потока, воздействие которого прижимает его к седлу.

Рис 4.22. Обратные затворы

Обратные затворы могут быть одно- и многодисковыми. Многодисковые применяются для больших условных проходов - вместо одного массивного диска (захлопки) ставят две или несколько захлопок меньшего диаметра, что снижает инерционность устройства.

Преимущество обратного затвора заключается в его меньшем гидравлическом сопротивлении, поэтому он является наилучшей обратной арматурой для жидкостей и при больших диаметрах трубопроводов. Обратный затвор непригоден к установке на трубопроводах с пульсирующим потоком.

4.12 Фазоразделительная арматура

4.12.1 Конденсатоотводчики

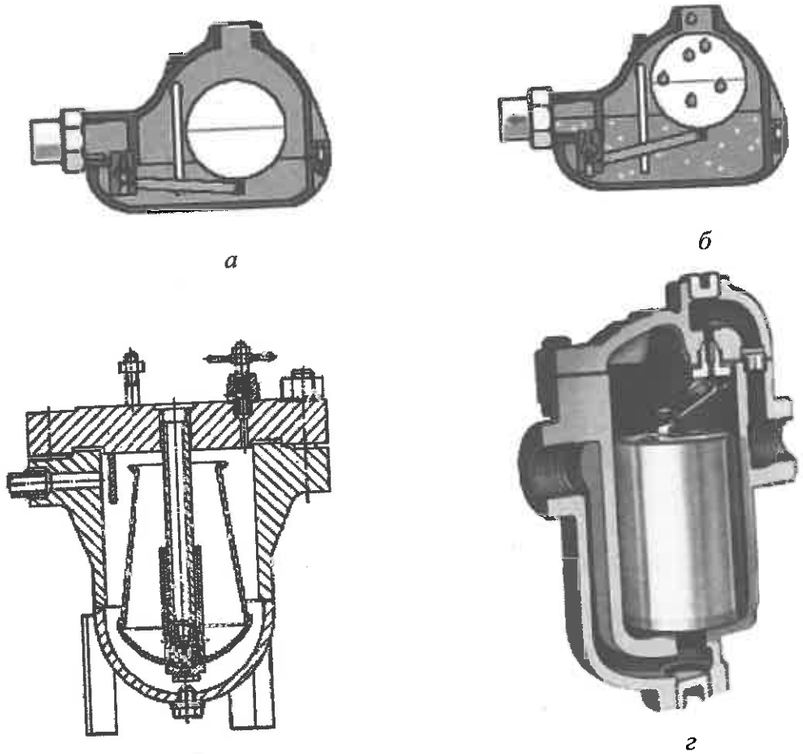
Конденсатоотводчики предназначены для автоматического отделения конденсата от пароводяной эмульсии и выпуска его из системы, поскольку он не участвует в технологическом процессе.

Конденсат образуется в результате потери паром тепла в теплообменниках и при прогреве трубопроводов и установок. Конденсатоотводчик должен выпускать жидкость и задерживать или ограниченно пропускать пар, что осуществляется с помощью гидравлического или механического затвора.

Гидравлический затвор можно создать столбом конденсата в гидравлических колонках, одним или несколькими соплами или лабиринтом, оказывающим сопротивление прохождению пара и не препятствующим движению конденсата. По такому принципу работают бесклапанные конденсатоотводчики непрерывного действия.

Конденсатоотводчики с механическим затвором подразделяются на поплавковые, термостатические и термодинамические. Поплавковые и термостатические по существу представляют собой двухпозиционный регулятор прямого действия, в котором выпуск конденсата происходит под воздействием чувствительного элемента на выпускной клапан. Чувствительным элементом и одновременно приводом служит поплавок или термоэлемент (термостат, термопластины).

Конденсатоотводчики поплавкового типа могут быть с закрытым поплавком (рис.4.23, *а, б*) с открытым поплавком, и с опрокинутым поплавком (рис.4.23, *в, г*).



а *б* *в* *г*

Рис 4.23. Поплавковые конденсатоотводчики
а, б - с закрытым поплавком, *в* – с открытым поплавком, *г* - с опрокинутым поплавком

Закрытый поплавок должен быть герметичным во избежание потери плавучести. При малом количестве конденсата клапан выпуска закрыт; по мере накопления конденсата поплавок поднимается вверх и открывает выходной клапан.

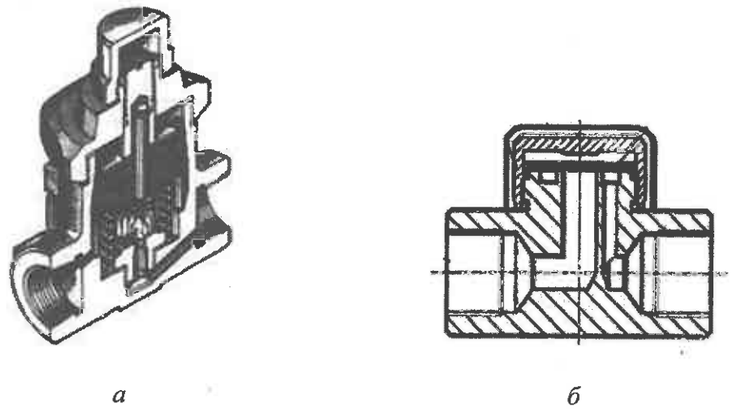
В конструкции с открытым поплавком, наоборот, работа конденсатоотводчика построена на потере плавучести поплавка: при малом количестве конденсата расположенный сверху клапан выпуска закрыт, а заполненный конденсатом поплавок опускается и открывает клапан.

В конструкции с опрокинутым поплавком необходимо заполнение гидрозатвора. Пар, попадая в опрокинутый затопленный поплавок, заставляет его всплыть и закрыть выпускной клапан. Конденсат, входящий в конденсатоотводчик, изменяет плавучесть поплавка, в результате чего поплавок тонет под действием собственного веса и открывает клапан для выпуска конденсата.

В термостатических конденсатоотводчиках управление выпуском конденсата происходит при изменении размера или формы термостата или биметаллической пластины за счет различия температур конденсата и водяного пара. В конструкции с чувствительным элементом - сильфоном (рис. 4.23, *а*) выпуск конденсата происходит тогда, ко-

гда температура конденсата и давление паров в сильфоне снизятся настолько, что сильфон, укорачиваясь, откроет отверстие седла.

Широкое применение получили термодинамические конденсатоотводчики (рис. 4.23, б), имеющие простую конструкцию и низкую стоимость. Их работа основана на взаимодействии скоростей и давления конденсата и пара внутри конденсатоотводчика, имеющего только одну подвижную деталь — тарелку, свободно лежащую на седле.



а *б*

Рис 4.23 Конденсатоотводчики
а – термостатический, *б* - термодинамический

Проходящий конденсат приподнимает тарелку и выходит через отводной канал. При поступлении пара, имеющего всегда плотность меньшую плотности конденсата, тарелка прижимается к седлу в связи с тем, что высокие скорости истечения пара создают под тарелкой зону пониженного давления. Тарелка откроется вновь, когда под нее поступит конденсат, который имеет более низкую температуру, чем пар, и еще охладится в связи с нахождением под тарелкой. Пар, находящийся над закрытой тарелкой, охлаждается, в результате чего давление над тарелкой падает, и давлением конденсата она приподнимается, пропуская его в выпускной канал.

Термодинамические конденсатоотводчики являются самыми низкоэффективными из всех перечисленных типов. Они могут применяться для дренажа паровых магистралей вне помещений, в тех случаях, когда не осуществляется возврат конденсата.

Наиболее распространенной ошибкой при выборе конденсатоотводчиков является заказ по диаметру конденсатной линии или по размеру выходного патрубка теплообменного оборудования. Очень важен выбор типа, который зависит, прежде всего, от места установки и типа аппарата, за которым устанавливается конденсатоотводчик. На выбор типа влияют параметры пара и особенности системы: характер изменения нагрузок, циклич-

ность работы, возможность гидроудара в системе при срабатывании конденсатоотводчика. Для уменьшения частоты срабатывания его размер выбирается с некоторым запасом пропускной способности. Скорость движения конденсата в конденсатопроводе принимается в пределах 0,3-2,0 *м/с*, причем меньшие скорости принимаются для линий меньших размеров.

4.12.2 Воздухоотводчики

Наличие воздуха в системах ведет к преждевременной коррозии материала трубопроводов, приборов и арматуры, вызывает появление шума и воздушных пробок, препятствующих правильному функционированию систем.

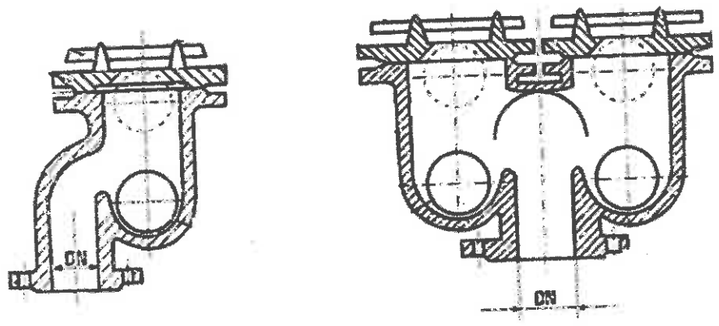


Рис. 4.25. Воздухоотводчики

Отвод воздуха из трубопровода производят с помощью простых автоматических устройств (рис. 4.25). При отсутствии воздуха шаровидный поплавок перекрывает выходное отверстие. По мере накопления воздуха в поплавковой камере он опускается, открывая выпускное отверстие, и воздух выходит в атмосферу. После удаления воздуха уровень воды в воздухоотводчике повышается, и поплавок вновь перекрывает выход.

4.13 Присоединение арматуры к трубопроводу

По способу соединения с трубами арматуру разделяют на муфтовую, цапковую, под приварку (приварную), стяжную, фланцевую и штуцерную (ниппельную).

Муфтовая арматура имеет на присоединительных концах внутреннюю резьбу. Цапковая арматура имеет наружную резьбу и буртик, иногда снабжается накидными гайками под отбортованные трубы.

Штуцерная арматура имеет присоединительные патрубки с наружной резьбой. Отличается разнообразием конструкций соединительных деталей и соединительного узла в целом, часто поставляемого вместе с арматурой. Можно выделить арматуру штуцерно-

ниппельную и штуцерно-торцевую. В штуцерно-ниппельной арматуре центральной деталью соединения является «шаровой» ниппель – штуцер со сферической уплотнительной поверхностью. В штуцерно-торцевой арматуре уплотнение осуществляется по торцевой поверхности ниппеля с помощью прокладки.

Арматура под приварку присоединяется к трубопроводу или емкости с помощью сварки. Преимуществами являются полная и надежная герметичность соединения, минимум обслуживания (не требуется подтяжки магистральных фланцевых соединений). Недостаток – повышенная сложность демонтажа и замены арматуры.

Стяжная (межфланцевая) арматура: соединение входного и выходного патрубков с фланцами на трубопроводе осуществляется с помощью шпилек с гайками, проходящих вдоль корпуса арматуры.

Фланцевая арматура – самый распространенный вид соединения с трубопроводом. Преимущества: возможность многократного монтажа и демонтажа на трубопроводе, хорошая герметизация стыков и удобство их подтяжки, большая прочность и применимость для широкого диапазона давлений и проходов. Недостатки - ослабление со временем затяжки шпилек и потеря герметичности, большие габаритные размеры и масса.
Фланцевую арматуру применяют для любых технологических трубопроводов, а приварную - для трубопроводов с повышенными требованиями к плотности и надежности соединений.

Муфтовая, цапковая и штуцерная арматура (см. также параграф 3.3.4) применяется на трубопроводах диаметром не более 40÷50 *мм*.

При проектировании трубопроводов учитываются следующие характеристики трубопроводной арматуры:

1) эксплуатационные - давление, температура, пропускная способность, коррозийная стойкость, тип привода, необходимый крутящий момент для управления арматурой, время срабатывания и т.п.;

2) конструкционно-монтажные - диаметр прохода, строительная длина и высота, тип присоединения к трубопроводу, конструкция и размеры присоединительных фланцев и т.п.

Строительная длина арматуры характеризует длину участка трубы, который арматура заменяет на трубопроводе. Для фланцевой проходной арматуры (рис. 4.2, *б* и 4.3) строительная длина L равна расстоянию между торцами присоединительных фланцев, а для угловой (рис. 4.2, *а*) - расстоянию от торца одного фланца до оси другого.

Строительная высота арматуры H определяется расстоянием от оси прохода арматуры до верхнего конца шпинделя, устанавливаемого в крайнее верхнее положение (седло

открыто). Иногда строительную высоту определяет не шпиндель, а другая, более высоко расположенная деталь конструкции (например, наружный габарит привода).

Строительные длина и высота трубопроводной арматуры учитываются при решении компоновочных задач в ограниченном пространстве (локальная обвязка оборудования, при устройстве обслуживающих площадок для ручного управления арматурой и выполнения профилактических работ).

4.14 Условные обозначения арматуры

4.14.1 Универсальные коды

Разнообразие конструкций арматуры и условий ее применения вызвало необходимость создания систем кодирования основных параметров, позволяющих изготовителю обозначить, а потребителю распознать важнейшие характеристики изделия.

Существуют две универсальные системы, называемые классификаторами продукции: международная ТН ВЭД (Товарная Номенклатура Внешне-Экономической Деятельности, 2000 года) и российская ОКП (Общероссийский Классификатор Продукции ОК 005-93).

В рамках данных систем, обозначающих все выпускаемые в мире и в России виды продукции с помощью многозначных цифровых кодов, трубопроводной арматуре присвоены коды: ТН ВЭД 84, ОКП 37 и 42. Наборы цифр, следующих за указанными кодами, позволяют идентифицировать каждую значимую группу изделий.

4.14.2 Система обозначений «таблица фигур (т/ф)»

В номенклатурных справочниках, каталогах предприятий-изготовителей и торгующих организаций в течение многих лет используются буквенно-цифровые коды, разработанные ведущей организацией в области арматуростроения ЦКБА (теперь ЗАО НПФ ЦКБА), носящие название «таблица фигур».

Согласно ГОСТ Р 52720 таблица фигур (т/ф) – это условное обозначение, представляющее собой сочетание букв и цифр, определяющих вид и тип арматуры, конструктивное исполнение арматуры, материальное исполнение корпуса, вид и материал уплотнения в затворе, вид привода.

Иначе говоря, это марка арматуры, состоящая из пяти элементов, расположенных последовательно (при отсутствии привода марка изделия состоит из четырех элементов). Первые две цифры обозначают тип арматуры (таблица 4.3), буквы за ними – материал корпуса (таблица 4.4), одна или две цифры после букв – номер модели (конструктивные особенности изделия).

При наличии трех цифр: первая из них обозначает вид привода (таблица 4.5), а две следующие – номер модели; последние буквы – материал уплотнительных поверхностей (таблица 4.6) или способ нанесения внутреннего покрытия корпуса (таблица 4.7).

Таблица 4.3

Условные обозначения типов арматуры

Тип арматуры	Код
Кран (пробно-спускной)	10
Кран для трубопроводов	11
Запорное устройство указателя уровня	12
Клапан запорный	13, 14, 15
Клапан отсечной	22, 24
Клапан обратный (подъемный или приемный с сеткой)	16
Клапан предохранительный	17
Затвор обратный (клапан обратный поворотный)	19
Клапан герметический вентиляционный	19
Клапан перепускной	20
Регулятор давления	18 ,21
Клапан распределительный	23
Клапан регулирующий	25, 26
Клапан смесительный	27
Задвижка	30, 31
Затвор поворотный дисковый	32

В отдельных случаях после кода уплотнительных поверхностей добавляют цифру, означающую вариант исполнения изделия или изготовление его из другого материала. Изделие без вставных или наплавленных колец, то есть с уплотнительными поверхностями непосредственно на корпусе или затворе, обозначается буквами "бк" («без колец»).

Таблица 4.4

Условные обозначения материала корпуса арматуры

Материал корпуса	Код
Углеродистая сталь	с
Легированная сталь	лс
Коррозионностойкая (нержавеющая) сталь	нж
Серый чугун	ч
Ковкий чугун	кч
Высокопрочный чугун	вч
Латунь, бронза	Б
Алюминий	а
Монель - металл	мн
Пластмассы (кроме винипласта)	п
Винипласт	вп
Фарфор	к
Титановый сплав	тн
Стекло	ск

Таблица 4.5

Условные обозначения видов привода арматуры

Вид привода	Условное обозначение
Под дистанционное управление	0
Механический с червячной передачей	3
То же с цилиндрической зубчатой передачей	4
То же с конической передачей	5
Пневматический	6
Гидравлический	7
Пневмогидравлический	6 (7)
Электромагнитный	8
Электрический	9

Таблица 4.6

Условные обозначения материалов уплотнительных поверхностей

Материал уплотнительных поверхностей	Код
Латунь, бронза	бр
Монель-металл	мн
Коррозионностойкая (нержавеющая) сталь	нж
Нитрированная сталь	нт
Баббит	бт
Стеллит	ст
Сормайт	ср
Кожа	к
Эбонит	э
Резина	р
Пластмассы (кроме винипласта)	п
Винипласт	вп
Фторопласт	фт

Таблица 4.7

Условные обозначения способов нанесения внутреннего покрытия

Способ нанесения внутреннего покрытия	Код
Гуммирование	гм
Эмалирование	эм
Свинцевание	св
Футерование пластмассой	п
Футерование найритом	н

Пример: 15с922нж – клапан запорный стальной проходной фланцевый с электроприводом. Расшифровка с помощью таблиц:

15 - по таблице 4.3: клапан запорный;

с - по таблице 4.4: из углеродистой стали;

9 - по таблице 4.5: с электроприводом;

22 - номер модели;

нж - по таблице 4.6: уплотнительные поверхности, наплавленные коррозионностойкой сталью.

Для арматуры с электроприводом во взрывозащищенном исполнении в конце обозначения добавляют букву Б (например, 30ч906брБ), а в тропическом исполнении – Т (например, 30ч906брТ).

4.14.3 Другие обозначения

Наряду с системой «таблиц фигур» для идентификации арматуры пользуются сокращенным названием изделия. Например, КТС – кран трехходовой стальной. Отдельные конструкции при этом обозначаются номером чертежа, по которому они изготавливаются. Иногда в обозначение вводится буква, указывающая завод-изготовитель арматуры.

Условное обозначение арматуры, предназначенной для нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности, состоит из букв и цифр. Буквы означают тип арматуры, цифры за буквами – параметры изделия. Например, ЗКЛ-200-16 – задвижка клиновая литая с условным проходом 200 *мм*, на условное давление 16 *кгс/см*^{2}; КП-160 – клапан питательный на условное давление 160 *кгс/см*^{2}.

5 ОПОРЫ И КОМПЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1 Типы опор и их назначение

Опоры служат для восприятия действующих на трубопровод нагрузок и их передачи на строительные конструкции. В некоторых случаях опоры применяют для устранения вибраций, и регулирования усилий и напряжений в трубопроводе.

По назначению опоры делятся на неподвижные и подвижные. Под неподвижными опорами обычно понимают шарнирно-неподвижные или абсолютно-неподвижные («мертвые») опоры. Первые препятствуют линейными перемещениями трубопровода, а вторые - как линейным, так и угловым.

В терминах теоретической механики шарнирно-неподвижная опора эквивалентна двум линейным связям при неподвижном закреплении точки на плоскости и трем - при ее закреплении в пространстве. Абсолютно неподвижная или мертвая опора представляет собой жесткую заделку на плоскости или в пространстве и не допускает никаких перемещений закрепляемой точки: ни линейных, ни угловых.

При наличии промежуточных шарнирно-неподвижных опор неразрезные свойства конструкции сохраняются, т.к. деформации изгиба и кручения передаются соседним пролетам. Абсолютно неподвижные опоры «разрезают» трубопровод на независимые изолированные части. Шарнирно неподвижные опоры воспринимают только осевые и поперечные силы, возникающие при работе трубопровода как конструкции. Абсолютно неподвижные опоры воспринимают как силы, так и моменты.

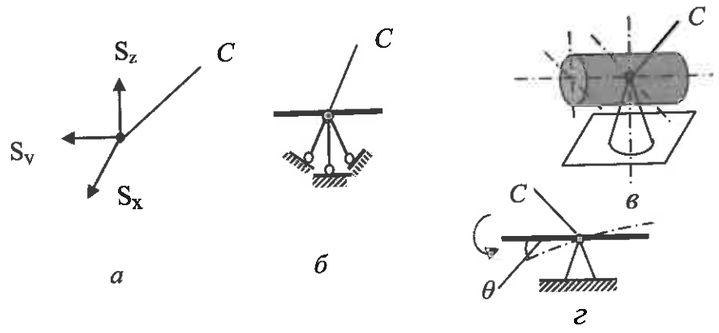


Рис.5.1. Схема и условные изображения шарнирно-неподвижной опоры

Шарнирно неподвижная опора схематически изображается при помощи трех опорных стержней с шарнирами по концам, причем верхний шарнир является общим для всех стержней (рис.5.1, *б*). Центр верхнего шарнира определяет положение опорной реакции,

компонентами которой на координатные оси являются силы S_x, S_y и S_z (рис.5.1, *а*). Направления стержней выбираются произвольно, наиболее удобно их выбирать по трем координатным осям. В расчетной модели трубопровода шарнирно - неподвижная опора обычно изображается в виде конического (рис. 5.1, *в*) или треугольного анкера (рис. 5.1, *г*), неподвижно закрепленного в основании.

Принципиальное отличие шарнирно - неподвижной опоры от мертвой показано на рис. 5.1, *г*: если слева от опоры имеет место поворот оси трубопровода на некоторый угол θ, то этот поворот будет передаваться сечениям справа от опоры (сравните с рисунком 5.2, *г*).

В расчетных моделях абсолютно неподвижная (мертвая) опора обычно изображается в виде жесткой заделки (рис. 5.2, *б* и 5.2, *в*) или крестообразного анкера (рис. 5.2, *г*). Компонентами реакций опоры являются три силы вдоль координатных осей и три момента вокруг этих осей (рис. 5.2, *а*). Если слева от опоры имеет место поворот оси трубопровода на некоторый угол θ (рис. 5.2, *г*), то этот поворот не передается сечениям трубопровода справа от опоры, т.е. имеет место жесткое защемление.

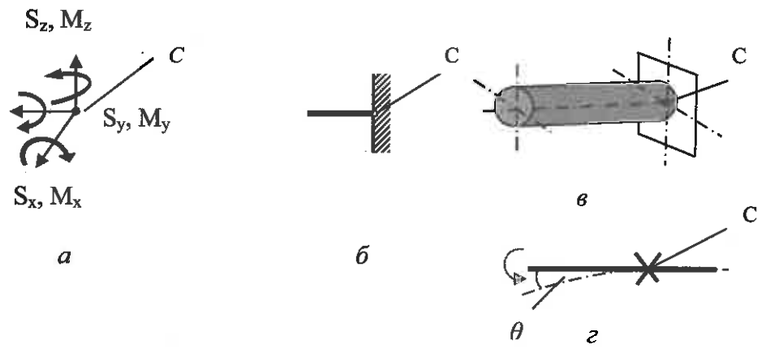


Рис. 5.2. Схема работы и условные изображения мертвой опоры

Абсолютно жесткого сопротивления линейным и угловым перемещениям в реальных конструкциях опор не существует! Металлическая опора - это упругое тело. Из курса сопротивления материалов известно: если к упругому телу приложить систему взаимно уравновешенных сил и моментов, то под их действием оно изменит свою форму и будет деформироваться до тех пор, пока не наступит равновесие межу внешними нагрузками и внутренними усилиями. При этом внешние нагрузки (от трубопровода) совершают работу, обращающуюся в потенциальную энергию деформированного тела (опоры). Если внешние нагрузки уменьшать, то тело (опора) стремиться в большей или мень-

шей степени вернуться к первоначальной форме, возвращая затраченную на его деформацию работу.

Сопротивление опоры линейным перемещениям трубопровода, обычно рассматривается как абсолютно жесткое. Такой подход обеспечивает разумные запасы, как при оценке прочности самого трубопровода, так и при определении нагрузок на опоры и строительные конструкции. Например, в промежуточных подвижных опорах сопротивление вертикальным перемещениям принимается как для жесткого тела, опирающегося на абсолютно неподвижное основание.

С сопротивлением повороту дело обстоит сложнее. Угловая податливость в реальных конструкциях, обеспечивающих неподвижное закрепление, существует всегда. Под действием изгибающего или крутящего моментов небольшие упругие деформации имеют место, как в самой конструкции опоры, так и в строительной конструкции, к которой она крепится. Достоверно оценить это влияние на упругое поведение трубопровода, удается в редких случаях. Поэтому для более надежной оценки компенсирующей способности трубопровода от температурного нагрева необходимо использовать модель неподвижной опоры с защемлением (т. е. мертвой), не допускающей никаких перемещений. Модель шарнирно неподвижной опоры рекомендуется использовать в отдельных частных случаях, когда сопротивлением опоры повороту закрепляемой точки трубопровода хотят умышленно пренебречь.

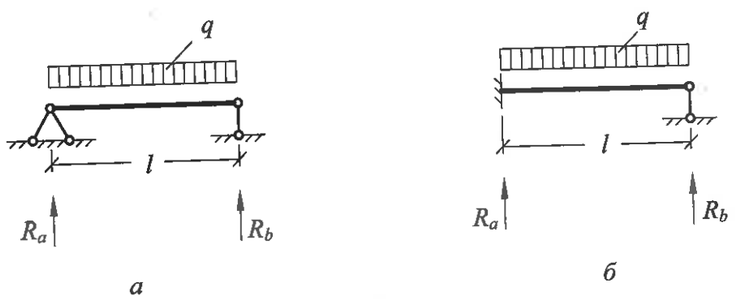


Рис. 5.3. Расчетная схема однопролетной балки
а – шарнирно опертой по концам; *б* – с жесткой заделкой на одном конце

При расчетах трубопроводов целесообразно применять ту схему, которая гарантирует больший запас прочности. Рассмотрим простейший пример: однопролетная балка, нагруженная равномерно-распределительной нагрузкой (например, собственным весом).

Если на левом конце балки шарнирно-неподвижная опора (рис. 5.3, *а*), имеем следующие вертикальные реакции:

$$R_a = R_b = \frac{ql}{2}$$

При наличии же на левом конце мертвой опоры (рис. 5.3, *б*) получим соответственно:

$$R_a = \frac{5}{8}\,ql; \quad R_b = \frac{3}{8}\,ql$$

Таким образом, при определении вертикальной нагрузки от трубопровода на строительную конструкцию в точке А лучше использовать расчетную схему с мертвой опорой, а при определении той же нагрузки в точке В - схему с шарнирно-неподвижной опорой.

В трубопроводах в роли неподвижных опор нередко выступают места крепления трубопроводов к машинам и аппаратам. Эти крепления, как правило, имеют собственные смещения, обусловленные нагревом присоединенного оборудования.

Подвижные опоры трубопроводов выполняют двойное назначение: они воспринимают и передают на строительные конструкции нагрузки от трубопровода и одновременно обеспечивают необходимую свободу его температурным перемещениям.

Схемы работ подвижных опор могут быть самыми разнообразными. Наибольшее распространение получили жесткие и упругие опоры, воспринимающие вертикальные нагрузки от веса трубопровода.

Идеальная расчетная схема жесткой подвижной опоры показана на рис. 5.4, *а*. Это шарнирно-подвижная опора, обеспечивающая свободу перемещения в горизонтальной плоскости и препятствующая перемещению трубопровода по вертикали вниз. В реальных конструкциях таких опор наибольшие трудности связаны именно с обеспечением свободы перемещений в горизонтальной плоскости.

Рис. 5.4. Схемы работы подвижных опор
а – шарнирно – подвижная; *б* - направляющая

В скользящих опорах перемещениям в горизонтальной плоскости препятствуют силы трения, которые для пары сталь-сталь достигают 30% от вертикальной нагрузки,

воспринимаемой опорой. Для уменьшения сил трения используют роликовые обоймы, изготавливаемые в комплекте с опорными направляющими плитами.

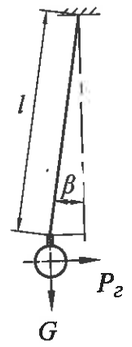


Рис. 5.5. Схема работы жесткой подвески

Бо̀льшую подвижность трубопровода по сравнению со скользящими опорами допускают опоры, выполняемые в виде жестких подвесок. Правда при отклонении подвески возникает горизонтальная сила (рис. 5.5)

$$P_г = G\ tg\beta\ ,$$

стремящаяся вернуть трубопровод в исходное положение, но при увеличении длины тяги L влияние этой силы можно свести к минимуму.

К жестким подвижным опорам относятся направляющие опоры, препятствующие линейным перемещениям трубопровода в плоскости перпендикулярной его оси (рис. 5.4, *б*). Такие опоры воспринимают нагрузки, действующие в плоскости накладываемых связей, и обеспечивают свободу перемещениям вдоль оси трубопровода. В реальных конструкциях таких опор осевое перемещение трубопровода вызывает силу трения скольжения, направленную вдоль его оси.

Упругие опоры применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить вертикальное перемещение трубопровода. Основным элементом упругой опоры является витая цилиндрическая пружина. Для придания упругой опоре требуемых свойств пружины могут устанавливаться как последовательно, так и параллельно. В пружинных подвесках они образуют вертикальные пружинные цепи. Упругие опоры регулируются с таким расчетом, чтобы в рабочем состоянии трубопровода усилия сжатия пружин уравновешивали заданную нагрузку (например, вес трубопровода).

Стремление к таким конструкциям опор, в которых реакции оставались бы постоянными независимо от перемещений трубопровода, привело к созданию опор постоянного усилия. Простейшей опорой такого типа является подвеска с противовесом (рис. 5.6).

Трубопровод с помощью троса, перекинутого через блок, удерживается контргрузом. Если контргруз уравновешивает вес трубопровода, то приведенная конструкция представляет собой жесткую подвеску с постоянным поддерживающим усилием, обеспечивающую перемещения закрепляемой точки по вертикали.

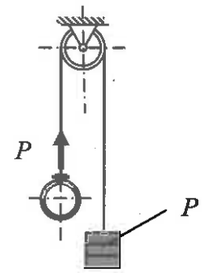


Рис. 5.6. Жесткая подвеска с контргрузом

Несмотря на простоту конструкции, опоры такого типа почти не применяются. Объяснить это можно двумя причинами: чувствительностью подвесных устройств к вибрациям и передачей бо̀льших (по сравнению с опорами других типов) нагрузок на строительные конструкции: в месте крепления блока эта нагрузка равна 2P.

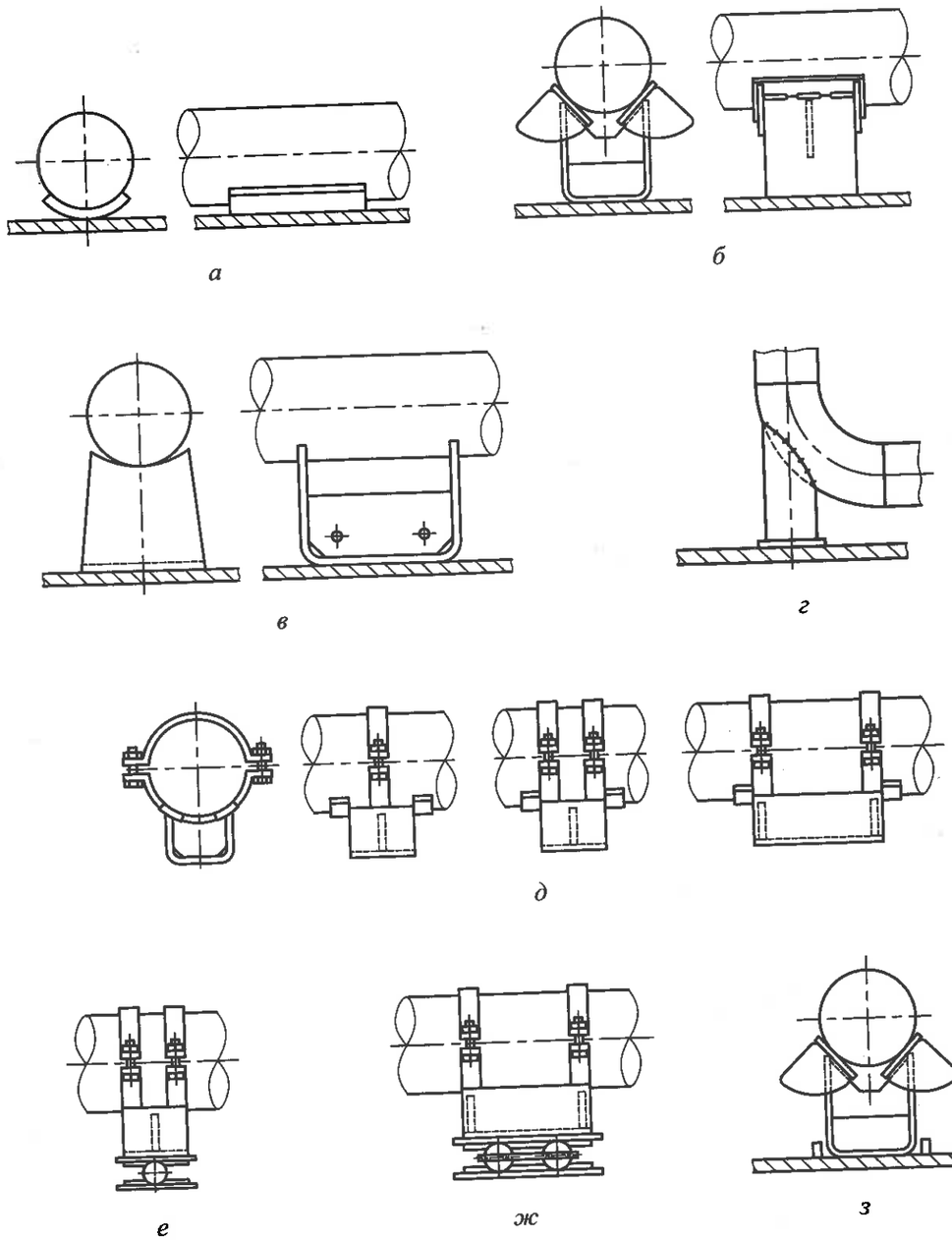
В современных конструкциях опор постоянного усилия обычно используется пружинно - рычажный механизм, с помощью которого за счет предварительной регулировки сжатия пружин обеспечивается практически постоянное поддерживающее усилие в фиксированном диапазоне возможных вертикальных перемещений.

В данном разделе описаны только основные, наиболее широко распространенные типы опор. Наряду с ними нередко встречаются опоры, схемы работы которых описываются различными комбинациями линейных и угловых связей. Все зависит от того, какие в каждом конкретном случае перемещения трубопровода надо обеспечить, а какие - запретить; какие усилия нужно воспринять или ограничить и т.д. Многообразие различных типов опор является специфичной особенностью трубопроводов, как конструкций, подверженных большим температурным расширениям.

5.2 Конструкции опор трубопроводов

Опоры трубопроводов состоят из следующих элементов:

- деталей закрепляемых на трубе (хомуты, упоры, подушки и т.д.);
- промежуточных элементов, соединяющих крепление к трубе с креплением к строительной конструкции (башмаки, тяги, пружинные цепи и т.п.);
- креплений к строительным конструкциям.



а *б* *в* *г* *д* *е* *ж* *з*

Рис. 5.7. Подвижные опоры
а, б, в, г – приварные; *д, е, ж* – хомутовые; *з* – приварная направляющая

Элементы, закрепляемые на трубе, выполняются с учетом теплоизоляционного слоя; их детали, соприкасающиеся с трубой, нагреваются примерно до температуры трубопровода.

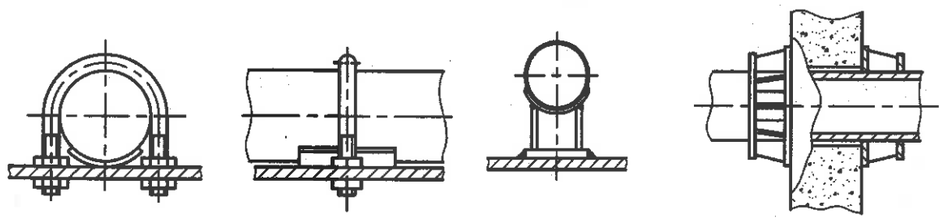
Многие элементы, соединяемые с трубами и промежуточные являются типовыми - для них разработаны стандарты, по которым эти части изготавливаются заводами и поставляются вместе с трубопроводными заготовками. Такое решение отвечает требованиям индустриализации строительно-монтажных работ. Если типовыми элементами воспользоваться нельзя, разрабатываются индивидуальные конструкции опор, которые должны изготавливаться на монтажных площадках.

Различные конструкции опор скольжения показаны на рис. 5.7. При $T_{раб} \leq 450$ °С используются приварные (рис. 5.7, *а-г*) и хомутовые (рис. 5.7, *д-ж*) опоры. Опора, показанная на рисунке 5.7, *а* применяется для не изолируемых трубопроводов с низкой температурной среды.

При более высокой температуре среды применяются опоры, позволяющие выполнить изоляцию трубопровода (рис. 5.7, *б-д*). При температуре трубопровода выше 450 °С или отсутствия возможности приварки опоры крепятся к трубопроводу хомутами. Для предотвращения проскальзывания трубопровода в опоре к нему привариваются «сухари». Опоры с хомутами широко применяются также в неметаллических трубопроводах. К элементам креплений, соединяемых со строительными конструкциями, в основном относятся кронштейны, железобетонные подушки, отверстия в перекрытиях с шайбами для закрепления подвесок, металлические стойки. Эти элементы обычно конструируются проектировщиками строительной специальности по заданиям проектировщиков-монтажников.

Выше было отмечено, что для уменьшения трения в опорах скольжения используются роликовые обоймы. Опоры такого типа называются катковыми, т.к. трение скольжения в них заменяется трением качения.

Катковая опора с роликами, оси которых перпендикулярны оси трубопровода, снижает продольные составляющие сил трения, но не уменьшает сил трения скольжения, перпендикулярных оси трубы (рис. 5.7, *е*). Двухъярусная катковая опора, (рис. 5.7, *ж*) лишена этого недостатка.



а *б* *в*

Рис. 5.8. Неподвижные опоры
а – хомутовая, б – приварная, в - щитовая

По конструкции направляющие опоры не отличаются от скользящих опор, но имеют ограничительные упоры (рис. 5.7, *з*). Во избежание перекосов и заклинивания направляющие опоры применяются обычно в плоских трубопроводах или вблизи неподвижных опор.

Неподвижные опоры показаны на рис. 5.8. Эти опоры имеют ту же конструкцию, что подвижные (рис. 5.7, *а÷д*), но основание их крепится к строительной конструкции хомутами (рис. 5.8, *а*) или на сварке (рис. 5.8, *б*). Для тепловых сетей при больших усилиях применяются лобовые и щитовые неподвижные опоры (рис. 5.8, *в*).

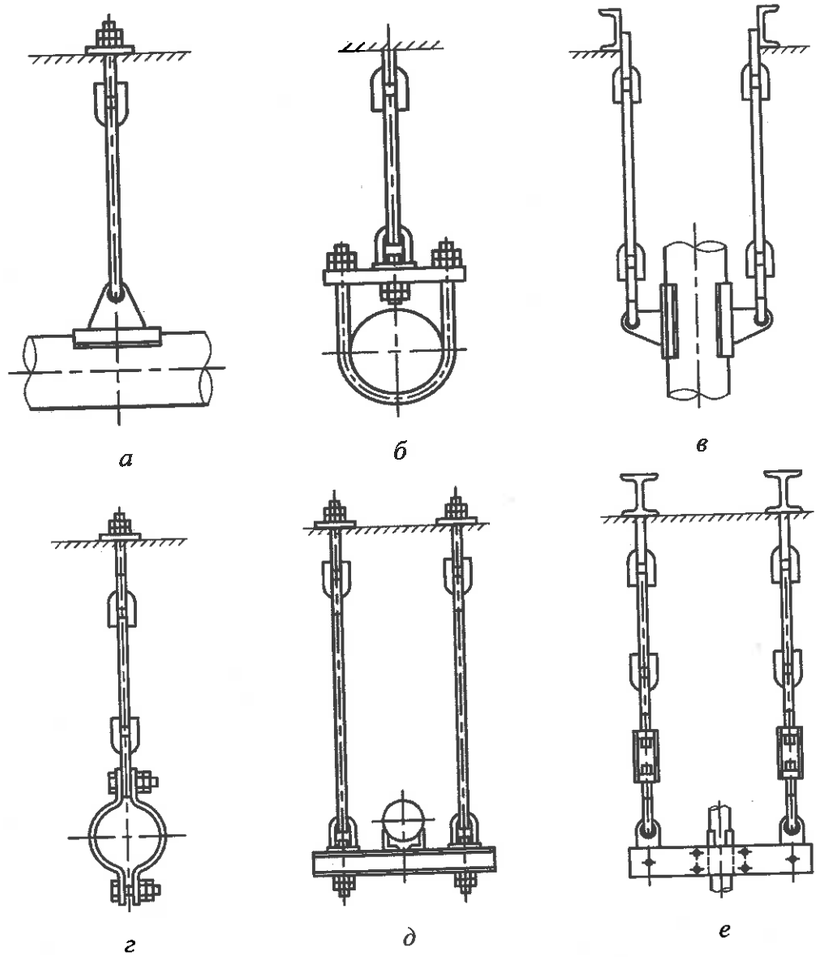


Рис. 5.9. Жесткие подвески
а, б, г – с одной тягой; *в, д*, е – с двумя тягами

Конструкции промежуточных креплений трубопроводов в виде жестких подвесок показаны на рисунке 5.9. Подвески с двумя тягами обычно используются для закрепления вертикальных участков трубопровода. На горизонтальных участках подвески с двумя тягами применяются, когда грузоподъемности одной тяги оказывается недостаточно.

5.3 Выбор и регулировка пружин упругих опор

Под упругими опорами трубопроводов обычно понимают пружинные подвески и пружинные опоры. В пружинных подвесках опорная строительная конструкция располагается выше трубопровода (рис. 5.10, *а,б*), а в пружинных опорах - ниже трубопровода (рис. 5.10, *в*).

Рассмотрим простейший пример - подвеску с одной пружиной (рис. 5.10, *б* и 5.11). Пружинная подвеска представляет собой линейно-упругую связь, в которой реакция прямо пропорциональна перемещению закрепляемой точки.

Если вертикальное перемещение трубопровода в упруго закрепляемой точке - *δ мм*, то реакция подвески

$$r = c\delta,$$

где *c* - жесткость пружины *Н/мм*.

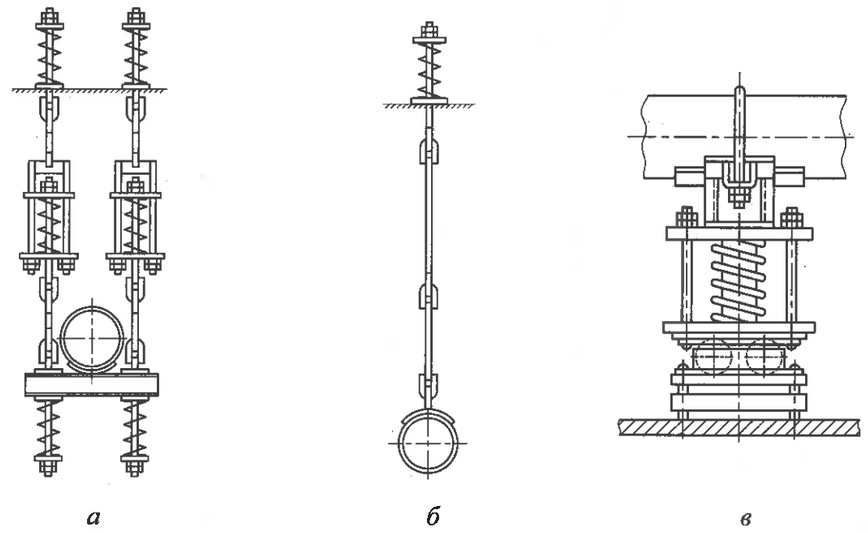
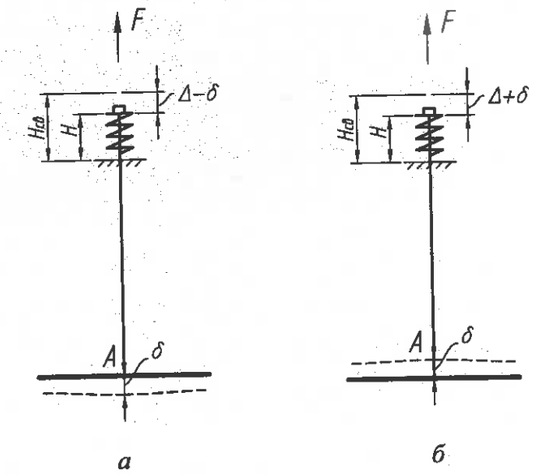


Рис.5.10. Упругие опоры
а – упругая подвеска с двумя тягами; *б* – упругая подвеска с одной тягой;
в – упругая опора

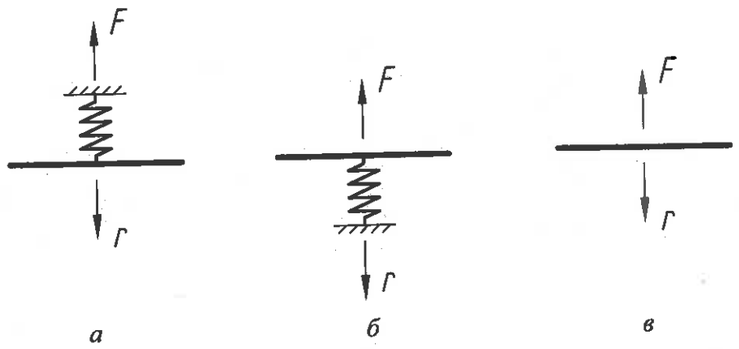
Характерная особенность конструкции пружинной подвески состоит в том, что работает она только при сжатой пружине, в противном случае подвеска выключается из работы. В нашем примере пружина не крепится к строительной конструкции, а упирается в

нее. Аналогично хвостовик тяги опирается на пружину. Поэтому, если трубопровод переместится вверх так, что пружина окажется несжатой, подвеска перестанет работать.



а *б*

Рис. 5.11. Сжатие пружины упругой опоры
а – при перемещении трубопровода вниз; *б* – при перемещении вверх



а *б* *в*

Рис. 5.12. Варианты работы упругой опоры (расчетная модель)

Для того чтобы подвеска работала, ее пружину искусственно сжимают. Сила сжатия пружины, передаваясь через хвостовик тяги на трубопровод, создает дополнительную вертикальную нагрузку F. Внешне наличие силы F проявляется в том, что вертикальное перемещение трубопровода δ в упруго-закрепляемой точке А не совпадает с величиной сжатия пружины в пружинной подвеске (рис. 5.11), то есть

$$\Delta = H_{CB} - H,$$

где H_{CB} - высота пружины в свободном состоянии, *мм*;

H - высота сжатой пружины при перемещении упруго-закрепляемой точки трубопровода на величину δ, *мм*.

В расчетной схеме трубопровода пружинную подвеску, отклонение которой от вертикали пренебрежимо мало, можно представить так, как это показано на рис. 5.12, *а,б*. Таким образом, с расчетной точки зрения разницы между пружинной подвеской и пружинной опорой нет.

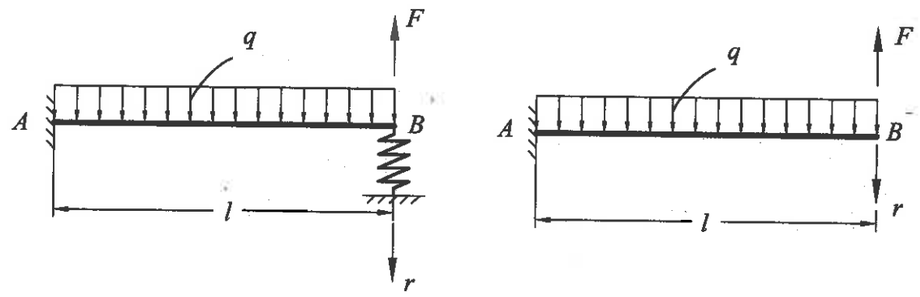
Если пружинную подвеску отбросить ее действие на трубопровод следует заменить усилием

$$P = F - r,$$

которое принято называть усилием упругой опоры. Это усилие легко определить. В нашем примере

$$P = C\Delta C = C(H_{CB} - H).$$

Физически разница между F и P очевидна. Сила P является усилием, возникающим в системе пружина - трубопровод, а сила F - внешняя нагрузка, которую можно получить сжатием пружины, с трубопроводом не связанной. Только в одном частном случае обе силы будут одинаковы - когда вертикальное перемещение трубопровода в упруго-закрепляемой точке будет равно нулю, т.е. $r = 0$ и $F = P$.



а *б*

Рис. 5.13. Однопролетная балка с упругой опорой.

При монтаже трубопроводов применяют разные способы регулировки опор:

- сжатие пружин непосредственно на трубопроводе; в этом случае контролируемыми величинами являются усилия упругих опор P_i;

- сжатие пружин вне трубопровода; контролируемыми величинами при такой регулировке являются силы F_i.

Создание дополнительной нагрузки в виде сосредоточенных, направленных вертикально вверх сил F_i, открывает широкие возможности для искусственного регулирования напряжений, усилий и перемещений в трубопроводе.

Рассмотрим эти возможности на примере однопролетной балки, нагруженной равномерно-распределенной нагрузкой (собственным весом). Левый конец балки жестко заделан («мертвая» опора), а на правом имеется упругая опора (рис. 5.13, *а*). Сжатием пружины упругой опоры создается дополнительная вертикальная сила F. Если опору отбросить, получим схему, показанную на рис. 5.13, *б*, в которой сила F и сила реакции r нам пока неизвестны.

Задача 1. Определим силу F из условия, чтобы вертикальное перемещение правого конца балки отсутствовало, т.е. прогиб от веса в точке B равнялся нулю.

Каноническое уравнение метода сил для нашего случая

$$\delta r_{11} + \Delta_{1P} = -r/c ,$$

где c - жесткость упругой опоры.

В развернутом виде

$$\frac{l^3}{3EI} r - \frac{ql^4}{8EI} + \frac{Fl^3}{3EI} = r/c .$$

Для того чтобы прогиб в точке B равнялся нулю, необходимо и достаточно, приравнять нулю реакцию опоры: $r = 0$.

Тогда

$$\frac{Fl^3}{3EI} - \frac{ql^4}{8EI} = 0$$

Отсюда находим значение F

$$F = \frac{3}{8} ql .$$

Поскольку $r=0$, усилие упругой опоры

$$P = F = \frac{3}{8} ql .$$

Задача 2. Определить силу F из условия равенства нулю изгибающего момента в точке А. Это равносильно требованию, чтобы напряжения изгиба в месте примыкания балки к мертвой опоре отсутствовали.

Выражение изгибающего момента в точке A

$$M_A = \frac{ql^2}{2} - Fl + rl$$

По условию $M_A = 0$, тогда

$$\frac{ql^2}{2} - l(F-r) = 0 ,$$

но $P = F - r$, таким образом

$$P = \frac{ql}{2} .$$

Подставив в исходное уравнение предыдущей задачи

$$F = \frac{ql}{2} + r ,$$

получим

$$\frac{l^3}{3EI} r - \frac{ql^4}{8EI} + \frac{ql^4}{GEI} + \frac{rl^3}{3EI} = -r/c .$$

Отсюда

$$r = -\frac{cql^4}{24EI} ,$$

$$F = \frac{ql}{2} \left(1 + \frac{cl^3}{12EI}\right) .$$

Обратим еще раз внимание на то, что при наличии перемещения в точке B силы P и F получаются разными.

Упругие опоры являются наилучшим типом крепления трубопроводов с вертикальными температурными перемещениями, так как, с одной стороны, они обеспечивают необходимую компенсацию температурных расширений трубопровода в вертикальной плоскости, а с другой - могут быть отрегулированы на восприятие вертикальной нагрузки, действующей на трубопровод. Именно второе обстоятельство позволяет называть их опорами, а не конструкциями для искусственного регулирования напряжений, усилий и перемещений. Свое назначение упругие опоры выполняют за счет подбора пружин с требуемыми характеристиками и искусственного сжатия (регулировке) пружин при монтаже трубопровода.

Упругими характеристиками пружины являются максимально допустимая нагрузка на пружину $P_{макс}$ и максимально допустимая ее осадка под действием этой нагрузки $\lambda_{макс}$. Отношение

$$C = P_{макс} / \lambda_{макс}$$

называется жесткостью пружины, а величина ей обратная - податливостью.

Пружины опор для трубопроводов делятся на две группы: к первой группе относятся пружины с допустимой осадкой 70 *мм*, а ко второй - 140 *мм*. Каждому значению $P_{макс}$ из ряда допустимых максимальных нагрузок соответствуют две пружины: одна из них относится к первой группе, а другая - ко второй. Жесткость пружины второй группы

вдвое меньше жесткости пружины первой группы. Обычно пружины подбираются таким образом, чтобы при переходе трубопровода из холодного состояния в рабочее и наоборот, изменение нагрузки на опору не превышало 35%, т.е. было бы небольшим

$$\alpha = \frac{P_{раб} - P_{хол}}{P_{раб}} \cdot 100 \le 35\%.$$

Пружины упругих опор регулируются так, чтобы в рабочем состоянии трубопровода опоры воспринимали собственный вес трубопровода (с изоляцией и продуктом). На практике это требование сводится к обеспечению нулевых прогибов от веса в горячем трубопроводе.

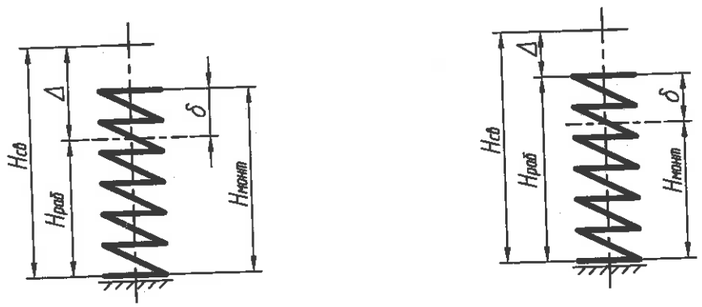
Пусть закрепляемая на трубопроводе точка при нагреве перемещается вниз на величину δ (рис. 5.14, *а*). Нам нужно уравновесить вес нагретого трубопровода в этой точке. Очевидно в этом случае:

$$P = C\left(H_{св} - H_{раб}\right),$$

где

$H_{раб}$ - высота сжатой пружины в горячем трубопроводе, т.е. в его рабочем состоянии.

$H_{св}$ - высота пружины в свободном состоянии.



а *б*

Рис. 5.14. Варианты регулировки пружин упругих опор

Если регулировать пружину на трубопроводе в монтажном состоянии, т.е. когда трубопровод не нагрет и продукт отсутствует, то добиться выполнения поставленного условия можно, «не дожав» пружину на величину δ (рис. 5.14, *а*). Соответствующим усилием, на которое должна быть отрегулирована опора на монтаже, будет

$$P_{монт} = C\left(H_{св} - H_{монт}\right),$$

где $H_{монт}$ - высота сжатой пружины в монтажном состоянии трубопровода

$$H_{монт} = H_{раб} + \delta.$$

Аналогично, когда при нагреве трубопровода точка А перемещается вверх (рис. 5.14, *б*)

$$H_{монт} = H_{раб} - \delta.$$

Формулы для P и $P_{монт}$ в этом случае остаются без изменений. Таким образом, в монтажном состоянии пружина «пережимается» на величину δ.

Сложность решения задачи в общем случае состоит в необходимости определения расчетным путем значений δ и P, ибо трубопровод представляет собой пространственную статически неопределимую конструкцию.

Определение рабочих параметров упругих опор и подбор пружин в настоящее время осуществляется с помощью специальных компьютерных программ. Упругие опоры могут регулироваться на восприятие любой нагрузки (не обязательно веса трубопровода).

Перейдем к общему случаю - опорам, состоящим не из одной пружины, а из пружинных цепей (рис. 5.10, *а*). При этом все вышеприведенные положения о регулировке остаются без изменений. Разница будет только в вычислении упругих характеристик опоры $P_{макс}$ и $C_{макс}$.

Грузоподъемность пружинной цепи (цепь состоит из k пружин с одинаковым $P_{макс}$)

$$P_ц = P^1_{макс} = P^2_{макс} = \ldots = P^k_{макс}.$$

Жесткость пружинной цепи из k пружин:

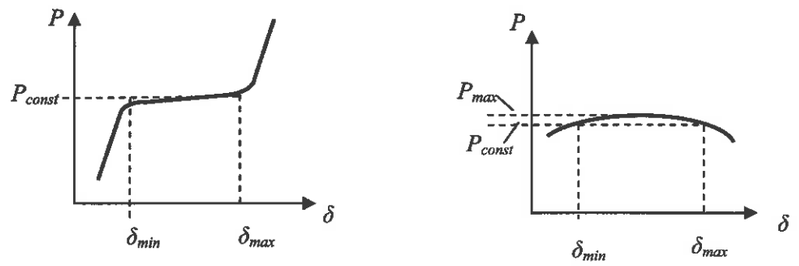
$$C_ц = P_ц / (\lambda^1_{макс} + \lambda^2_{макс} + \ldots \lambda^k_{макс}).$$

Грузоподъемность упругой опоры, состоящей из n одинаковых пружинных цепей

$$P_{макс} = nP_ц,$$

а соответствующая ей жесткость упругой опоры

$$C_{макс} = nC_ц.$$



а *б*

Рис.5. 15. Диаграммы работы опор постоянного усилия

5.4 Опоры постоянного усилия

Основным элементом конструкции является рычажно - пружинный механизм, который обеспечивает незначительное изменение величины сжатия пружины P в определенном интервале перемещений $\delta_{min} \div \delta_{max}$. На рисунке 5.15 приведены типичные рабочие диаграммы работы таких опор: по вертикали – усилие, создаваемое искусственным сжатием пружины (или пружин, когда их несколько), по горизонтали – перемещение δ. На рисунке 5.15, *а* представлена диаграмма работы опоры рычажно-пружинного типа, а на рисунке 5.15, *б* – рессорного типа.

В качестве примера рассмотрим принцип действия рычажной опоры, показанной на рисунке 5.16, *а*. Сжатая пружина стремится повернуть коромысло по часовой стрелке, а вес трубопровода, передаваемый на это коромысло через вертикальную тягу, должен препятствовать такому повороту.

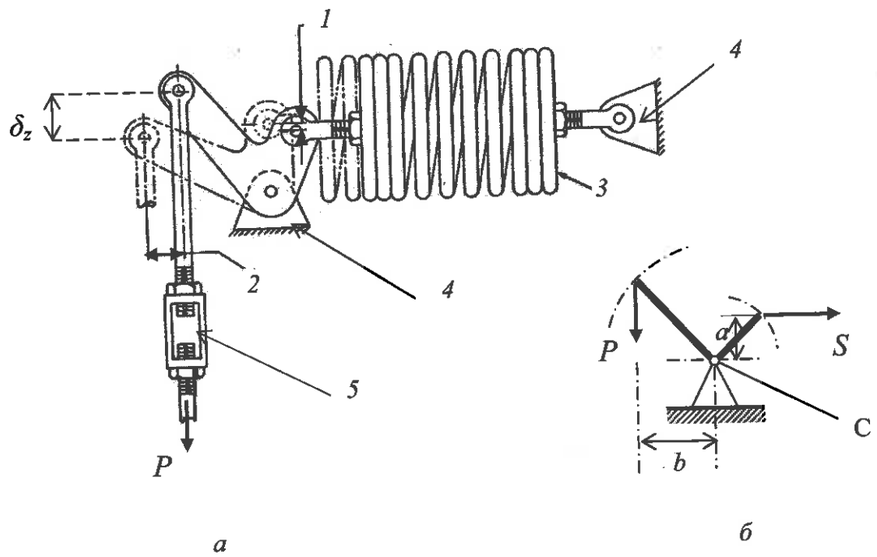


Рис. 5.16. Рычажная опора постоянного усилия
а – конструкция; *б* – схема работы;
1 – малый диапазон перемещений рычага – коромысла, 2 - большой диапазон перемещений рычага – коромысла, 3 – пружина, 4 – неподвижное крепление (в корпусе опоры), 5 - вертикальная тяга.

Схема работы представлена на рисунке 5.16, *б*. Сила сжатия пружины S создает относительно оси вращения рычага - коромысла момент $M_a = S \cdot a$. Момент от веса трубопровода $M_b = P \cdot b$ уравновешивает этот момент, благодаря чему рычаг – коромысло удерживается от поворота. Таким образом, справедливы отношения

$$M_a = M_b, \quad S \cdot a = P \cdot b, \quad \frac{a}{b} = \frac{P}{S}.$$

Отношение постоянного усилия P к силе сжатия пружины S зависит от соотношения плеч рычага - коромысла. Его поворот при возможных перемещениях трубопровода вверх или вниз по вертикали должен приводить к пренебрежимо малым изменениям значений a и b.

Чтобы допустимое вертикальное перемещение было приемлемым (находилось в диапазоне допустимого интервала $\delta_{min} \div \delta_{max}$), одно плечо рычага – коромысла и делается длиннее другого. Длина же короткого плеча призвана обеспечить малое отклонение пружины от горизонтали при повороте. Благодаря этому величина сжатия пружины S будет изменяться незначительно.

На рисунке 5.17 показаны различные варианты конструкций опор постоянного усилия. На рисунках *а*, *б* и *в* - опоры рычажного типа, а на рисунке *г* – рессорного типа. Для выбора опоры по каталогу нужно знать вертикальное перемещение трубопровода δ_z и усилие упругой опоры P. От этих параметров зависят все остальные, в том числе типоразмер пружины и сила ее предварительного сжатия.

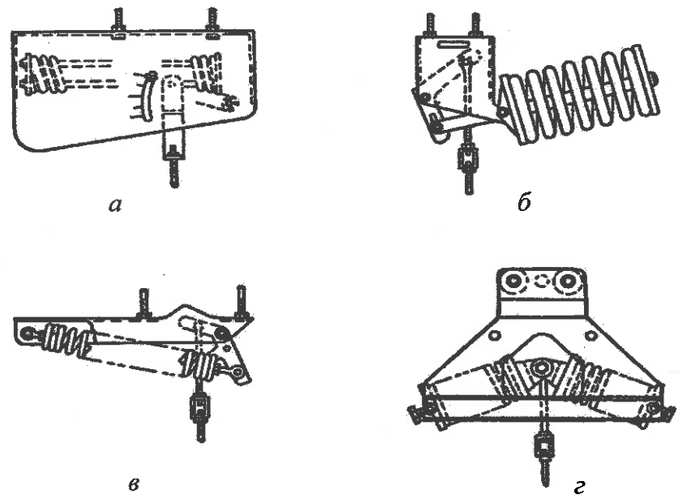


Рис. 5.17. Варианты конструкций опор постоянного усилия
а, б, в – рычажного типа; *г* – рессорного типа

5.5 Основные типы компенсационных устройств

При разогреве трубопровода до температуры транспортируемого продукта длина его изменяется в результате температурного расширения материала труб. При нагреве или остывании на 100 °С каждый метр стального трубопровода изменяет свою длину на 1,2 ÷ 1,8 *мм* (коэффициент линейного расширения).

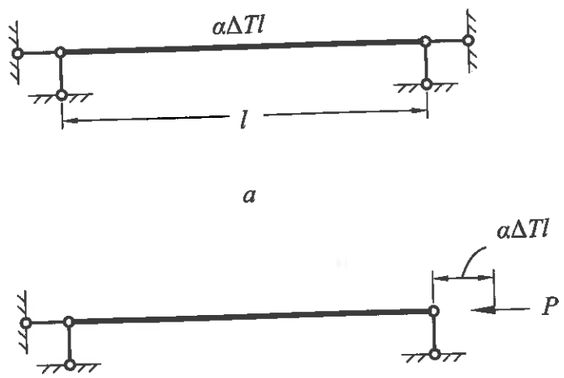


Рис. 5.18. Труба, неподвижно закрепленная по концам
а - расчетная модель; *б* – основная система

Изменения длины создают в трубопроводе значительные усилия, которые могут вызвать недопустимые нагрузки на присоединенное оборудование, порвать места примыкания к нему других трубопроводов и т.д.

В качестве примера решим простую задачу. Труба 108х4 неподвижно закреплена на концах (рис. 5.18, *а*). Площадь поперечного сечения трубы $F = 13{,}1\ см^2$, модуль упругости $E = 2{,}1.10^5\ МПа$ коэффициент линейного расширения материала $\alpha = 1{,}2.10^{-5}\ см/см\ ^\circ C$, допустимая нагрузка на неподвижную опору 1500 *кН*. Определить осевое усилие, возникающее при нагреве трубы на температурный перепад $\Delta T = 100\ ^\circ C$.

Построим основную статически определимую систему, для чего отбросим лишнюю связь и введем неизвестную силу *P*, которую будем искать из условия равенства нулю горизонтального перемещения точки *B* (рис. 5.18, *б*)

$$\alpha\Delta Tl - \frac{Pl}{EF} = 0.$$

Отсюда

$$P = \alpha\Delta TEF = 1.2\cdot10^{-5}\cdot100\cdot2.1\cdot10^{5}\cdot13.1\cdot = 3301.2\,kH \approx 330\,mc$$

Как видим, осевое усилие оказалось достаточно большим. Полученная нагрузка на опору $P = 3301{,}2\ кН$ превышает допустимую и может достигнуть столь высокого значения только при условии, что длина трубы между неподвижными опорами будет меньше некоторой величины, называемой критической. В противном случае осевое усилие уменьшится в результате продольного изгиба: труба «вспучится» и обретет новую форму равновесия (рис. 5.19). Критическую длину можно определить, воспользовавшись уточненной формулой Эйлера для стержня шарнирно – опертого по концам в частном случае, когда потеря устойчивости происходит вследствие температурного расширения

$$P_{кр} = 4\pi^2\frac{EI}{l^2},$$

где *I* - момент инерции сечения.

$$\alpha\Delta TEF = 4\pi^2\frac{EI}{l^2},$$

откуда

$$l = 2\cdot\sqrt{\frac{\pi^2 I}{\alpha\Delta TF}}.$$

В нашем случае $I = 177\ см^4$ и

$$l = 2\sqrt{\frac{3{,}14^2\cdot177}{1{,}2\cdot10^{-5}\cdot100\cdot13{,}1}} = 666\,см = 6{,}6\,м$$

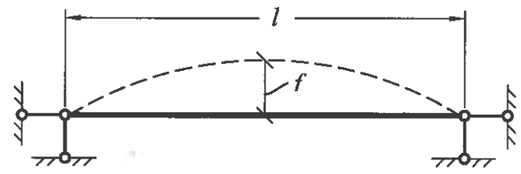


Рис. 5.19. Потеря устойчивости в результате температурного расширения

Итак, нагрузка $P = 3301{,}2\ кН$ может быть достигнута при длине трубы не более 6,6 метра. Если же длина окажется большей, например 10 метров, то осевое усилие уменьшится более чем в два раза

$$P = 4\cdot3{,}14^2\ \frac{2{,}1\cdot10^5\cdot177}{10^6} = 1466\,кН = 146{,}6\,mc$$

Казалось бы, цель достигнута - при допустимой нагрузке на неподвижную опору в 1466 *кН* < 1500 *кН* труба компенсирует свое температурное расширение в результате про-

дольного изгиба. Однако при этом получаются большие поперечные деформации, которые могут не отвечать требованиям жесткости. При потере устойчивости в результате нагрева конечная длина трубы составит $l+\Delta l$. В силу малости $\Delta l = \alpha \Delta T l$ по сравнению с l ось изогнутой трубы, представляющую собой полуволну синусоиды, можно приближенно заменить дугой окружности с хордой l и стрелкой f (рис. 5.19). Тогда имеем

$$f = 0.61 l \sqrt{\alpha \Delta T}$$

и относительную величину прогиба можно получить, используя соотношение

$$\frac{f}{\Delta l} = \frac{0{,}61}{\sqrt{\alpha \Delta T}} = \frac{0{,}61}{\sqrt{1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 100}} = 17{,}6 .$$

Боковое смещение в 17 с лишним раз превышает температурное расширение трубы. Таким образом, во всех случаях прямые участки трубопроводов, транспортирующих горячие продукты должны иметь компенсационные устройства, так как при малых длинах возникают большие распорные усилия, а при больших длинах - большие поперечные смещения.

Компенсационные устройства или просто компенсаторы представляют собой пружинящие элементы, которые служат для восприятия температурных расширений. В зависимости от конструкции и принципа работы они делятся на П -образные, сильфонные и линзовые.

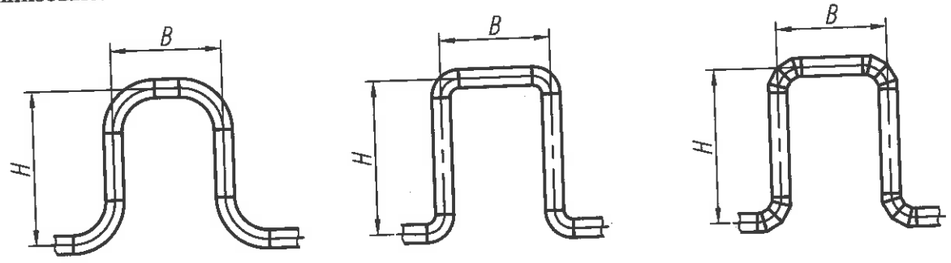


Рис. 5.20. П – образные компенсаторы из труб
а – с гнутыми отводами; *б* - с крутоизогнутыми отводами;
в – с секторными (сварными) отводами

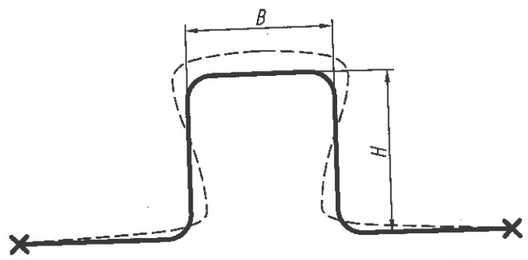


Рис. 5.21. Схема упругой работы трубопровода с П- образным компенсатором

Прежде чем приступить к выбору компенсаторов, следует оценить возможность решения проблемы температурных деформаций посредством самокомпенсации - использования поворотов и изгибов трассы трубопровода (параграф 6.2).

П -образные компенсаторы изготавливают из труб с применением гнутых, крутоизогнутых и сварных отводов (рис. 5.20). Работа трубопровода с П-образным компенсатором показана на рисунке 5.21.

Трубопровод неподвижно закреплен на концах. При протекании по нему горячего продукта трубы, нагреваясь, удлиняются, благодаря чему осевая линия трубопровода принимает вид, показанный пунктиром. Такой вид упругой линии обусловлен тем, что трубы компенсатора изгибаются в результате изменения длины трубопровода между неподвижными опорами. Характеристиками работы П-образного компенсатора являются вылет H и спинка B. Наиболее распространенным отношением является $\frac{H}{B} = 2$.

П -образные компенсаторы могут компенсировать значительные температурные расширения - до 700-от миллиметров. Они широко применяются при надземной прокладке трубопроводов. Преимущества таких компенсаторов - простота изготовления и удобство эксплуатации; недостатки - повышенное гидравлическое сопротивление, большой расход труб и необходимость сооружения на трубопроводе дополнительных опорных конструкций.

Сильфонные компенсаторы в настоящее время являются наиболее совершенными компенсационными устройствами, обладающими небольшими габаритами, высокой компенсирующей способностью и надежностью. Применение сильфонных компенсаторов вместо П-образных сокращает расход труб и тепловой изоляции на 15÷20%, снижает гидравлическое сопротивление и уменьшает количество опорных конструкций, поддерживающих трубопровод. Основным пружинящим элементом в сильфонном компенсаторе является тонкая (от 0,7 до 1,5 *мм*) гофрированная оболочка-сильфон, содержащая от 4-х до 11-ти волн.

Сильфоны изготавливаются однослойными, двухслойными и многослойными. Многослойная конструкция повышает прочность сильфона (особенно по отношению к внутреннему давлению), но практически не влияет на срок службы, определяемый количеством циклов растяжения-сжатия, поскольку продолжительность работы многослойного компенсатора зависит от тонкого внутреннего слоя.

Сильфонные компенсаторы выпускаются для трубопроводов диаметром до 3000 *мм* с избыточным внутренним давлением до 10 *МПа* и могут работать в широком диапазоне температур от -70 °С до +700 °С.

Принцип работы компенсаторов показан на рисунке 5.22. Упругая работа сильфона характеризуется растяжением или сжатием на одну и ту же величину $\frac{\Delta_к}{2}$, называемую его компенсирующей способностью. В результате осевой деформации поперечные сечения по концам сильфона могут оставаться параллельными (сильфон растянут или сжат), или поворачиваться друг к другу под некоторым углом (верх сильфона растянут, а низ сжат, или наоборот). Таким образом, возможны три варианта его работы: на растяжение - сжатие, поворот и сдвиг - децентровку осей до и после компенсатора (рис. 5.22). Соответственно имеются три типа сильфонных компенсаторов: осевые, угловые и сдвиговые.

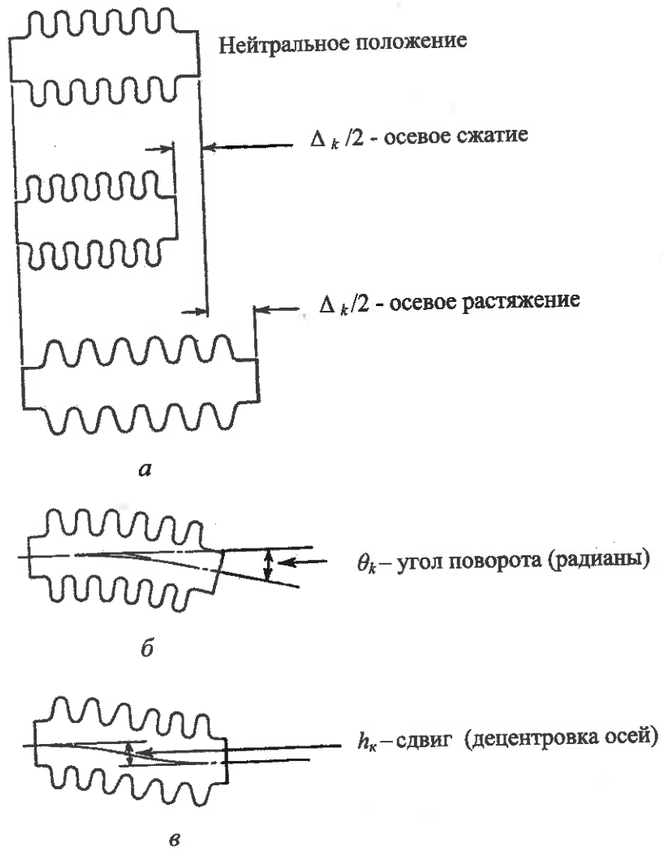


Рис. 5.22. Схемы работы сильфона при различных видах перемещений
а – осевое растяжение – сжатие; б – поворот; в – сдвиг - децентровка осей

Осевые компенсаторы нередко снабжаются защитными стаканами (рис. 5.23), которые выполняют ряд функций: уменьшают сопротивление протеканию среды, предохраняют сильфон от истирания, если в среде имеется абразивные частицы, препятствуют осаждению твердых частиц в гофрах.

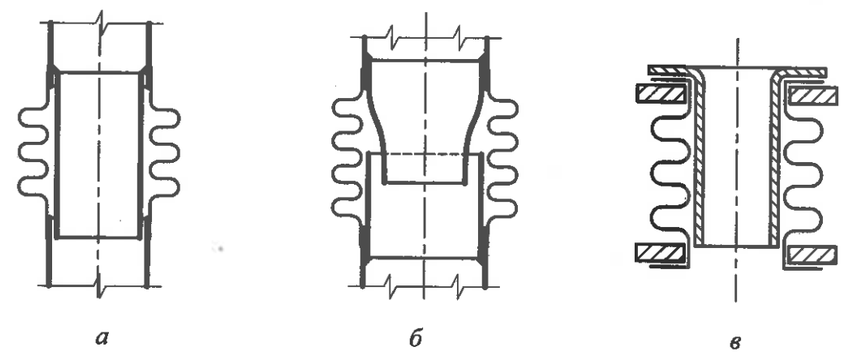


Рис. 5.23. Осевой компенсатор с внутренним защитным стаканом
а – простой стакан; *б* – стакан из двух половин, смонтированных внахлестку; *в* – съемный стакан при фланцевом соединении

Если компенсатор снаружи не изолирован, то почти неподвижная часть среды между стаканом и сильфоном значительно уменьшает максимальную температуру, воздействующую на сильфон. Сильфонные компенсаторы присоединяются к трубопроводам на сварке или на фланцах.

Линзовые компенсаторы (рис. 5.24) представляют собой ряд последовательно включенных в трубопровод линз. Каждая линза состоит из двух штампованных полулинз, соединенных электрической или газовой сваркой.

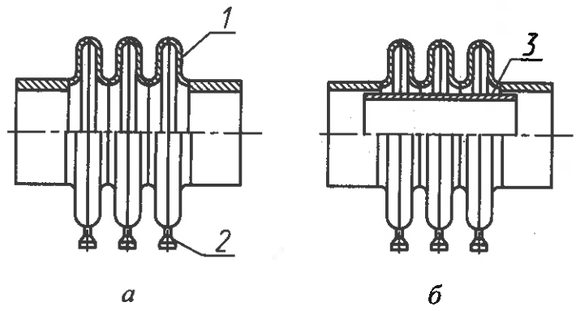


Рис. 5.24. Линзовые осевые компенсаторы
а – без защитного стакана; б – с защитным стаканом;
1 – полулинза; *2* – дренажный штуцер; *3* - защитный стакан

Толщину стенки полулинзы в зависимости от давления в трубопроводе принимают равной от 2,5 до 4 миллиметров. Благодаря своей форме линза легко сжимается. Компенсирующая способность каждой линзы сравнительно небольшая (10÷16 *мм*). Число линз компенсатора выбирается в зависимости от необходимой компенсирующей способности, но, как правило, не превышает трех или четырех линз. Во избежание повреждений при

транспортировке и монтаже линзовый пружинящий элемент снабжается стяжками (рис. 5.25).

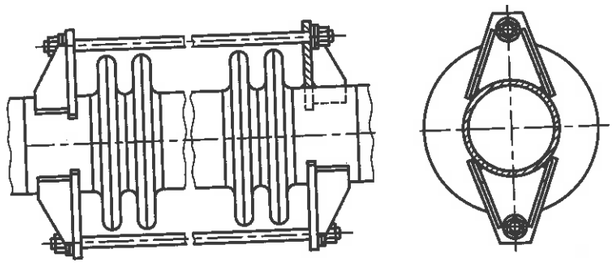


Рис. 5.25. Линзовый компенсатор со стяжками

Так же как сильфонные компенсаторы, линзовые могут быть осевыми угловыми и сдвиговыми. Однако по сравнению с сильфонными они более жестки и менее надежны из-за большого количества сварных швов. Линзовые компенсаторы можно использовать на трубопроводах средних и больших диаметров до 1000 *мм*, на давление до 2 *МПа*. Достоинством компенсаторов является простота конструкции.

5.6 Сильфонные компенсаторы

Как уже отмечалось выше, основными конструкциями компенсаторов на базе гибкого элемента сильфона являются осевые, угловые и сдвиговые.

Осевой неразгруженный компенсатор представляет собой сильфон с патрубками на концах. К патрубкам прикрепляются стяжки, назначение которых – транспортировка и предварительная растяжка компенсатора, осуществляемая на монтаже. В рабочем состоянии стяжки не работают. Термин «неразгруженный» означает, что компенсатор не гасит внутри себя распорные усилия, создаваемые избыточным внутренним давлением. Эти усилия направлены вдоль оси компенсатора и обычно передаются на заглушку, закрытую задвижку, стенку трубопровода в месте его поворота или на неподвижные или мертвые опоры трубопровода. Определяются они по формуле

$$P_{расп} = P\frac{\pi}{4}D_{ср}^2 = P\frac{\pi}{16}\left(D_н + D_в\right)^2 = P \cdot F_{эф},$$

где

$D_н, D_в$ - диаметры сильфона по вершине и по впадине волны, *см*,

$D_{ср}$ - средний диаметр сильфона, *см*,

$F_{эф}$ - эффективная площадь компенсатора, $см^2$,

P - избыточное давление в трубопроводе, $кг/см^2$.

Эффективная площадь $F_{эф}$ является основной характеристикой осевого компенсатора наряду с его компенсирующей способностью $\pm\Delta_к/2$. Ее значение приводится в каталогах.

Существуют конструкции полуразгруженных и полностью разгруженных осевых компенсаторов, в которых распорное усилие от давления существенно снижено или вообще отсутствует.

На рисунке 5.26 показан принцип работы осевого полуразгруженного компенсатора. Особенностью конструкции является то, что сильфон находится в герметичном кожухе, внутри которого имеется полость, сообщающаяся с атмосферой. За пределами этой полости под кожухом давление такое же, как в трубопроводе, благодаря чему сильфон находится под избыточным наружным, а не внутренним давлением. Распорные усилия определятся по формуле

$$P_{расп} = \frac{\pi D_в^2}{4}P,$$

и могут получиться на 40% меньше, чем в обычном неразгруженном компенсаторе.

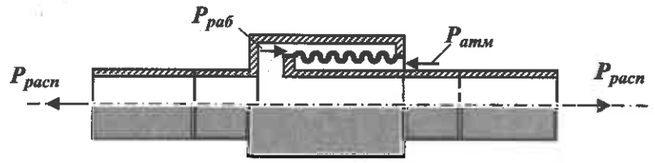
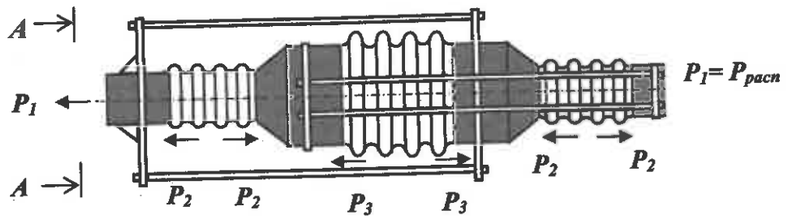


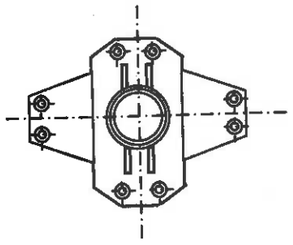
Рис. 5.26. Осевой полуразгруженный компенсатор

На рисунке 5.27 показана конструкция полностью разгруженного компенсатора. Ее особенность состоит в уравновешивании распорных усилий внутри самого компенсатора. На неподвижные опоры передается только сила от сжатия самого компенсатора в результате температурного расширения (пропорциональна осевой жесткости компенсатора). Компенсатор состоит из трех соосно расположенных сильфонов, причем средний сильфон имеет больший диаметр, чем крайние. Диаметры крайних сильфонов одинаковы. Сильфоны приварены к двум промежуточным коническим патрубкам и к двум крайним цилиндрическим. К каждому патрубку приварены поперечины. Поперечины соединены попарно стяжками и образуют две жесткие взаимно- перпендикулярные рамы, которые могут перемещаться относительно друг друга. Поскольку обе рамы соединены со средним сильфоном, на каждую из них будут действовать силы P_1 и $2P_2$ в одну сторону и P_3 - в обрат-

ном. Сила P_1 представляет собой распорное усилие вдоль оси компенсатора $P_{расп}$. Сила P_2 возникает в кольцевом сечении сильфона меньшего диаметра, а P_3 – в кольцевых сечениях сильфона большего диаметра и переходника. Компенсатор будет уравновешенным, когда $P_3 = P_1 + 2P_2$. Для этого достаточно, чтобы отношение эффективных площадей $F_{эф}$ сильфонов большего сечения к меньшему равнялась двум. При нагреве трубопровода длина компенсатора сокращается. При этом два крайних сильфона сжимаются, а средний – растягивается на туже величину. При охлаждении трубопровода происходит обратное явление.



а



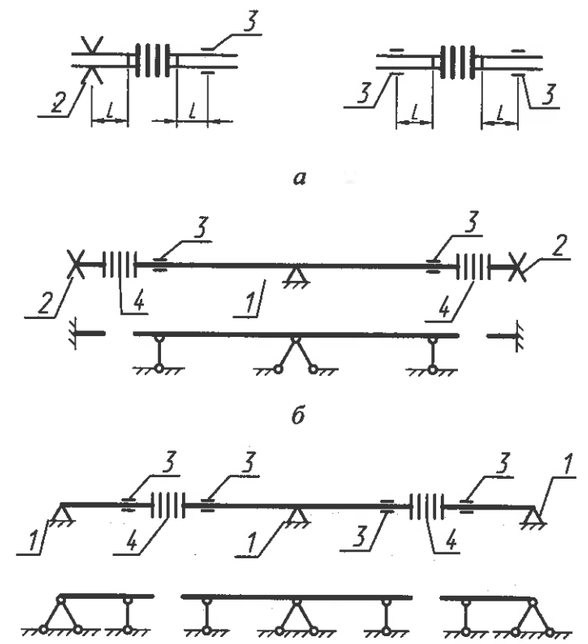
б

Рис. 5.27. Осевой разгруженный компенсатор
а – общий вид; *б* – вид по А-А

Ввиду большой строительной длины, затрудняющей компоновочные решения, разгруженные осевые компенсаторы не получили широкого распространения.

Осевые компенсаторы ставятся, как правило, на прямых горизонтальных участках трубопроводов. Поскольку компенсатор не рассчитан на восприятие веса трубопровода, с двух сторон от него на расстоянии максимум 2-х или 4-х диаметров трубопровода (в зависимости от толщины сильфона) ставятся опоры. Желательно, чтобы с одной стороны опора была мертвой, а с другой - направляющей.

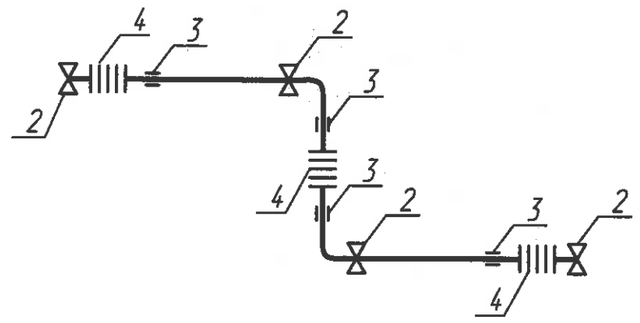
В зависимости от реальных условий компоновки вместо мертвой опоры может быть установлена направляющая. В этом варианте осевой компенсатор располагают в любом месте по длине трубопровода между двумя мертвыми опорами. Соответствующие варианты показаны на рисунке 5.28, *а*.



а

б

в



г

Рис. 5.28. Схемы расположения осевых компенсаторов
а – типовые решения для предотвращения перекосов; *б*, *в* – варианты расположения на прямых участках трубопровода; *г* – расположение на изогнутом участке; 1 - шарнирно - неподвижная опора; 2 – мертвая опора; 3 – направляющая опора; 4 - компенсатор

Таким образом, исключаются нежелательные перекосы компенсатора, обеспечивается его работа на одноосное растяжение-сжатие, а конструкция трубопровода в целом, если компенсаторы удалить, будет геометрически неизменяемой.

Трубопроводы разбиваются по длине на прямолинейные или почти прямолинейные участки с помощью мертвых (концевых) и неподвижных (промежуточных) опор. При установке неразгруженных компенсаторов с двух сторон от неподвижной опоры, последняя получается разгруженной. Характерные схемы приведены на рисунке 5.28, *б-г* .

Угловые или шарнирные компенсаторы дают возможность по сравнению с осевыми компенсаторами воспринимать более значительные температурные удлинения трубопровода. Поэтому они применяются преимущественно на участках трубопроводов с большим расстоянием между неподвижными концевыми опорами. Угловые компенсаторы могут поглощать температурные удлинения трубопровода величиной до полутора метров.

Для установки угловых компенсаторов трубопроводы должны иметь повороты, т.е. участки, расположенные под углом друг к другу. Трубопроводы с угловыми компенсаторами образуют различного вида шарнирные схемы. Конструкция угловых компенсаторов обеспечивает восприятие распорного усилия от внутреннего давления благодаря шарнирам, имеющим сварную конструкцию, и, кроме того, различные нагрузки, возникающие в трубопроводе. На рис. 5.29 приведены конструкции угловых компенсаторов, работающих в одной и двух плоскостях. Компенсаторы, работающие в двух плоскостях, выполняются в виде шарнира Гука и носят название карданных.

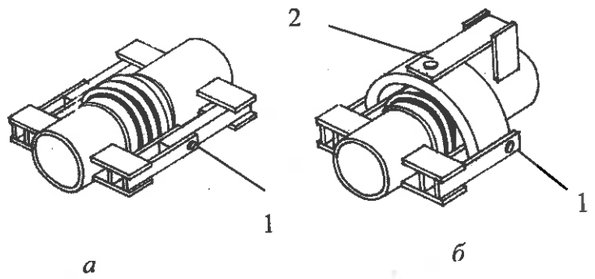


Рис. 5.29. Угловой компенсатор
а – плоский, *б* – пространственный (карданный)

Наиболее распространены следующие шарнирные схемы трубопроводов: угловые или Г-образные, Z-образные и П-образные. Именно в этих схемах установка угловых компенсаторов позволяет получить значительную компенсацию температурных расширений.

При проектировании пространственных трубопроводов с угловыми компенсаторами рекомендуется с помощью мертвых опор разбивать трубопроводы на плоские участки Г, Z и П-образной формы. На каждом участке располагают угловые

шарниры. Для более четкой фиксации температурных расширений на прилегающих прямых участках ставятся направляющие опоры.

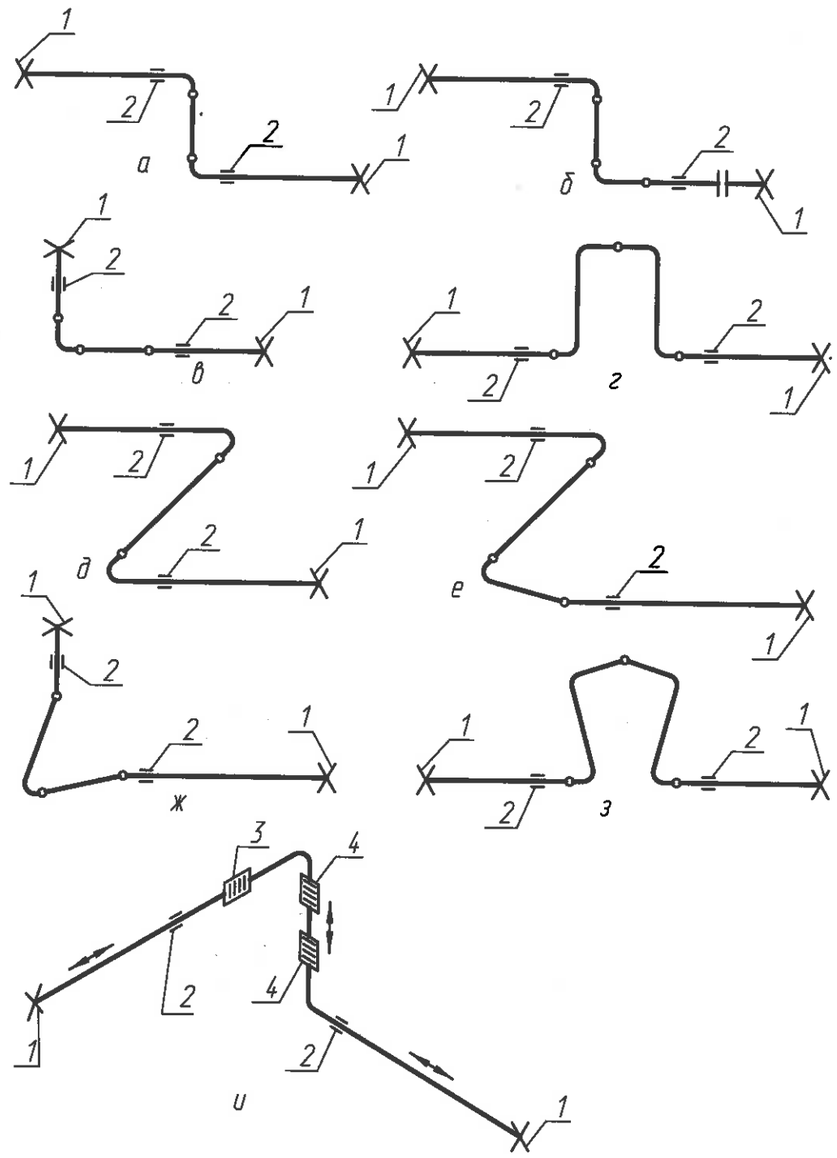


Рис. 5.30. Типовые схемы трубопроводов с угловыми компенсаторами
а- г – плоские; *и* – пространственная; *а, б* – Z – образные; *в* – Г – образная ;
г – П – образная; *д, е ж, з* – схема компенсации температурных расширений.
1 – неподвижная опора; *2* – направляющая опора; *3,4* – угловой компенсатор.

При установке угловых компенсаторов нужно иметь в виду следующее. Между двумя мертвыми опорами должно быть не менее 2-х и не более 3-х шарниров. При коли-

честве менее 2-х теряется смысл установки компенсаторов из-за невозможности компенсировать большие температурные расширения. При количестве более 3-х конструкция трубопровода может потерять свою геометрическую неизменяемость и превратиться в механизм, не способный противостоять действующим нагрузкам. Плоскость изгиба плоского углового компенсатора должна совпадать с плоскостью излома оси трубопровода. Для более полного использования компенсирующей способности на входе и выходе из компенсационного узла рекомендуется ставить направляющие опоры.

На рисунке 5.30 приведены шарнирные схемы трубопроводов, получившие наибольшее распространение.

Сдвиговые компенсаторы предназначены для компенсации перемещения трубопровода в различных плоскостях. Существуют две разновидности: «тяжелые» компенсаторы со сдвоенными, плоскими или пространственными шарнирами сварной конструкции (рис. 5.31) и «легкие» компенсаторы, в которых концевые патрубки соединены тягами с шарнирами на концах (рис. 5.32). Сдвоенные шарниры и тяги воспринимают давление рабочей среды, в результате чего распорные усилия на неподвижные опоры трубопровода не передаются.

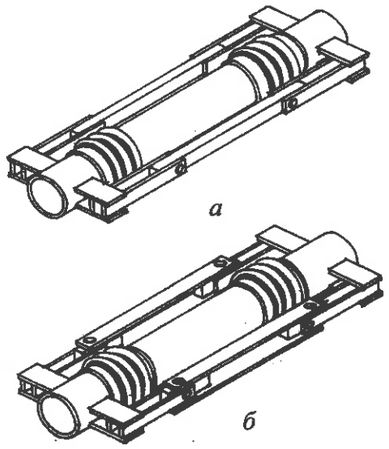


Рис. 5.31. Сдвиговые компенсаторы тяжелой конструкции
а – плоский; *б* - пространственный

«Тяжелые» компенсаторы применяются в трубопроводах $DN \leq 1000$ *мм* при $T_{раб} \leq 600$ °С. «Легкие» компенсаторы имеют более простую конструкцию, которая обычно используется при $DN \leq 600$ *мм* и $T_{раб} = 450$ °С (при более высоких температурах возникают остаточные деформации в стяжках и они могут выключаться из работы). Компенсаторы с

одним сильфоном применяют, в основном, для гашения вибраций трубопроводов от различных видов оборудования.

Компенсирующая способность компенсаторов с двумя сильфонами во многом зависит от длины промежуточной трубы. Поэтому сдвиговые компенсаторы выпускают с различной строительной длиной. Температурные расширения промежуточной трубы воспринимаются сжатием сильфонов. В отличие от угловых компенсаторов торцы сдвиговых компенсаторов остаются параллельными между собой.

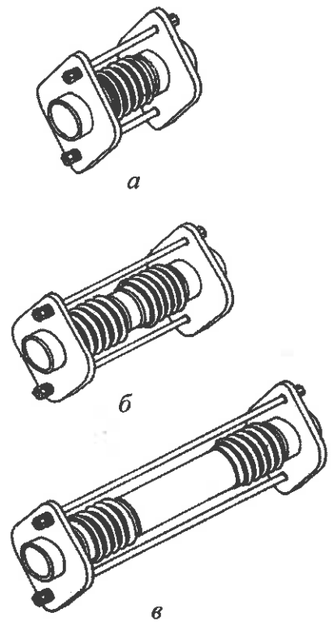


Рис.5.32. Сдвиговые компенсаторы легкой конструкции
а – без промежуточной трубы; *б*, *в* – с промежуточной трубой

По сравнению с угловым компенсатором монтаж сдвиговых компенсаторов проще, поскольку каждый такой компенсатор представляет собой отдельный узел трубопровода, который изготавливается на заводе и поставляется на строительство в собранном виде. Схема работы сдвигового компенсатора с промежуточной трубой показана на рис.5.33.

В зависимости от схемы трубопровода между двумя неподвижными опорами, как правило, устанавливается один сдвиговый компенсатор. Компенсаторы применяются в Z, Г и П-образных схемах, а также на ответвлениях и местах присоединения трубопроводов к оборудованию. Характерные примеры использования сдвиговых компенсаторов показаны на рисунке 5.34.

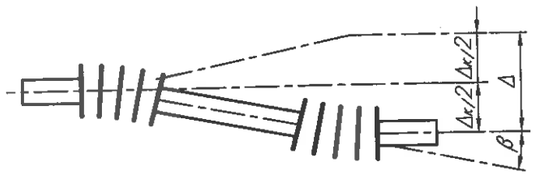


Рис. 5.33. Схема работы сдвигового компенсатора

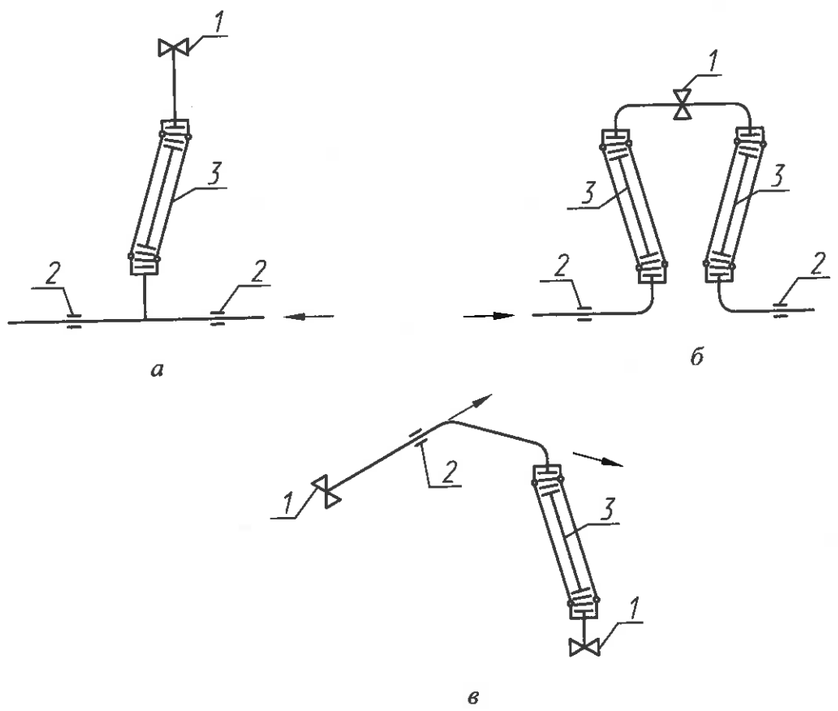


Рис. 5.34. Установка сдвиговых компенсаторов
а – на ответвлении; *б* – на участке П- образной формы;
в – на пространственном участке с Г- образным поворотом.
1 – мертвая опора; *2* – направляющая опора; *3* – сдвиговый компенсатор

5.7 Растяжка компенсаторов

Для того чтобы упругие свойства компенсаторов использовалась полностью, при выполнении работ по монтажу трубопроводов выполняют их предварительную растяжку.

Из рисунка 5.22, а следует, что если осевой компенсатор предварительно растянуть на величину $+\frac{\Delta_к}{2}$, то в последующем его полная компенсирующая способность на сжатие будет $-\Delta_к$. Аналогично, если сдвиговый компенсатор предварительно сдвинуть в обратную сторону на величину $\frac{\Delta_к}{2}$, его полная компенсирующая способность на сдвиг увеличится вдвое и будет равной $\Delta_к$ (рис. 5.33). В этом состоит смысл предварительной растяжки трубопроводов с компенсаторами.

Последовательность выполнения растяжки сильфонных компенсаторов зависит от наличия в их конструкции приспособлений для предварительной растяжки (упоры с регулирующими шпильками и гайками). При наличии такого приспособления (рис. 5.35, а) компенсатор приваривается одним концом к трубе (операция I). Затем труба с компенсатором закрепляется слева неподвижной опорой и кладется на направляющую опору (операция II).

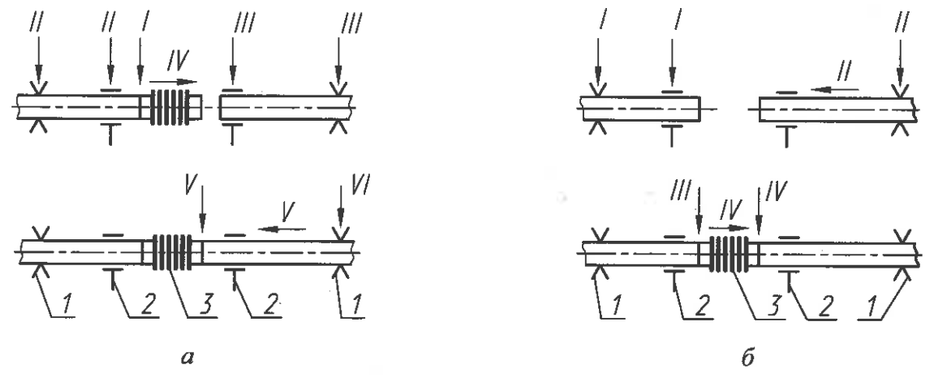


Рис. 5.35. Способы растяжки осевого компенсатора
1- неподвижная опора; *2* – направляющая опора; *3* - осевой компенсатор; I – VI – номера операций в процедуре выполнения растяжки;
1 – неподвижная опора; *2* – направляющая опора; *3*– осевой компенсатор

Вторая половина трубопровода укладывается на опоры, причем ближайшая к компенсатору опора - направляющая (операция III). Компенсатор с помощью шпилек и гаек растягивается на заданную величину (операция IV). Затем трубопровод придвигается вплотную к компенсатору (операция V) и приваривается к нему. Завершающей операцией будет закрепление правого конца трубопровода с помощью неподвижной опоры (операция VI). Затем с компенсатора снимают шпильки и гайки, установленные для предварительной растяжки.

При отсутствии в конструкции компенсатора приспособлений для растяжки (рис. 5.35, б) монтаж производят путем установки и закрепления обоих участков трубопровода с разрывом между ними, равным монтажной длине растянутого компенсатора. Предварительную растяжку компенсатора выполняют с помощью монтажных приспособлений, которые снимают после завершения последней операции.

При монтаже многосекционных компенсаторов консольное крепление их к трубопроводу не допускается. В этом случае необходимо помещать подставку под свободный патрубок компенсатора.

На рисунке 5.36 показана последовательность операций растяжки Z-образного трубопровода со сдвиговым компенсатором. Приведены два способа. В одном растяжка осуществляется с помощью зазора, оставленного на горизонтальном плече между двумя направляющими опорами и последующей принудительной стыковки кромок зазора с помощью сварки или фланцевого соединения. Во втором растяжка выполняется перемещением горизонтального плеча, а завершающей операцией будет закрепление трубопровода в неподвижной опоре. В обоих случаях в холодном состоянии компенсатор получает сдвиг на величину $-\frac{\Delta_к}{2}$ в сторону, обратную будущему температурному перемещению длинного плеча. При разогреве этого плеча компенсатор сначала пройдет нейтральное положение, затем переместится влево на величину $+\frac{\Delta_к}{2}$. Таким образом, будет скомпенсировано перемещение $\Delta_к$.

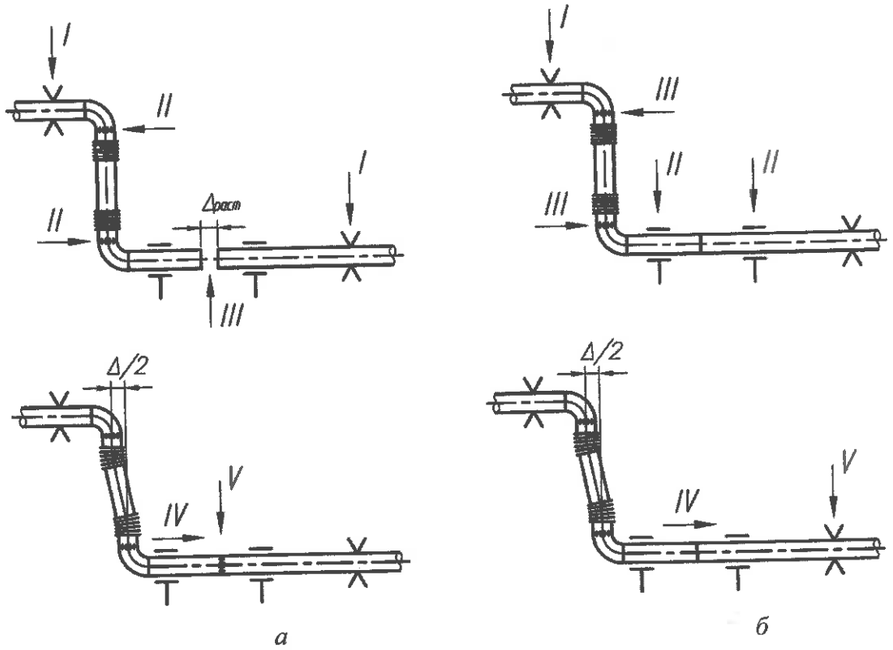


Рис. 5.36. Способы растяжки сдвигового компенсатора
I – V – номера операций в процедуре выполнения растяжки; *1*- неподвижная опора

Растяжка угловых компенсаторов в шарнирной системе принципиально не отличается от растяжки сдвиговых.

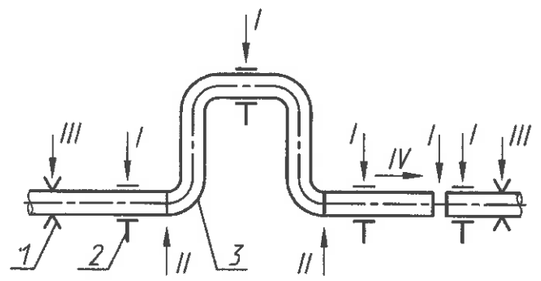


Рис. 5.37. Растяжка П- образного компенсатора
1- неподвижная опора; *2* – направляющая опора; *3* – компенсатор; I – IV – номера операций в процедуре выполнения растяжки

Идея растяжки П-образных компенсаторов, выполненных без использования шарнирных или сдвиговых элементов, заключается в прокладке более короткого трубопровода (на прилегающих плечах) с принудительной «подтяжкой» и заваркой стыкуемых сечений (рис. 5.37).

6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

6.1 Назначение и способы прокладки трубопроводов

Трубопроводы представляют собой своеобразные артерии и капилляры системы любого непрерывного технологического процесса. По трубопроводам осуществляется в основном транспортировка жидких и газообразных продуктов.

По назначению трубопроводы делятся на межцеховые (называемые также инженерными сетями или продуктопроводами) и внутрицеховые, основные и вспомогательные, трубопроводы коммуникаций и трубопроводные обвязки оборудования (локальные трубопроводные обвязки).

С помощью межцеховых трубопроводов осуществляется связь между цехами, установками, резервуарными парками, общезаводскими насосными и т.д. Внутрицеховые трубопроводы служат для связи между отдельными аппаратами, насосами, компрессорами, расположенными внутри цеха, установки или общезаводского хозяйства. К основным технологическим трубопроводам относятся те, которые при нормальной работе технологического процесса функционируют постоянно. Вспомогательные трубопроводы используются при аварийном опорожнении оборудования, проведении пуско-наладочных и ремонтных работ.

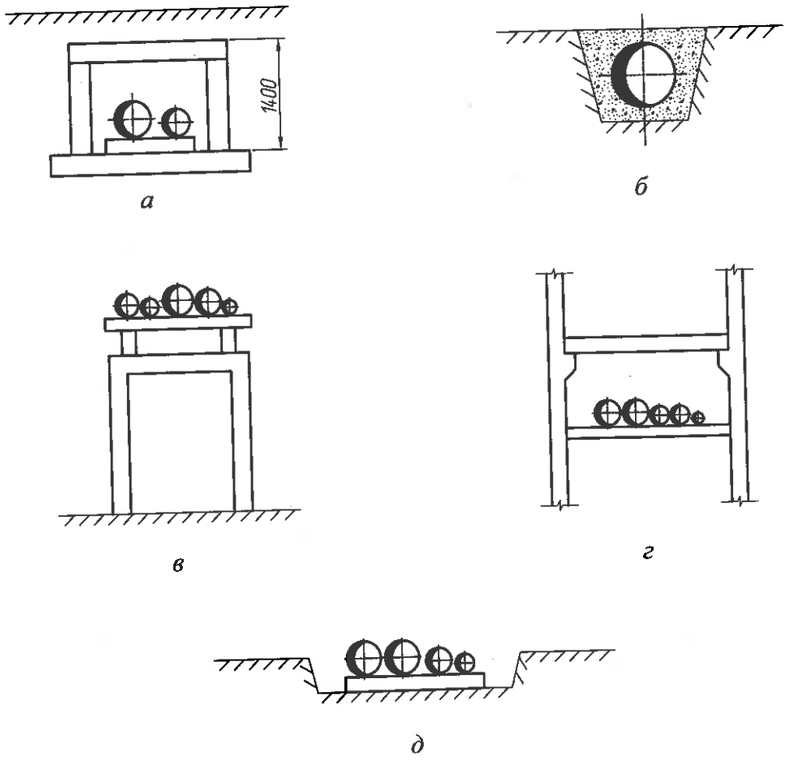
Трубопроводы коммуникаций, как правило, прокладываются «пучками» в один или несколько рядов и служат для транспортировки продуктов в пределах завода, цеха, установки, а также между заводами и цехами.

Эти трубопроводы могут прокладываться:

- подземно: в проходных, полупроходных и непроходных каналах (рис. 6.1, *а*), а также непосредственно в грунте - бесканальная прокладка (рис. 6.1, *б*);

- надземно: на эстакадах (рис. 6.1, *в*), отдельно стоящих высоких и низких опорах, а также с использованием строительных конструкций зданий и сооружений (рис. 6.1, *г*).

- наземно: на шпалах, уложенных в открытые заглубленные лотки в каналах и тоннелях полузаглубленого типа, открытых траншеях и т.д. (рис. 6.1, *д*).



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 6.1. Варианты прокладки заводских трубопроводов
а – подземная в канале, *б* – подземная бесканальная; *в* – надземная на эстакаде;
г – под перекрытием наружной установки; *д* – в открытом лотке

Наземная прокладка наиболее экономична, однако она затрудняет проезд и доступ к цехам и отдельно стоящим сооружениям промышленной площадки. Поэтому в производственной зоне, насыщенной оборудованием и сооружениями, она не получила широкого применения. По той же причине ограниченное применение имеет прокладка труб на отдельно стоящих низких опорах.

Нередко используется термин «наземная прокладка», но при этом, как правило, имеется в виду надземная прокладка трубопроводов, которая предпочтительна в первую очередь для взрыво-, пожароопасных продуктов групп А и Б.

Подземная прокладка трубопроводов в проходных и полупроходных каналах – наиболее дорогостоящая из всех видов прокладки. Сложной является и эксплуатация трубопроводов в подземных каналах из-за постоянного наличия в них грунтовых вод. Обеспечение надежной гидроизоляции приводит к еще большему удорожанию этих сооружений. Бесканальная прокладка допускается для трубопроводов с $T_{раб} \leq 150$ °*C*. Все виды подземной прокладки требуют дополнительных затрат при ремонте. Поэтому всюду, где только можно, рекомендуется использовать надземную прокладку. В непроходных каналах допускается прокладка трубопроводов, транспортирующих вязкие легкозастывающие и горючие жидкости группы Бв (мазут, масла и т.п.).

Таблица 6. 1

Способы прокладки внутрицеховых трубопроводов

Транспортируемая среда	Подземно			Надземно	
	Бесканальная прокладка	В непроходных каналах		На высоких опорах	На эстакадах
		не обогреваемых	обогреваемых		
Нефть и нефтепродукты					
- застывающие ниже -35 °С	-	-	-	+	+
- застывающие от 0 °С до -35 °С	-	+	-	+	+
- застывающие выше 0 °С для нагнетательных и всасывающих линий	-	-	-	+++	+++
Сжиженные газы					
- углеводородные для всасывающих и нагнетательных линий	-	-	-	+++	+++
- аммиак	-	-	-	+	+
Жидкие реагенты					
- серная кислота	-	-	-	+++	+++
- едкий натр, сода и другие водные растворы	-	+++	+	+++	+++
- фенол, бензол	-	-	+	+++	+++
- толуол, метилэтилкетон	-	-	-	+	+

Газы, воздух					
- углеводородный газ неосушенный	-	-	-	+++	+++
- углеводородный газ сухой	-	-	-	+	+
- инертный газ	-	-	-	+	+
- сероводород	-	-	-	+++	+++
- водород	-	-	-	+	+
- факельные линии	-	-	-	+++	+++
Пар	-	++	++	++	++
Конденсат, горячая вода					
- от потребителей до конденсатоотводчиков	-	++	++	++	++
- от конденсатоотводчиков до узлов захолаживания	-	+	+	+	+
- от насосов (напорные линии)	-	++	++	++	++
- горячая вода	++	++	++	++	++
- химически очищенная вода	+	+++	+	+++	+++
В аварийных трубопроводах					
- температура продукта не более 150 °С	+	-	-	-	-
- температура продукта выше 150 °С	-	++	-	-	-

Наиболее широкое распространение в химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производствах получила надземная прокладка на эстакадах несгораемой конструкции и отдельно стоящих высоких опорах.

Рекомендации по способам прокладки внутрицеховых трубопроводов на основании опыта эксплуатации нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических заводов, приведены в табл. 6.1. При этом использованы следующие условные обозначения:

- \- не применять;
- \+ применять без изоляции;
- ++ применять с тепловой изоляцией;
- +++ применять с тепловой изоляцией и обогревом.

С целью сокращения тепловых потерь и предохранения обслуживающего персонала от ожогов трубопроводы изолируются. При прокладке трубопроводов для вязких и легко застывающих продуктов на открытом воздухе или в не отапливаемых каналах применяется дополнительный обогрев с помощью обогревающих рубашек или трубопроводов-спутников (подробнее см. параграф 6.2).

Трассировка трубопроводов тесно связана с компоновкой оборудования, в процессе которой учитывается и расположение трубопроводов. Выбранная трассировка трубопроводов должна обеспечивать надежное и безопасное функционирование технологического процесса, хорошую компенсацию температурных расширений, простоту и удобство креплений, удобство монтажа, обслуживания и ремонта, минимальную стоимость.

Необходимо придерживаться следующих основных принципов трассировки трубопроводов.

1) Как правило, все внутрицеховые трубопроводы прокладываются вдоль и поперек цеха параллельно строительным осям. Это не только облегчает решение компоновочных задач, но и соответствует архитектурно-эстетическим критериям удачной компоновки.

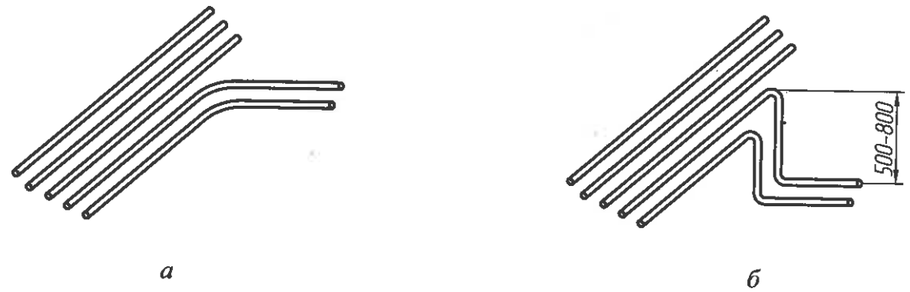


Рис. 6.2. Прокладка трубопроводов вдоль и поперек цеха
а – на одинаковой высоте; *б* – на разной высоте

Трубопроводы, идущие вдоль и поперек цеха, лучше прокладывать на разной высоте. Это означает, что при изменении направления трубопроводов в горизонтальной плоскости следует менять и высоту прокладки. Разность между соответствующими высотами должна составлять 0,5÷0,8 метра (рис. 6.2). Благодаря этому удается избежать путаницы и нежелательного пересечения или прилегания трубопроводов.

2) Расстояния между осями труб, расположенных в одном ярусе определяются из условия самокомпенсации температурных расширений, удобства наложения изоляции и обслуживания. Для изолируемых трубопроводов справедливы следующие эмпирические формулы (рис. 6.3)

$$A = r_{фл} + h + 50\ мм,$$
$$C_i = r_{тр} + h + 50\ мм,$$
$$B = r_{фл} + h + 100\ мм.$$

В этих формулах

$r_{фл}$ - радиус фланца, *мм*;

$r_{тр}$ - радиус трубы, *мм*;

h - толщина изоляции *мм*.

Для изолированных и неизолированных трубопроводов расстояние между осями смежных трубопроводов и от трубопроводов до стенок каналов и стен зданий рекомендуется выбирать по таблице 6.2. При наличии на трубопроводах арматуры или обогревающих спутников принятые по таблице расстояния *A* и *B* следует проверить из условий необходимости обеспечения расстояний в свету не менее:

- для неизолированных трубопроводов при *DN* до 600 *мм* - 50 *мм*;

- для неизолированных трубопроводов при *DN* свыше 600 *мм* и всех трубопроводов с тепловой изоляцией - 100 *мм*.

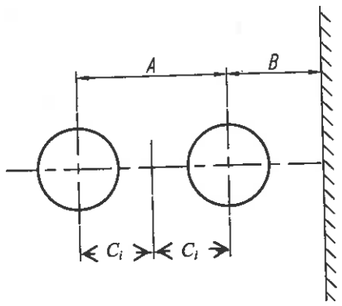


Рис. 6.3. К определению расстояний между осями трубопроводов

Расстояние между нижней образующей труб или теплоизоляционной конструкции и полом или дном канала должно быть не менее 100 *мм*.

3) Трубы, прокладываемые в одном ярусе должны иметь одинаковую отметку низа опор (рис. 6.4).

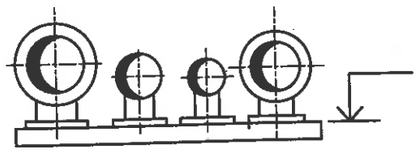


Рис. 6.4. прокладка труб в одном ярусе

Высоту от уровня пола (земли) до низа труб или изоляции следует принимать:

- при прокладке трубопроводов по низу не менее 0,35 метра при ширине группы не менее 1,5 метров,

- при прокладке трубопроводов по низу не менее 0,5 метра при ширине группы от 1,5 метра и более.

- при прокладке трубопроводов по верху в местах прохода людей - 2,2 метра;

- пересечения с автомобильными проездами и дорогами - не менее 5-ти метров,

- пересечения с железнодорожными путями - не менее 5,55 метра (над головкой рельса). При наличии электрофицированных железнодорожных путей эта высота увеличивается до 11-ти метров.

4) При многоярусной прокладке трубопроводов их рекомендуется располагать следующим образом. Трубопроводы для кислот и агрессивных веществ - на самых нижних ярусах; трубопроводы, транспортирующие взрыво- и пожароопасные вещества - в верхнем ярусе и по возможности у края; трубопроводы с веществами, смешение которых может вызвать взрыв или пожар - на максимально возможном удалении друг от друга. Трубопроводы на низких опорах диаметром до 300 *мм* рекомендуется размещать по вертикали в два ряда и более, максимально сокращая ширину трассы.

Таблица 6.2

Рекомендуемые расстояния между осями смежных трубопроводов и от трубопроводов до стенок каналов и стен зданий, не менее, *мм*

Условный диаметр трубопровода, *DN мм*	Для изолированных трубопроводов								Для неизолированных трубопроводов							
	при температуре стенки, ^0C						Без фланцев		С фланцами в одной плоскости при давлении среды, *МПа* (кгс/см^2)							
	ниже -30		от -30 до +19		От +20 до +600				До 1,6 (16)		2,5 (25) и 4,0 (40)		6,3 (63)		10 (100)	
	A	C_1	A	C_2	A	C_3	A	C_4	A	C_5	A	C_6	A	C_7	A	C_8
10	190	140	170	120	170	120	60	30	100	70	100	70	110	80	110	80
15	190	140	170	120	170	120	60	30	100	70	100	70	110	80	110	80
20	210	160	170	120	200	150	70	40	110	80	110	80	120	90	120	90
25	220	170	180	130	200	150	70	40	110	90	110	90	120	100	120	100
32	240	190	180	130	200	150	70	40	120	100	120	100	130	100	130	100
40	240	190	180	130	200	150	80	50	130	100	130	100	140	110	140	110
50	270	220	210	160	230	180	80	50	130	110	130	110	140	120	150	130
65	300	250	240	190	280	230	90	60	140	120	140	120	150	130	160	140
80	310	260	250	200	310	260	100	70	150	130	150	130	160	130	170	140
100	370	300	310	240	350	280	110	80	160	140	170	140	180	150	190	160
125	410	340	350	280	370	300	120	100	180	150	190	160	200	180	210	180
150	420	350	360	290	380	310	130	110	190	170	200	180	220	200	230	200
175	440	370	380	310	420	350	150	130	210	180	230	200	240	210	250	220
200	450	380	390	320	430	360	160	140	220	190	240	210	260	230	270	240
225	480	410	420	350	440	370	170	150	240	210	260	230	270	240	290	260
250	500	430	440	370	460	390	190	160	260	230	280	250	290	260	330	300
300	560	480	500	420	520	440	210	190	280	260	310	280	320	290	350	320
350	610	530	550	470	550	470	240	210	310	290	340	310	350	330	380	350

Условный диаметр трубопровода, *DN мм*	Для изолированных трубопроводов						Для неизолированных трубопроводов									
	при температуре стенки, ^0C						Без фланцев		С фланцами в одной плоскости при давлении среды, *МПа* (кгс/см^2)							
	ниже -30		от -30 до +19		От +20 до +600				До 1,6 (16)		2,5 (25) и 4,0 (40)		6,3 (63)		10 (100)	
	A	C_1	A	C_2	A	C_3	A	C_4	A	C_5	A	C_6	A	C_7	A	C_8
400	690	590	630	530	630	530	260	240	340	320	380	360	390	360	410	390
450	740	640	680	580	670	560	290	270	370	350	390	370	450	430	-	-
500	790	690	730	630	690	590	320	290	410	380	440	410	520	490	-	-
600	840	740	780	680	760	660	370	340	470	450	500	470	-	-	-	-
700	880	780	820	720	800	700	410	380	510	480	550	530	-	-	-	-
800	980	860	920	800	860	800	490	450	590	500	650	610	-	-	-	-
900	1030	910	970	850	970	860	540	550	640	600	-	-	-	-	-	-
1000	1130	960	1070	900	1070	900	610	560	730	680	-	-	-	-	-	-
1200	1230	1060	1170	1000	1170	1000	710	660	850	800	-	-	-	-	-	-
1400	1330	1160	1270	1100	1270	1100	810	760	950	900	-	-	-	-	-	-

5) Трассировку внутрицеховых трубопроводов необходимо производить с учетом возможности их крепления. При этом следует стремиться к максимальному использованию для этих целей строительных конструкций и сооружений. Крепление может производиться к колоннам строительного каркаса, стенам, специальным опорным конструкциям на полу, а также к балкам и плитам перекрытий. При этом необходимо учитывать нагрузки, передаваемые трубопроводами на строительные конструкции.

Трубопроводы наружных установок, как правило, прокладываются под перекрытиями с тем, чтобы сами перекрытия не были загромождены трубами. Исключение составляют трубопроводы, требующие постоянного наблюдения (например, высокотемпературные трубопроводы, в которых постоянно контролируется скорость ползучести).

6) Согласно правилам безопасности прокладка технологических трубопроводов не допускается:

- внутри административных, бытовых и хозяйственных помещений;
- в помещениях электрораспределительных устройств, электроустановок, щитов автоматизации, вентиляционных камер;
- на путях эвакуации персонала (лестничных клетках, коридорах и т.п.);
- по стенам и ограждающим конструкциям, сбрасываемым при воздействии взрывной волны;
- надземные сети не допускается размещать в пределах полосы, отведенной для укладки подземных сетей, требующих периодического доступа при эксплуатации.

7) Трубопроводы следует прокладывать с уклоном, обеспечивающим возможно полное их опорожнение в цеховую аппаратуру или емкости (согласно СНиП опорожнение трубопроводов на грунт не допускается). Уклоны трубопроводов следует принимать:

- для легкоподвижных жидких веществ 0,002;

- для газообразных веществ по ходу среды 0,002;
- для газообразных веществ против хода среды 0,003;
- для кислот и щелочей 0,005
- для высоковязких и застывающих 0,02.

В обоснованных случаях допускается прокладка с меньшими уклонами или без уклонов, но при этом должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие опорожнение.

8) При трассировке должна быть обеспечена надлежащая гибкость трубопровода с тем, чтобы напряжения от температурных расширений, а также усилия, передаваемые трубопроводом на оборудование, не превосходили допустимых значений.

9) Для уменьшения гидродинамических потерь следует избегать излишних поворотов трассы; тройники устанавливать таким образом, чтобы главный поток проходил тройник без поворота (рис. 6.5, *а*). В случае необходимости закрепления трубопровода вблизи поворота нельзя применять тройники вместо отводов (рис. 6.5, *б*).

10) Трассировка должна производиться с наименьшим количеством верхних и нижних точек, в которых предусматриваются дренажные узлы и воздушники.

11) При конструировании трубопроводов нужно стремиться к однотипности узлов и максимальному применению стандартизованных деталей, т.к. это обеспечивает индустриальные методы их изготовления и монтажа, повышает надежность и безопасность.

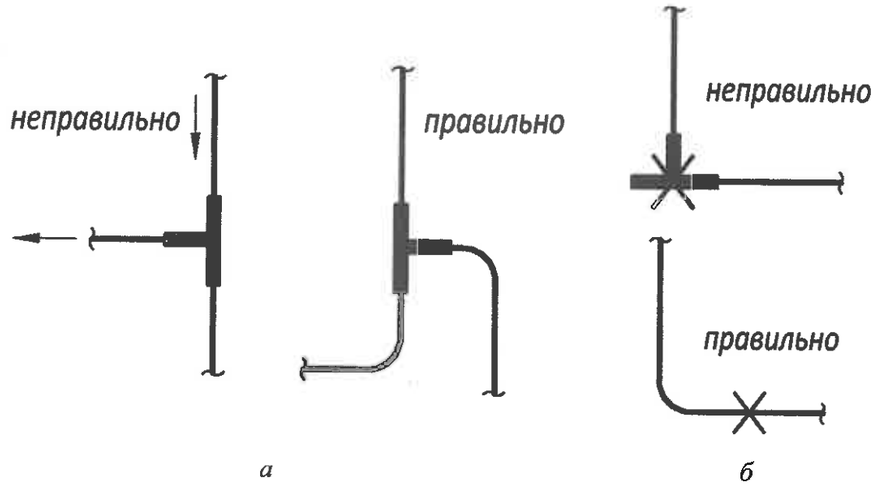


Рис. 6.5. Уменьшение гидродинамических потерь в местах поворота трассы
а – прохождение основного потока через ответвление; *б* – крепление трубопровода в месте поворота

12) Желательно, чтобы любой трубопровод был доступен для осмотра во всех своих частях. В местах расположения арматуры и фланцевых соединений должно быть достаточно места для производства монтажных и ремонтных работ.

6.2 Приемы конструирования трубопроводов

Одной из основных проблем конструирования трубопроводов является компенсация температурных расширений, обусловленных нагревом материала труб до температуры транспортируемого продукта. Компенсация температурных расширений необходима, когда напряжения, вызванные этими расширениями, должны быть ограничены по условиям прочности трубопровода, либо когда требуется снизить усилия, передаваемые нагретым трубопроводом на строительные конструкции, машины и аппараты. Компенсация температурных расширений заключается в следующем: при изменении длины трубопровода в результате нагрева или охлаждения он должен деформироваться таким образом, чтобы его усилия (а в случае необходимости и напряжения) не выходили за допустимые границы.

Проблемы компенсации температурных расширений не было бы, если бы трубопровод при нагреве или охлаждении мог свободно удлиняться или укорачиваться. Но в действительности концевые точки трубопровода обычно неподвижно крепятся к машинам и аппаратам. Кроме того, по ряду причин температурные расширения приходится ограничивать, вследствие чего и промежуточные точки трубопровода нередко закрепляются с помощью неподвижных опор. В этих условиях нужно, чтобы трубопровод между двумя неподвижными опорами работал как пружина, достаточно мягко реагирующая на растяжение-сжатие.

В ряде случаев проблема компенсации температурных расширений может быть решена с помощью осевых, угловых и сдвиговых компенсаторов. Однако более предпочтительным способом является **самокомпенсация** - использование поворотов и изгибов трассы трубопровода, когда температурные расширения одних участков воспринимаются деформациями изгиба и кручения других. Смысл самокомпенсации рассмотрим на простом примере Г-образного трубопровода (рис. 6.6).

Пусть в результате нагрева длина плеча l_1 изменилась на величину Δl_1, а длина плеча l_2 - на Δl_2. Удлинение Δl_1 компенсируется деформациями изгиба плеча l_2, а удлинение Δl_2- деформациями изгиба плеча l_1. В итоге получаем упругую линию, показанную пунктирной линией на рисунке 6.6. Если при этом усилия и напряжения не выходят за допустимые пределы, трубопровод безопасно воспринимает собственные температурные расширения (обладает достаточной самокомпенсацией).

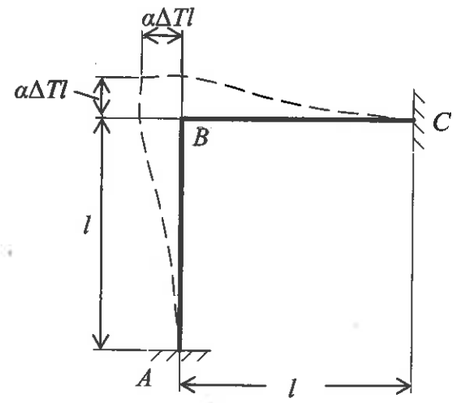


Рис. 6.6. Компенсация температурных расширений в Г – образном трубопроводе

Оценка компенсирующей способности, т.е. проверка усилий и напряжений, возникающих от температурного нагрева, является частью расчета прочности и жесткости трубопровода. Самокомпенсация трубопроводов может быть улучшена за счет увеличения длин отдельных участков трубопроводов и числа поворотов (особенно поворотов под прямым углом).

Опоры и подвески трубопроводов следует располагать по возможности ближе к арматуре, фланцам, тройникам, к местам поворотов трассы с тем, чтобы разгрузить трубопровод от весовой нагрузки и уменьшить прогибы в этих местах. Поскольку в неразрезной многопролетной конструкции наибольшие изгибные напряжения имеют место над опорами, сварные поперечные швы трубопроводов рекомендуется располагать не менее 200-т миллиметров от края опоры для трубопроводов с условным проходом свыше 50-ти миллиметров и не менее 50-ти миллиметров – для труб с условным проходом до 50-ти миллиметров включительно.

Расстояния между опорами (пролеты трубопровода) являются величинами расчетными. Они определяются из условий прочности и жесткости. Прочность трубопровода на изгиб оценивается по нормальным напряжениям, возникающим в продольном направлении. Эти напряжения обусловлены действием внутреннего давления и изгиба от весовой нагрузки

$$\sigma_{пр} = \sigma_p \pm \sigma_{изг} = \frac{P(D_н - s)}{400 s \varphi} \pm \frac{M_и}{W}.$$

Как показывают эксперименты при увеличении весовой нагрузки и постоянном внутреннем давлении P, или, наоборот, при увеличении внутреннего давления и постоянной весовой нагрузке, продольные напряжения достигают предела текучести, после чего

происходит резкое нарастание прогибов трубопровода. Поэтому продольные напряжения в трубопроводе ограничивают условием

$$\sigma_p + \sigma_{изг} < \sigma_{доп}.$$

При определении допустимых пролетов трубопровод можно приближенно рассматривать как многопролетную неразрезную балку. Для любого пролета такой балки, кроме крайнего справедливы формулы

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{12}$$

$$f_{\max} = \frac{ql^4}{384EI}$$

Условие прочности:

$$\frac{P(D_н - s)}{400s\varphi} + \frac{ql^2}{12W} \le \sigma_{доп}$$

Допустимый пролет:

$$l = \sqrt{\frac{12W}{q}(\sigma_{доп} + \frac{P(D_н - s)}{400s\varphi})}.$$

Если трубопровод прокладывается с уклоном, то его прогиб не должен приводить к образованию обратного уклона (рис. 6.7). Свободный сток продукта обеспечивается, когда

$$i\frac{l}{2} \ge f_{\max}.$$

Это выражение и является условием жесткости. Таким образом

$$\frac{il}{2} = \frac{ql^4}{384EI},$$

откуда наибольший пролет из условия провисания получается равным

$$l = \sqrt{\frac{96EIi}{q}}.$$

В приведенных выше формулах использованы следующие условные обозначения:

$M_и$, $M_{\max}$ - изгибающий момент и максимальный изгибающий момент, *КНм*;

$f_{\max}$ - максимальный прогиб от горизонтали, *мм*;

$\sigma_{доп}$ - допускаемые напряжения от действия веса и внутреннего давления в продольном направлении *МПа*;

q - вес трубопровода, включая вес трубы, изоляции и продукта (воды при наличии гидроиспытаний) *Н/м*;

$D_н$ - наружный диаметр трубы, *мм*;

s - толщина стенки трубы, *мм*;

φ - коэффициент прочности сварного шва (для бесшовных труб φ =1);

i - уклон трубопровода $\frac{h}{l}$;

W и I - соответственно момент сопротивления и момент инерции сечения трубы, $см^3$ и $см^4$;

E - модуль упругости, *МПа*.

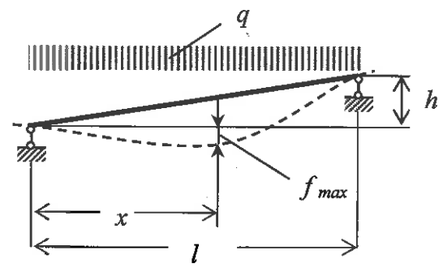


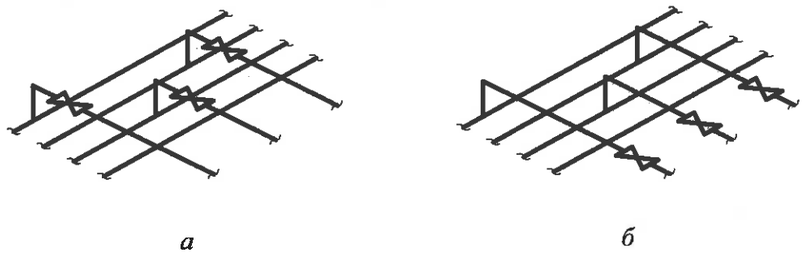
Рис.6.7. Схема деформированного трубопровода при наличии уклона

Из двух рассчитанных по формулам прочности и жесткости значений следует принимать наименьшее. Обычно для конкретных труб, условных давлений *PN*, веса и уклонов рассчитываются таблицы со значениями допустимых пролетов, которыми и пользуются на практике.

Арматура должна располагаться в местах, удобных для ее эксплуатации, осмотра и ремонта. Наиболее удачным является такое расположение, при котором арматура может обслуживаться с основных рабочих перекрытий здания или этажерки. Ручной привод арматуры должен располагаться на высоте не более 1.8 метра от уровня пола помещения или площадки, с которой производится обслуживание. При частом использовании арматуры привод следует располагать на высоте не более 1.6 метра. Если расположение оборудования не соответствует этим требованиям, применяют приводы дистанционного управления с установкой колонок управления в удобных для обслуживания местах. Для осмотра и ремонта такой арматуры должна быть смонтирована площадка обслуживания.

На горизонтальных участках арматуру в основном располагают штурвалом или приводом вверх. Но есть случаи, когда этого делать нельзя, например, когда случайное закрытие арматуры угрожает безопасности процесса. Так, положение задвижки, установленной на линии выхода из сепаратора факельных газов, должно быть штурвалом вниз, при этом штурвал блокируется или вообще снимается с задвижки.

При прокладке пучков трубопроводов рекомендуется располагать арматуру группами таким образом, чтобы ее можно было обслуживать с общей площадки (рис. 6.8).



а *б*

Рис. 6.8. Расположение арматуры для трубопроводов, прокладываемых в одном ярусе
а – неправильно; *б* - правильно

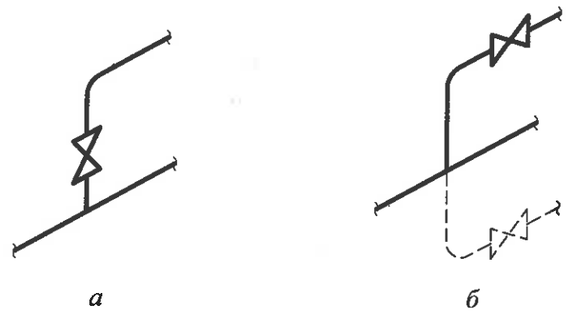
Для уменьшения усилий при открывании запорной арматуры с ручным приводом и условным проходом свыше 400 *мм* при условном давлении до 1,6 *МПа* (16 *кгс/см*^{2}) включительно и с условным проходом свыше 350 *мм* при условном давлении свыше 1,6 *МПа* (16 *кгс/см*^{2}) ее рекомендуется снабжать обводными линиями (байпасами) для выравнивания давления по обе стороны запорного органа. Условный проход обводной линии должен быть

- для запорной арматуры $DN = 350 \div 600$ *мм* – обводная линия $DN = 50$ *мм*;
- для запорной арматуры $DN = 700 \div 800$ *мм* – обводная линия $DN = 80$ *мм*;
- для запорной арматуры $DN = 1000$ *мм* – обводная линия $DN = 100$ *мм*;
- для запорной арматуры $DN = 1200$ *мм* – обводная линия $DN = 125$ *мм*;
- для запорной арматуры $DN = 1400$ *мм* – обводная линия $DN = 150$ *мм*.

Задвижки и запорные клапаны, требующие для своего открытия и закрытия вращающий момент более 500 *Нм,* должны иметь электроприводы. Арматура, участвующая в системах блокировки и автоматики, снабжается электроприводом в обязательном порядке.

Арматуру, имеющую дистанционный привод, нужно располагать в местах с малым температурным удлинением трубопровода. Установку тяжелых задвижек лучше производить на горизонтальных участках, чтобы не усложнять их монтаж и ремонт.

Вообще размещение отключающей арматуры зависит от конкретных условий ведения технологического процесса, свойств транспортируемой среды, назначения трубопровода и т.п. Например, для незастывающих продуктов не следует располагать задвижки на вертикальных участках трубопроводов, идущих из коллекторов или аппаратов, так как в этом случае над задвижкой создается «застойная зона», в которой при закрытой задвижке будет скапливаться продукт (рис. 6.9, *а*). Для застывающих продуктов, напротив, задвижки следует располагать на вертикальном участке и как можно ближе к основному трубопроводу, поскольку решение, представленное на рис. 6.9, *б* требует обогрева участка до задвижки.

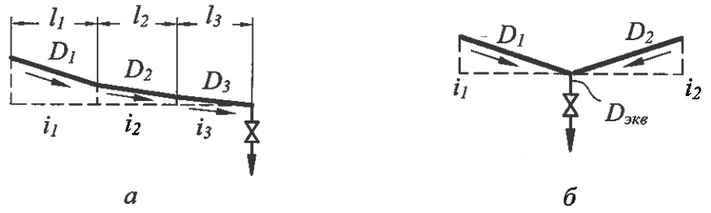


а *б*

Рис. 6.9. Примеры расположения арматуры на ответвлении от коллектора
а- неправильно; *б* - правильно

Большое значение при прокладке трубопроводов имеет правильная организация их уклона, который необходим для опорожнения трубопроводов при ремонтах и длительных остановках (особенно для наружных трубопроводов в зимнее время), а также ликвидации воздушных пробок в верхних точках трасс.

Для дренажа и продувки трубопроводов предусматривают установку в нижних точках устройств для спуска жидкости (спускников), а в высших точках - устройств для выпуска воздуха (воздушников). Спускники и воздушники устанавливаются также в застойных зонах и «мешках», которых не всегда удается избежать при прокладке трубопроводов.



а *б*

Рис. 6.10. Схемы дренирования трубопроводов
а – односторонняя; *б* – двусторонняя

Уклоны трубопроводов обеспечиваются регулированием высоты опор и подвесок, изменением длины тяг подвесок, применением скользящих опор с регулируемой высотой, подкладыванием металлических пластин под опорные части. В тех случаях, когда прокладываются одиночные линии или пучок труб с единым направлением уклона, он может

быть обеспечен изменением отметок опирания строительных конструкций: траверс, опорных балок, кронштейнов и т.д. Нормируемые значения уклонов см. § 5.1. Уклоны могут быть односторонними и двусторонними (рис. 6.10).

Диаметр спускников определяют из условия удаления воды из дренируемого участка трубопровода не более чем за 5 часов. При скорости воды в дренажной линии около 1 *м/сек,* диаметр спускника при одностороннем дренировании определяют по формуле

$$D = nD_{np}a\sqrt{\frac{\sum l}{i_{np}}},$$

где D_{np} - приведенный диаметр дренируемого трубопровода, м;

$\sum l$ - общая длина дренируемого трубопровода, м;

i_{np} - приведенный уклон дренируемого трубопровода, мм;

a – коэффициент, расхода спускника (для запорного клапана a=0,0144, для задвижки a =0,011);

n - коэффициент, зависящий от времени дренирования участка, принимается равным 0,45 при дренировании участка трубопровода за 5 часов, 0,5 - за 4 часа, 0,58 за 3 часа, 0,72 - за 2 часа и 1,0 - за 1 час.

Приведенный диаметр (в метрах) дренируемого трубопровода определяется по формуле

$$D_{np} = \frac{1}{\sum l}(D_1 l_1 + D_2 l_2 + ... + D_n l_n),$$

а приведенный уклон

$$i_{np} = \frac{1}{\sum l}(il_1 + il_2 + ... + il_n),$$

где $l_1, l_2, ..., l_n$ - длина дренируемых участков трубопровода, *м.*

При двустороннем дренировании диаметр спускника определяют по формуле

$$D_{экв} = \sqrt{D_1^2 + D_2^2}\ .$$

В этой формуле D_1 и D_2 - диаметры спускников первого и второго участков трубопровода, определенные по формуле для одностороннего дренирования.

Дренажные устройства могут быть постоянного и периодического действия. Дренажные устройства постоянного действия необходимы на газопроводах, в которых в процессе эксплуатации может образовываться конденсат, в трубопроводах перегретого пара. Выполняются в виде специальных штуцер-карманов (рис. 6.11), конденсатоотводчиков, гидрозатворов и т.д.

Дренажные устройства периодического действия (остановки, предпусковые сбросы) представляют собой сливные штуцеры с запорной арматурой или заглушкой и приспособлением для подсоединения постоянных труб или шлангов.

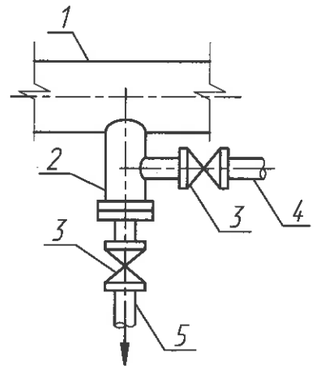


Рис. 6.11. Штуцер–карман для постоянного и пускового дренирования
1 – трубопровод; 2 – штуцер - карман; 3 – запорная арматура; 4 – отводной трубопровод для постоянного дренажа, 5 - отводной трубопровод для пускового дренажа

Не допускается устройство нижних точек на трубопроводах, транспортирующих токсичные вещества 1-го и 2-го классов опасности, а также агрессивные кислоты и щелочи. В этих случаях уклон труб должен быть либо односторонним, либо двусторонним - в сторону потребителя и склада; высшая точка должна быть в середине участка трассы трубопровода.

В проектных организациях для определения диаметров спускников и воздушников используются таблицы, рассчитанные по формулам, приведенным выше.

Обогрев трубопроводов применяют при транспортировании легкозастывающих или выпадающих из растворов в виде кристаллов продуктов, а также для поддержания заданной температуры продукта. Особенно часто обогрев применяют на трубопроводах в не отапливаемых помещениях и на наружных установках.

В качестве теплоносителя обычно используют горячую воду от системы теплофикации или пар от технологических трубопроводов низкого давления. При наличии специальных требований к обогреву применяют антифриз или масло.

В зависимости от интенсивности обогрева применяют трубопроводы с рубашкой или со спутниками.

Трубопроводы с рубашкой используют при необходимости интенсивного обогрева или точного регулирования температуры, а также для трубопроводов малого диаметра (с диаметром менее 50 *мм*).

Трубопровод с рубашкой (рис. 6.12) состоит из двух труб разного диаметра, а часто и разного материала, одна из которых вставлена в другую. Пар для обогрева подают в на-

ружный корпус рубашки, а по внутреннему трубопроводу транспортируется продукт. Пускают пар и отводят конденсат через штуцера. В местах фланцевых соединений трубопроводов рубашки соединяют обводными трубками.

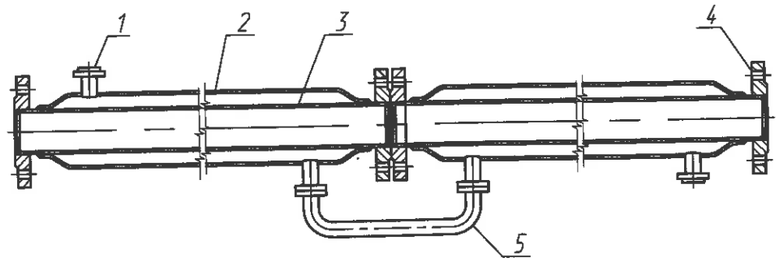


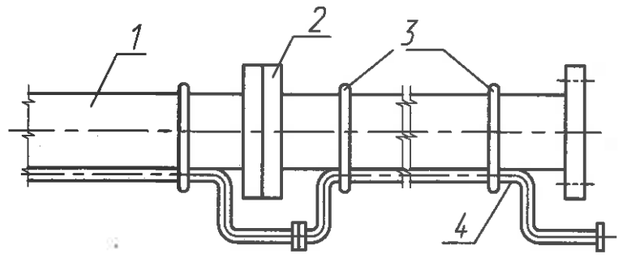
Рис. 6.12. Трубопровод с обогревающей рубашкой
1 – воздушник; *2* – наружный корпус рубашки; 3 – трубопровод; *4* – стыковочный фланец; *5* – обводная трубка.

При монтаже обводные трубки на горизонтальных участках помещают строго горизонтально, чтобы не образовывались мешки. При укладке трубопроводов на опоры к ним крепят основную (обогреваемую трубу), а в рубашке в этих местах делают разрывы с обводными трубками. Крепить рубашки к опорам не следует.

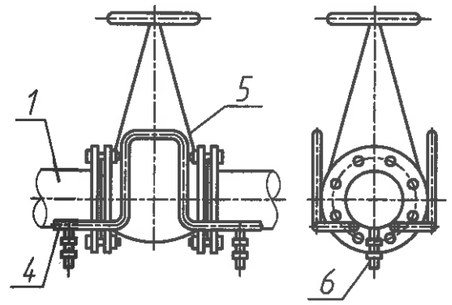
В трубопроводах со спутником спутник выполняют в виде трубы, которую прокладывают рядом с основным трубопроводом. Наиболее широко применяют трубы-спутники, размещаемые параллельно основному трубопроводу снизу и сбоку. Диаметры спутников определяются тепловым расчетом и обычно равны 15 ÷ 50 *мм*. При горизонтальном расположении трубопровода спутники устанавливают под ним (при двух-трех спутниках симметрично вертикальной оси), при вертикальном - в виде спирали.

Трубу-спутник (рис. 6.13) обычно прикрепляют к основному трубопроводу на хомутах или вязальной проволокой через каждые 0,4 ÷ 0,5 *м*. При этом труба-спутник должна плотно прилегать к основному трубопроводу. В местах установки арматуры и фланцев трубу-спутник изгибают, превращая изгиб в П – образный компенсатор с фланцевым разъемом, чтобы можно было разбирать и ремонтировать соединение.

Неподвижные крепления трубопроводов для спутников необходимо выполнять на общей опоре с основным трубопроводом. Крепление обогревающих спутников к опорам и обогреваемому трубопроводу должно обеспечивать свободную дополнительную компенсацию температурных расширений спутника. В необходимых случаях на обогревающих спутниках предусматривают дополнительные компенсационные устройства. Трубопроводы со спутником покрывают общей теплоизоляцией.



а



б

Рис. 6.13. Трубопровод со спутником
а – схема крепления; *б* – перемычка при наличии арматуры
1 – основной трубопровод; 2 – фланцевое соединение; 3 – крепежный хомут; 4 - трубопровод – спутник; 5 – арматура; 7 – спускник для трубопровода – спутника

В настоящее время большую популярность приобретают системы кабельного электрообогрева трубопроводов, т.к. они являются высокотехнологичными с точки зрения автоматизации. Электрообогрев обычно применяется для поддержания необходимой температуры трубопроводов, используемых для транспортировки замерзающих или застывающих жидкостей, в особенности в периоды прекращения циркуляции этих жидкостей. Нагревательный электрический кабель (электрический теплоспутник) прокладывается либо линейно вдоль трубы, либо наматывается по спирали на ее наружную поверхность. Для уменьшения тепловых потерь поверх греющего кабеля устанавливается теплоизоляция или утеплительный кожух.

6.3 Условный диаметр, давления условное и пробное, рабочие параметры среды

Трубопроводы собираются из унифицированных элементов заводского изготовления: труб, деталей, арматуры и т.д. Для того чтобы такая сборка стала принципиально возможной, необходимо установить, стыкуются ли выбранные элементы между собой.

Для этого используются два показателя: геометрический *DN* – условный диаметр и «прочностной» *PN* – условное давление.

Условный диаметр или, как его еще называют, условный проход *DN* - величина, условно характеризующая внутренний диаметр элемента трубопровода (трубы, фасонной части, арматуры), не обязательно совпадающая с его действительным внутренним диаметром. Если два элемента имеют одинаковые значения *DN*, то они имеют присоединительные размеры, обеспечивающие их стыковку.

Диаметры условных проходов *DN* и наружные диаметры трубопроводов $D_н$ стандартизованы и приведены в табл. 6.2, 6.3, 6.4.

Таблица 6. 2

Соответствие между *DN* и $D_н$ трубопроводов малых диаметров

Обозначение	Диаметр трубопровода, *мм*										
DN	6	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100
$D_н$	10	14	20	25	32	38	45	57	76	89	108

Таблица 6. 3

Соответствие между *DN* и $D_н$ трубопроводов средних диаметров

Обозначение	Диаметр трубопровода, *мм*						
DN	125	150	200	250	300	350	400
$D_н$	133	159	219	273	325	377	426

Таблица 6. 4

Соответствие между *DN* и $D_н$ трубопроводов больших диаметров

Обозначение	Диаметр трубопровода, *мм*								
DN	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
$D_н$	530	630	720	820	920	1020	1220	1420	1620

Условному диаметру ставится в соответствие наружный, а не внутренний диаметр. Это и понятно, поскольку при одном и том же наружном диаметре толщина стенки может меняться в довольно широких пределах и использовать внутренний диаметр в качестве характеристики *DN* становится намного сложнее. Например, трубы 219х7; 219х12 имеют внутренний диаметр соответственно 205 и 195 *мм*. Наружный же диаметр у них одинаковый, соответственно одинаковым будет и *DN* = 200 *мм*.

Условное давление *PN* - наибольшее избыточное давление, при котором обеспечивается длительная работа изделия, имеющего заданные размеры и материал при характеристиках прочности, соответствующих температуре +20°*C*.

Проще этого показателя трудно что-либо придумать: при комнатной температуре (+20°*C*) могут работать почти все конструкционные материалы, характеристики их прочности имеют самые высокие показатели, а испытания на прочность сопряжены с минимальными затратами.

Запасы прочности у изделий не обязательно должны быть одинаковыми. Но значения *PN* для стыкуемых трубопроводных деталей и арматуры не должны быть ниже, чем у основного несущего элемента – трубы.

Поскольку у большинства конструкционных материалов в определенном интервале температур механические свойства меняются слабо, условное давление в этом интервале принимается одинаковым. Для трубных сталей расчетное давление $P_{расч}$ считается равным условному в интервале от +20°*C* до +200°*C*, а для чугуна, бронзы и латуни от +20°*C* до +120°*C*. При более высоких температурах для одного и того же *PN* расчетное давление снижается. Для отрицательных температур за расчетную температуру принимается +20°*C*.

Таким образом, для каждого *PN* получается ряд допустимых сочетаний давлений и температур для изделий из определенного материала, при которых должна обеспечиваться их надежная работа. Верхнюю границу расчетного давления можно оценить, используя соотношение

$$P_{расч} \le PN \frac{[\sigma]^t}{[\sigma]^{20}}.$$

Здесь

$[\sigma]^{20}$ – допускаемое напряжение при температуре +20 °*C*, *МПа*;

$[\sigma]^t$ – допускаемое напряжение при расчетной температуре, *МПа*.

Причем $[\sigma]^{20} = [\sigma]^t$ ($P_{расч} = PN$) при температуре $t \le +200°C$ для трубных сталей и $t \le +120°C$ для цветных металлов (чугуна, бронзы, латуни).

Таблица 6. 5

Расчетные давления для арматуры и деталей трубопроводов из сталей марок 3, 10, 20, 16ГС и 17ГС, *МПа*

PN, *МПа*	Наибольшая температура среды $T_{раб}$, °*C*								
	200	250	300	350	400	425	435	445	455
1,6	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,62	0,57
2,5	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9
6,3	6,3	5,4	4,8	4,0	3,7	3,2	2,8	2,5	2,3

Соответствие между $P_{расч}$ и PN для различных материалов устанавливается стандартом ГОСТ 356-80 [43]. Для углеродистых и низколегированных сталей это соответствие приведено в таблице 6.5 в качестве примера. При определении условного давления по расчетному, не указанному в таблице, допускается превышение расчетного над его ближайшим табличным значением не более чем на 5%. Если расчетное давление превышает ближайшее табличное больше чем на 5%, то условное давление принимается по следующей более высокой ступени. Рассмотрим два примера пользования таблицей.

Пример 1. $T_{расч}$ =350°C; $P_{расч}$ =1,15 *МПа*, определить PN.

$$\frac{1{,}15-1{,}1}{1{,}15}\cdot 100 \approx 4{,}3 < 5\%; \qquad PN = 1{,}6\ МПа.$$

Пример 2. $T_{расч}$ =300°C; $P_{расч}$ =1,6 *МПа*, определить PN

$$\frac{1{,}6-1{,}2}{1{,}6}\cdot 100 = 25\%; \qquad PN = 2{,}5\ МПа.$$

При конструировании трубопроводов используются понятия расчетного, пробного давления и расчетной температуры. За расчетное давление $P_{расч}$ принимается

- в трубопроводе, соединенном с аппаратом, – наибольшее расчетное давление в аппарате;

- в напорном трубопроводе (после насосов, компрессоров, газодувок) - максимальное давление, развиваемое центробежной машиной при закрытой задвижке со стороны нагнетания, а для поршневых машин – давление срабатывания предохранительного клапана, установленного на источнике давления.

Таблица 6. 6

Пробные (испытательные) давления для трубопроводов $P_{пр}$, *МПа*

Расчетное давление в трубопроводе $P_{расч}$	Технологические трубопроводы	Трубопроводы пара и горячей воды
Трубопроводы без давления, вакуум	0.2	0.2
Стальные трубопроводы под давлением	$1.25\frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^{t}}\cdot P_{расч}$	$1.25\,P_{расч}$
Трубопроводы из цветных металлов и пластиков под давлением	$1.5\frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^{t}}\cdot P_{расч}$	$1.5\,P_{расч}$

Пробное давление $P_{пр}$ - это избыточное давление, при котором трубы, арматура и соединительные части трубопроводов должны подвергаться испытанию на прочность и

плотность. Величина пробного давления зависит от материала, параметров среды и определяется по таблице 6.6. При этом обязательным является соблюдение условия: расчетные напряжения в трубопроводе не должны превышать при пробном давлении величины, равной 90% от предела текучести.

Расчетная температура в трубопроводе - максимальная положительная или минимальная отрицательная (для хладонов) температура транспортируемого вещества, устанавливаемая технологическим регламентом на проектирование.

Сочетание расчетного давления и расчетной температуры принято называть рабочими параметрами среды.

6.4 Классификации трубопроводов

Надежность и безопасность трубопроводов зависит от многих факторов. Важнейшие из них: прочностные характеристики материалов, характер нагрузок, действующих на трубопровод (статические и динамические, силовые и деформационные); характер напряжений, возникающих в трубопроводе (растяжение, сжатие, изгиб и т.д.); длительность эксплуатации трубопровода с момента пуска его в работу, количество циклов включения – отключения; агрегатное состояние перекачиваемой среды (жидкость, газ, парожидкостная смесь); свойства перекачиваемой среды (токсичность, взрыво- и пожароопасность, коррозионная активность); рабочие параметры (температура, давление). В различных трубопроводных системах эти параметры встречаются в самых разнообразных сочетаниях. Естественно, что и требования, предъявляемые к технологическим трубопроводам при проектировании, монтаже, эксплуатации и ремонте, зависят от сочетания этих параметров. Специалистам по проектированию, строительству и эксплуатации трубопроводов нужно знать какие трубы (материал, конструкция), фасонные детали, арматуру можно применять для тех или иных конкретных условий, какой выбрать тип трубопроводных соединений, какие требования предъявить к качеству работ при возведении трубопровода, его эксплуатации и т.д.

Было бы крайне желательно иметь универсальную и объективную классификацию, которая на все эти вопросы давала бы однозначные ответы. Однако провести такую классификацию практически невозможно. Поэтому существует упрощенный подход – в качестве основного критерия принимается мера опасности при возможном аварийном разрушении трубопровода (т.е. далеко не все факторы, перечисленные выше). Такой подход позволяет создавать достаточно надежные и безопасные конструкции трубопроводов, но при этом число классификаций оказывается довольно большим из-за ограничений, налагаемых на каждую из них. В самом деле – свойства и рабочие параметры транспортируемой среды еще не характеризуют работу трубопровода как конструкции.

Для этого необходимо знать материал, из которого он изготовлен, периодичность приложения нагрузок, их характер, срок службы трубопровода и т.д. Мера опасности зависит и от местоположения трубопровода по отношению к другим объектам: является ли он внутризаводским или магистральным, прокладываемым в естественных природных условиях на большие расстояния. В настоящее время существуют различные классификации для технологических стальных трубопроводов, для технологических трубопроводов из пластмасс, для магистральных трубопроводов – и т.п.

Таблица 6. 7

Классификация технологических трубопроводов $PN \leq 10$ *МПа* (100 *кгс/см*^{2})

Общая группа	Транспортируемые вещества	Категория трубопроводов									
		I		II		III		IV		V	
		$P_{расч.}$, *МПа* (*кгс/см*^{2})	$t_{расч.}$, ^0C	$P_{расч.}$, *МПа* (*кгс/см*^{2})	$t_{расч.}$, ^0C	$P_{расч.}$, *МПа* (*кгс/см*^{2})	$t_{расч.}$, ^0C	$P_{расч.}$, *МПа* (*кгс/см*^{2})	$t_{расч.}$, ^0C	$P_{расч.}$, *МПа* (*кгс/см*^{2})	$t_{расч.}$, ^0C
А	а) Вредные вещества чрезвычайно и высокоопасные, вещества классов 1, 2 (ГОСТ 12.1.007)	Независимо	Независимо	-	-	-	-	-	-	-	-
	б) Вредные вещества умеренно опасные, вещества класса 3 (ГОСТ 12.1.007)	Свыше 2,5 (25)	Свыше +300 и ниже -40	Вакуум от 0,08 (0,8) (абс.) до 2,5 (25)	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
		Вакуум ниже 0,08 (0,8) (абс.)	Независимо	-	-	-	-	-	-	-	-
Б	а) горючие газы (ГГ), в том числе сжиженные (СУГ)	Свыше 2,5 (25)	Свыше +300 и ниже -40	Вакуум от 0,08 (0,8) (абс.) до 2,5 (25)	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
		Вакуум ниже 0,08 (0,8) (абс.)	Независимо	-	-	-	-	-	-	-	-
	б) легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ)	Свыше 2,5 (25)	Свыше +300 и ниже -40	Свыше 1,6 (16) до 2,5 (25)	От +120 до +300	До 1,6 (16)	От -40до +120	-	-	-	-
		Вакуум ниже 0,08 (0,8) (абс.)	Независимо	Вакуум выше 0,08 (0,8) (абс.)	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
	в) горючие жидкости (ГЖ)	Свыше 6,3 (63)	Свыше +350 и ниже -40	Свыше 2,5 (25) до 6,3 (63)	Свыше +250 до +350	Свыше 1,6 (16) до 2,5 (25)	Свыше +120 до +250	До 1,6 (16)	От -40 до +120	-	-
		Вакуум ниже 0,03 (0,3) (абс.)		Вакуум ниже 0,08 (0,8) (абс.)		Вакуум до 0,08 (0,8) (абс.)	От -40 до +250	-	-	-	-

В	Трудногорючие (ТГ) и негорючие (НГ) вещества по ГОСТ 12.1.044	Вакуум ниже 0,03 (0,3) (абс.)	Независимо	Свыше 6,3 (63) и вакуум ниже 0,08 (0,8) (абс.)	Свыше +350 до +450	Свыше 2,5 (25) до 6,3 (63)	От +250 до +350	Свыше 1,6 (16) до 2,5 (25)	Свыше +120 до +250	До 1,6 (16)	От -40 до +120

Ограничения накладываются и на пределы изменения рабочих параметров. Одно дело, когда трубопровод эксплуатируется, например, при избыточном внутреннем давлении, и совсем другое - когда под вакуумом, ибо характер распределения напряжений будет принципиально иным. Для трубопроводов низкого давления применяются одни конструктивные решения, а для трубопроводов высокого и сверхвысокого давлений - другие.

В ряде случаев необходимо учитывать и специфику транспортируемой среды. Как следствие появляются инструкции по проектированию ацетиленопроводов, кислотопроводов, трубопроводов аммиака, кислорода и т.д.

Рассмотрим классификации, наиболее употребляемые при проектировании трубопроводов нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств.

В соответствии с действующим в настоящее время стандартом технологические стальные трубопроводы с давлением *PN* до 10 *МПа* делятся на три группы и пять категорий (табл. 6.7).

Деление на группы построено с учетом вредности транспортируемых веществ их взрыво- и пожароопасности, что учитывается при выборе конструкции и материала трубопровода. Деление на категории определяет допустимые границы рабочих параметров и требования к контролю качества изготовления трубопровода (чем выше категория, тем выше требования к металлу и контролю качества). Вредные вещества классов опасности 1, 2 и 3 относятся к группе А, горючие и сжиженные газы и легковоспламеняемые жидкости), а также горючие жидкости – к группе Б, трудногорючие и негорючие – к группе В.

При определении меры опасности от возможного аварийного разрушения трубопровода во главу угла поставлены жизнь и здоровье людей - вредные вещества отнесены к самой высокой группе А(а), а токсичные вещества 1 и 2 класса опасности независимо от рабочих параметров к самой ответственной первой категории.

Группа и категория должны быть указаны в проекте на каждую линию трубопровода с рабочими параметрами транспортируемого продукта. Примеры маркировки линий:

А(б)II - трубопроводная линия группы А(б) категории II для среды 3-го класса опасности с давлением не более 2,5 *МПа* и расчетной температурой +300 ^{0}C;

Б(в)Ш – линия трубопровода группы Б(в) категории Ш для горючей жидкости с расчетными параметрами: 1.6 *МПа* $< P_{расч} \leq$ 2.5 *МПа* и 120°C $< T_{расч} \leq$ 250°C.

Группу и категорию трубопровода устанавливают по параметру, который требует отнесения его к более ответственной группе или категории.

На примере этой классификации легко проследить те общие принципы, о которых говорилось выше. Классификация охватывает стальные технологические трубопроводы с *DN* до 1400 *мм*, с расчетным давлением от - 0,08 *МПа* (вакуум) до 10 *МПа* и расчетной температурой от - 70^0C до 600^0C.

Таким образом, исключены из рассмотрения трубопроводы глубокого вакуума, трубопроводы высокого и сверхвысокого давления. Транспортируемые вещества могут быть жидкими и газообразными с различными физико-химическими свойствами. Однако и здесь есть свои ограничения. Классификация не охватывает агрессивные вещества, требующие специальных мероприятий по защите внутренней поверхности трубопроводов от коррозионного воздействия (допускается только малая и средняя агрессия). За пределами классификации остались также трубопроводы, подверженные динамическим нагрузкам.

Несмотря на эти ограничения, классификация охватывает разнообразные технологические трубопроводы, имеющие широкое распространение в различных отраслях промышленности, способствует обеспечению их надежной и безопасной эксплуатации в течение заданных сроков службы.

Следующая классификация относится к трубопроводам пара и горячей воды (табл. 6.8). Классификация охватывает трубопроводы водяного пара с рабочим давлением более 0,07 *МПа* и горячей воды с рабочей (расчетной) температурой более 115^oC. Рассматриваемая классификация охватывает трубопроводы для следующих транспортируемых сред, широко распространенных в технологических производствах: пар перегретый, насыщенный и горячая вода.

Таблица 6.8

Категории и группы трубопроводов пара и горячей воды

Категория трубопроводов	Группа	Расчетные параметры среды	
		температура, ^0C	давление, *МПа* (*кгс/см*^{2})
I	1	Свыше 560	Не ограничено
	2	Свыше 520 до 560	То же
	3	Свыше 450 до 520	То же
	4	До 450	Более 8,0 (80)
II	1	Свыше 350 до 450	До 8,0 (80)
	2	До 350	Более 4,0 (40) до 8,0 (80)
III	1	Свыше 250 до 350	До 4,0 (40)
	2	До 250	Более 1,6 (16) до 4,0 (40)
IV	-	Свыше 115 до 250	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16)

6.5 Номенклатурные перечни применяемых материалов и изделий (классы, миникаталоги)

При проектировании технологических трубопроводов особое значение имеет рациональный выбор материалов и изделий. На этот выбор почти в равной мере влияют следующие факторы:

1) свойства транспортируемого по трубопроводу вещества (вредность, взрыво- и пожароопасность, коррозионная активность);

2) расчетные условия (температура, давление, характер изменения постоянных нагрузок и т.д.);

3) свойства материалов и изделий (прочность, коррозионная стойкость, свариваемость и т.п.);

4) сортаменты выпускаемых промышленностью материалов и изделий;

5) экономические показатели (расход материалов, стоимость монтажа, эксплуатации и т.п.);

6) знания и опыт проектной организации по профилю своей деятельности.

Для того чтобы обеспечить проектировщику рациональный выбор труб, трубопроводных деталей, арматуры и основных материалов для их изготовления, составляется номенклатурный перечень материалов и изделий, рекомендуемых к применению в конкретном проекте. В зарубежной практике такие перечни принято называть классами или миникаталогами.

Ведущие проектные организации обычно имеют свои номенклатурные перечни, которые, с одной стороны, отвечают требованиям действующих норм и стандартов, а с другой - специфике проектируемых технологических производств. Там где таких перечней формально нет, они на самом деле существуют в виде неписаных правил, применяемых в практике проектирования. Основными объектами таких номенклатурных перечней являются трубы, фасонные изделия, трубопроводные соединения и их детали, а также арматура.

Ниже будут рассмотрены основные принципы составления таких перечней, а именно - влияние отдельных факторов (из числа перечисленных выше) на выбор изделий, конструкций и материалов трубопроводов.

Вредность, взрыво- и пожароопасность транспортируемой среды. Налагает повышенные требования к прочности и качеству материалов, герметичности трубопроводных соединений и арматуры.

Например, кипящие углеродистые стали вследствие химической и структурной неоднородности, повышенной склонности к старению и чувствительностью к отрицатель-

ным температурам, не допускается применять в трубопроводах группы А, Б(а) и Б(б), а фасонные детали из этих сталей – в трубопроводах групп А и Б.

Для транспортировки горючих и сжиженных углеводородных газов, ЛВЖ и горючих жидкостей не применяются трубы из стекла и других хрупких материалов, а также из сгораемых и трудно сгораемых материалов (фторопласта, полиэтилена, винипласта и др.).

Из-за недостаточной прочности все пластмассовые трубы запрещается использовать в трубопроводах группы А(а). Согласно строительным нормам и правилам в помещениях и наружных установках категорий взрыво- и пожароопасности А и Б для транспортировки горючих, вредных и агрессивных сред можно использовать только металлические трубопроводы, в том числе защищенные изнутри покрытиями из неметаллических материалов.

В ряде номенклатурных перечней трубопроводов для вредных, взрыво- и пожароопасных веществ рекомендуется применять бесшовные трубы. Эту рекомендацию нельзя отнести к разряду научно обоснованных. Электросварные трубы по характеристикам прочности и надежности не уступают бесшовным трубам, но являются более экономичными по расходу металла особенно для диаметров свыше 400-т миллиметров. Сортамент на эти трубы дает возможность выбирать их с толщиной стенки значительно превышающей необходимую по расчету на прочность. Качество этих труб обеспечивается целым комплексом мероприятий: стопроцентным контролем сварных швов, контролем макро- и микроструктуры, испытаниями на загиб и т.д.

Согласно действующим нормативным документам (ПБ 03-585-03 [22], СА 03-005-07 [17]) электросварные трубы допускается применять для трубопроводов транспортирующих вещества, относящиеся к группе А(а) и сжиженные углеводородные газы (СУГ) группы Б(а) давлением не выше 2,5 *МПа*.

Основной тип соединений для трубопроводов групп А и Б - сварка встык. Это и понятно, поскольку любое разъемное соединение (фланцевое, штуцерное) является потенциальным местом разгерметизации трубопровода. В настоящее время промышленность выпускает все больше арматуры с присоединительными концами под приварку встык, что намного увеличивает надежность соединений. Тем не менее, разъемные соединения еще широко применяются в трубопроводах с вредными, взрыво- и пожароопасными средами в тех случаях, когда иные соединения не предусмотрены конструкцией аппарата, машины или арматуры.

Запорная арматура для трубопроводов должна соответствовать герметичности затвора

- класса А для трубопроводов группы А, Б(а) и Б(б);

- класса В для трубопроводов группы Б(в) и В на *PN* менее 4,0 *МПа* (40 *кгс/см*^{2});

- класса С для веществ группы В (негорючие и трудногорючие вещества).

Коррозионная активность среды. Коррозия разрушает металл, являясь причиной большинства аварий на трубопроводах. Существует три способа борьбы с коррозией: активный, пассивный и конструктивный.

Активный способ состоит во введении специальных добавок, снижающих коррозионную активность транспортируемой среды (так называемые ингибиторы коррозии). Пассивный способ состоит в использовании материалов химически стойких к коррозии (нержавеющие стали, титан, пластмассы, стекло, резина, эмали и т.д.). Конструктивный способ состоит в использовании металла с увеличенной толщиной стенки, которая со временем будет «съедена» коррозией. В номенклатурных перечнях обычно предусматриваются второй и третий способы.

Как уже было сказано, среда со скоростью коррозии до 0,1 *мм* в год считается слабоагрессивной, а от 0,1 до 0,5 *мм* - среднеагрессивной. Трубы из углеродистых сталей могут применяться для слабоагрессивных и среднеагрессивных сред, причем для слабоагрессивных сред защита от коррозии может вообще не предусматриваться.

Свойства материалов. Особое значение при проектировании трубопроводов имеют свойства металлов при высоких температурах. Повышение температуры металла снижает его прочностные характеристики. Предел прочности при растяжении углеродистой стали при температуре +500 *°С* составляет примерно 50% предела прочности при температуре +20°С. Предел текучести для стали 10 при +20°С равен 265 *МПа*, а при +500°С - лишь 65 *МПа*. Ударная вязкость стали при температуре ниже 0°*С* и в интервалах 400÷600°*С* резко снижается. Уменьшение вязкости стали и повышение ее хрупкости при температуре ниже 0°*С* называется хладноломкостью, в интервале 300-600 *°С* - синеломкостью, в интервале 900-1000*°С* - красноломкостью.

Для каждой марки стали существует свой диапазон рабочих (расчетных) температур, в которых она сохраняет в течение длительного времени свои механические свойства (табл. 6.9).

Продолжительная работа металла труб под давлением при высокой температуре вызывает остаточную деформацию удлинения металла, возрастающую с течением времени без увеличения нагрузки. Деформация металла во времени под действием постоянного по величине напряжения характеризует его ползучесть. Жаропрочными называют стали и сплавы, которые работают в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение длительного времени и обладают при этом достаточной прочностью и окалиностойкостью.

Таблица 6. 9

Допустимые диапазоны изменения температур для трубных сталей

Трубные стали	Диапазон температур, °С	
	от	до
Углеродистые	-40	+450
Низколегированные 10Г2 и 09Г2С	-70	+450
Высоколегированные 12Х18Н10Т	-253	+610

Расчетные параметры среды и характер действующих нагрузок. Основными факторами, влияющими на выбор труб, трубопроводных деталей и арматуры являются расчетные параметры среды - температура и давление. Поскольку трубопровод является теплонапряженной конструкцией, эти два параметра взаимно связаны. Температура изменяет характеристики прочности материала трубы и тем самым влияет на величину допускаемого для трубы давления. Допускаемое внутреннее давление в стальных трубах зависит, также от марки стали, толщины стенки трубы. Допустимые сочетания $P_{расч}$ и $T_{расч}$ определяются для каждого типа изделия, изготовленного из определенного материала. Когда давление отсутствует, уровень напряжений в трубопроводе значительно ниже, и его сопротивляемость разрушению повышается.

При низких температурах особое внимание обращается на хладостойкость материала, т.е. его способность противостоять хрупкому разрушению. Низкие температуры могут быть и при нормальной эксплуатации трубопровода (рабочая среда - хладон), либо при отключении трубопровода в зимнее время, когда этот трубопровод проложен на улице или в неотапливаемом помещении.

При выборе материала для трубопроводов, металл которых при расчетном давлении среды **не может** принимать температуру окружающего воздуха, за минимальную температуру берется средняя температура самой холодной пятидневки для данного географического района. Минимальную температуру независимо от толщины стенок и вида труб при условии отсутствия в трубопроводе внутреннего избыточного давления допускается принимать:

- минус 40°С для стали марок 20, Всг2сп, Всп3сп2-5;
- минус 60°С для стали марок 17ГС, 17Г1С, 17Г1С-У;
- минус 70°С для стали марок 10Г2, 09Г2С.

Хрупкие материалы нельзя применять в трубопроводах, работающих на растяжение (например, транспортирующих хладоны), а также подверженных вибрации или эксплуатируемых при резко переменном температурном режиме. Именно по этим причинам в ряде случаев запрещается использовать арматуру из серого и ковкого чугуна.

Конструктивные требования. Трубопроводы, не требующие периодической разборки для очистки и замены деталей, как правило, проектируются с неразъемными соединениями (сварные встык). Сварные соединения должны быть равнопрочны основному материалу. Трубопроводы для застывающих, агрессивных, полимеризующихся и загрязненных сред, требующие периодической разборки для чистки и замены отдельных участков, следует выполнять на фланцевых соединениях.

В зависимости от материала трубопровода, характера коррозии, толщины стенки и т.д., сварные соединения могут подвергаться термообработке. Качество сварных швов контролируется радиографической и ультразвуковой дефектоскопией. Проводятся анализы макро- и микроструктуры металла, испытания на загиб, раздачу или сплющивание. Чем выше категория трубопровода, тем больше объем испытаний, обеспечивающих контроль качества.

О применении бесшовных и электросварных говорилось выше.

Трубы и детали для технологических трубопроводов поставляются обязательно с нормированным показателем химического состава и физико-механических свойств (группа поставки - В). Фасонные детали следует применять штампованные, штампосварные, кованые, т.е. детали заводского изготовления, обеспечивающие более высокое качество монтажа, надежность и безопасность трубопровода. В случаях, когда промышленность не выпускает указанные детали требуемой характеристики, допускается применение гнутых и сварных элементов, изготовленных на площадке строительства по стандартам и специальным чертежам, выполненным в составе проекта.

Таблица 6. 10

Отказы на магистральных трубопроводах, в течение года

Причины отказов	%
Дефекты труб, соединительных деталей и арматуры	51,6
Брак строительно-монтажных работ, в том числе:	48,4
- брак сварки монтажных стыков	29,0
- механические повреждения труб при транспортировке и строительстве	16,1
- нарушение проекта	3,3
Всего	100

Все трубопроводы испытываются на прочность и герметичность гидравлическим или пневматическим способом. Испытания состоят в имитации эксплуатационных нагрузок и создании временных перегрузок с целью выявления скрытых дефектов. О важности проведения испытаний свидетельствуют данные, приведенные в табл. 6.10.

Трубопроводная арматура. Некоторые аспекты выбора типа и параметров арматуры мы уже рассматривали.

Арматура выбирается по каталогам заводов-изготовителей с учетом требований норм, правил техники безопасности, свойств и рабочих параметров среды. Максимально допустимое расчетное давление для каждого типа арматуры зависит от расчетной температуры. С повышением температуры допустимое давление падает в силу изменения прочностных свойств материала изделия. Иллюстрацией сказанному может служить таблица 6.5 настоящей главы.

Таблица 6.11

Трубы электросварные и детали трубопроводов

Стандарты или ТУ		Марка стали	*DN, мм*	Транспортируемая среда	Предельные параметры			
Трубы	Детали трубопроводов				*PN, МПа*	Толщина стенки, *мм*	Допустимая расчетная температура, ^0C	
							мин.	макс.
ГОСТ 10705-80 гр. В	ГОСТ 17380-2001	Сталь 20 ГОСТ 1050-88	10-500	Среды групп А(б), Б, кроме СУГ	≤2,5	≤12	-20	300
		Ст3сп5 ГОСТ 380-2005	10-500	Среды групп Б, В	≤1,6	≤6	-20	300
						>6	0	200
ГОСТ 10706-76 гр. В	ОСТ 36-26-77	Ст3сп5 ГОСТ 380-2005	450-1400	Среды группы В	≤2,5	≤12	-20	300
				Среды группы Б, кроме СУГ	≤1,6	≤12	-20	200
		Ст3пс4, Ст3сп4 ГОСТ 380-2005			≤1,6	6-9	-20	200
ГОСТ 20295-85	ГОСТ 17380-2001; ОСТ 36-26-77	Класс 52	150-800	Среды групп А(б), Б(а), Б(б), Б(в), кроме СУГ	≤4,0	≤12	-20	400
			500-800	Среды группы А(а), СУГ	≤2,5	≤12	-20	200

Стальную арматуру под приварку рекомендуется использовать на трубопроводах, к которым предъявляются повышенные требования в части герметичности и надежности. В технологических трубопроводах предпочтение отдается стальной и чугунной арматуре как менее дефицитной. Арматуру из цветных металлов и сплавов применяется ограниченно, когда по условиям физико-химических свойств транспортируемой среды или иным причинам не может быть применена стальная и чугунная арматура.

Таблица 6.12

Уплотнительные поверхности фланцевых соединений

Среда	Давление *PN, МПа (кгс/см²)*	Тип уплотнительной поверхности
Высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ)	Независимо	Шип-паз
Фреон, аммиак	Независимо	Выступ-впадина
Вещества группы А(а)	Независимо	Выступ-впадина
		Гладкая под спирально-навитую прокладку
Все вещества групп А, Б, кроме А(а) и ВОТ	≤2,5 (25)	Гладкая
Все вещества, кроме ВОТ	>2,5 (25) <6,3 (63)	Выступ-впадина
		Гладкая под спирально-навитую прокладку
Все группы веществ при вакууме	От 0,095 до 0,05 абс. (0,95 – 0,5)	Гладкая
	От 0,05 до 0,001 абс. (0,5 – 0,01)	Шип-паз
Все вещества группы В	≤2,5 (25)	Гладкая
Все группы веществ	≥6,3 (63)	Под линзовую прокладку или прокладку овального сечения

Примечание. Гладкую уплотнительную поверхность фланцевых соединений под спирально-навитую прокладку рекомендуется обрабатывать в виде концентрических или спиральных канавок.

Таблица 6. 13

Чугунная трубопроводная арматура

Материал	Группа трубопровода, среда	*PN, МПа*	Расчетная температура, *°C*	
			мин.	макс.
Ковкий чугун маркине ниже кч 30-6	А(б), Б(а) кроме сжиженных газов	≤ 1,6	-30	+150
	Б(б) кроме ЛВЖ с температурой кипения ниже +45°С; Б(в)	В пределах параметров, указанных в каталогах		
Серый чугун	А(б), Б кроме сжиженных газов	≤ 0,6	-100	+100
	В	В пределах параметров, указанных в каталогах		

Примечание. Арматура из ковкого чугуна применяется на *PN* = 1,6 *МПа* при расчетном давлении не более 1 *МПа* и на *PN*= 2,5 *МПа* при 1< $P_{расч}$ <1,6 *МПа*.

Повышенная хрупкость чугуна налагает определенные ограничения на применение арматуры из этого материала. Ее не допускается ставить на трубопроводах, подверженных

вибрации; работающих при резко переменном температурном режиме, низких температурах и т.д.

Основным типом запорной арматуры, рекомендуемым к применению в технологических трубопроводах с *DN* >50*мм*, является задвижка, имеющая минимальное гидравлическое сопротивление, надежное уплотнение затвора и наименьшую строительную длину. При установке арматуры на открытом воздухе учитываются дополнительные требования к температуре и влажности воздуха, поскольку от этого зависит ее надежная работа.

В таблицах 6.11, 6.12 и 6.13 приведены примеры составления номенклатурных перечней на трубы и фасонные детали, фланцы и арматуру.

7 ТРУБОПРОВОДНАЯ ОБВЯЗКА ОБОРУДОВАНИЯ

7.1 Предварительные замечания

Трубопроводную обвязку оборудования часто называют локальной трубопроводной обвязкой. Не существует единых правил трубопроводной обвязки оборудования, которые были бы применимы во всех случаях и для всех типов оборудования. Однако некоторые обобщения и основанные на них рекомендации вполне возможны.

При выполнении локальной обвязки нужно руководствоваться теми же принципами, что и при прокладке трубопроводов. Особое внимание следует уделять расположению штуцеров аппаратов, которое призвано обеспечивать наиболее удобную обвязку аппарата или машины. Расположение штуцеров по высоте аппарата связано с технологическим процессом и обычно задается инженером-технологом. Расположение штуцера на заданной отметке в плане определяет уже инженер-монтажник, исходя из условий компоновки. В стандартных аппаратах и машинах положение штуцеров фиксировано, поэтому здесь требуемое положение штуцера можно варьировать только размещением оборудования в плане.

Ниже приводятся рекомендации по обвязке оборудования, получившего наиболее широкое распространение при проектировании промышленных производств.

7.2 Емкостное оборудование

Емкостное оборудование можно разделить на три группы в зависимости от того, каким образом оно используется в технологическом процессе.

Первая группа - емкостное оборудование для сбора и хранения продуктов: сборники флегмы, конденсата, буферные емкости, емкости для сбора и хранения товарного продукта, сырья или других реагентов, газгольдеры. Емкости этой группы, как правило, заполнены продуктом на 80-90%. Обвязка емкостей этой группы трубопроводами может варьироваться в зависимости от технологической схемы процесса.

Вторая группа - сепараторы. Емкостные сепараторы предназначены для разделения газожидкостных потоков (сепараторы на станциях испарения, паросборники котельных станций и т.п.) или для улавливания капельного уноса (буферы и межступенчатые сепараторы компрессоров, сепараторы на линиях сброса от предохранительных клапанов и т.д.). Конструкция сепараторов определяется технологическими требованиями; нередко такие аппараты снабжаются специальными отбойными устройствами на выходе продукта.

При обвязке сепараторов трубопроводами, как правило, предусматривается поддержание постоянного уровня жидкости, который не должен превышать 50% объема аппарата. Штуцеры ввода и вывода продукта всегда располагаются выше уровня жидкости в аппарате. Сепараторы нередко снабжаются системами откачки жидкости посредством насосов или систем передавливания, которые включаются автоматически в зависимости от сигнализатора уровня жидкости в аппарате.

Третья группа - отстойники. Они служат для разделения продуктов разной плотности. В конструкции таких аппаратов предусматривается либо система перегородок, либо система штуцеров, расположенных на разных уровнях. Как правило, в этих аппаратах автоматически поддерживается постоянный уровень раздела фаз.

При обвязке емкостей первой группы нужно иметь в виду следующее. Ввод жидких продуктов производится обычно через верх с помощью заглубленного штуцера. Предохранительные устройства: клапаны, разрывные мембраны и т.п., - подключаются к паровому пространству аппарата.

Для всех емкостных аппаратов обязательно предусматривается система полного опорожнения (дренаж) от находящегося в аппарате продукта перед остановом для освидетельствования или ремонта. Емкостные аппараты должны иметь люк для осмотра и ремонта внутреннего пространства.

В тех случаях, когда в емкости находится замерзающий продукт, следует предусмотреть подогреватели. Наиболее часто применяют наружные подогреватели т.к. они исключают возможность попадания технологического продукта в теплоноситель.

Емкостные аппараты **всех** трех групп могут быть вертикальными и горизонтальными. Принципиальных различий в обвязке вертикальных и горизонтальных аппаратов нет.

7.3 Теплообменные аппараты

Классифицируются по характеру обменивающихся теплотой сред. Теплообмен может происходить между двумя жидкими средами, между паром (газом) и жидкостью,

между двумя газовыми средами. По принципу действия теплообменники подразделяются на аппараты непосредственного смешения и аппараты поверхностного типа.

Аппараты поверхностного типа подразделяются по конструкции теплообменной поверхности: пластинчатые, кожухотрубчатые, «труба в трубе», воздушного охлаждения.

Пластинчатый теплообменник – аппарат, в котором осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодной (нагреваемой) среде через стальные гофрированные пластины, установленные в раму (на прокладках или сварке) и стянутые в пакет. Такая конструкция обеспечивает эффективную компоновку теплообменной поверхности и, соответственно, малые габариты самого аппарата. Все пластины в пакете одинаковы, только развернуты одна относительно другой на определенный угол, поэтому при стягивании пакета пластин образуются каналы, по которым и протекают продукты, участвующие в теплообмене. Такая установка пластин обеспечивает чередование горячих и холодных каналов.

Пластинчатые теплообменники обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с другими типами теплообменников. Они занимают мало места (площадь при монтаже, обслуживании и ремонте меньше в 5 ÷ 20 раз), имеют высокий коэффициент теплопередачи, минимальные потери давления и температуры. К их достоинствам можно отнести низкие затраты при производстве монтажно-наладочных, изоляционных и ремонтных работ, а также возможность разборки теплообменника при очистке.

Помимо пластинчатых теплообменников применяются кожухотрубчатые теплообменники с неподвижными трубными решетками (тип Н), с температурным компенсатором на кожухе (тип К) и с плавающей головкой. Аппараты типа Н применяются, когда разность температур кожуха и труб не превышает 30÷40 ^{0}С, а аппараты типа К применяются, когда разность температурных удлинений кожуха и труб соответствует допустимому осевому ходу компенсатора.

В остальных случаях используются аппараты с плавающей головкой, которая служит как для компенсации температурных удлинений, так и для облегчения чистки и разборки теплообменников.

Трубы в кожухотрубчатых теплообменниках располагаются в решетке по вершинам квадратов или по вершинам треугольников. Теплообменные аппараты с расположением труб по вершинам треугольников при одном и том же диаметре кожуха имеют поверхность теплообмена на 10-15% выше. Однако чистка межтрубного пространства в этом случае затруднена и для теплообменников, работающих на загрязненных средах, предпочтительнее аппараты с расположением труб по вершинам квадратов.

В технологических процессах теплообменные аппараты выполняют различное назначение: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация. Основные варианты применения теплообменных аппаратов поверхностного типа приведены в таблице 7.1.

В нагревателях и холодильниках более загрязненные и склонные к полимеризации продукты направляют в трубное пространство, как более доступное для чистки. В трубное пространство вводят также агрессивные жидкости, поскольку при таком решении из коррозионно-стойких материалов нужно изготавливать не весь аппарат, а лишь трубчатый пучок и крышку камеры.

Таблица 7.1

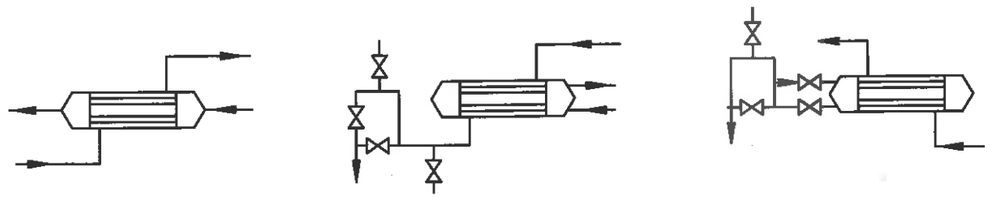
Варианты использования теплообменных аппаратов в технологических процессах

Назначение аппарата	Характеристика процесса теплообмена	Название аппарата	Агент	
			тип	вид
Нагревание продукта	Повышение температуры продукта путем подвода тепла	Нагреватель (подогреватель)	Греющий (теплоноситель)	Водяной пар, горячая вода, технологический продукт
Испарение продукта	Перевод в парообразное состояние жидкого продукта	Испаритель (кипятильник)		Водяной пар, горячая вода, конденсат
Конденсация продукта	Сжижение газообразного продукта путем отвода тепла	Конденсатор	Охлаждающий (хладон)	Вода, воздух, аммиак
Охлаждение продукта	Понижение температуры продукта путем отвода тепла	Холодильник		Вода, воздух, рассол, сжиженный газ или технологический продукт

В испарителях и конденсаторах вещество, меняющее агрегатное состояние, направляется в межтрубное пространство, а среда, которая агрегатного состояния не меняет, - в трубное. Такое распределение потоков учитывает, что коэффициент теплоотдачи от вещества, изменяющего агрегатное состояние, выше, чем от движущегося, но не меняющего своего состояния. Направляя неконденсирующиеся и неиспаряющиеся среды по трубам и увеличивая число ходов в трубном пространстве, повышают скорость движения продукта, а, следовательно, и коэффициент теплоотдачи.

Как правило, в теплообменниках нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств должен быть обеспечен противоток теплообменивающихся сред (рис. 7.1, *а*). В противном случае может иметь место значительное снижение эффективности теплообмена. Подвод жидких продуктов следует осуществлять через нижние штуце-

ры, а вывод - через верхние. Такое решение обеспечивает полное заполнение жидкостью трубного и межтрубного пространства. Если выполнить это требование невозможно, то на отводящих трубопроводах предусматривают гидравлические затворы в виде вертикальных петель, препятствующих опорожнению аппарата (рис. 7.1, *б, в*); в верхнюю часть петли врезается воздушник.



а *б* *в*

Рис. 7.1. Варианты обвязки теплообменников

В общем случае обвязка теплообменника определяется способом проведения процесса теплообмена, областью подачи и видом греющего (или охлаждающего) агента, принципом регулирования процесса. Регулируемыми параметрами в процессе теплообмена могут быть: температура, давление, расход.

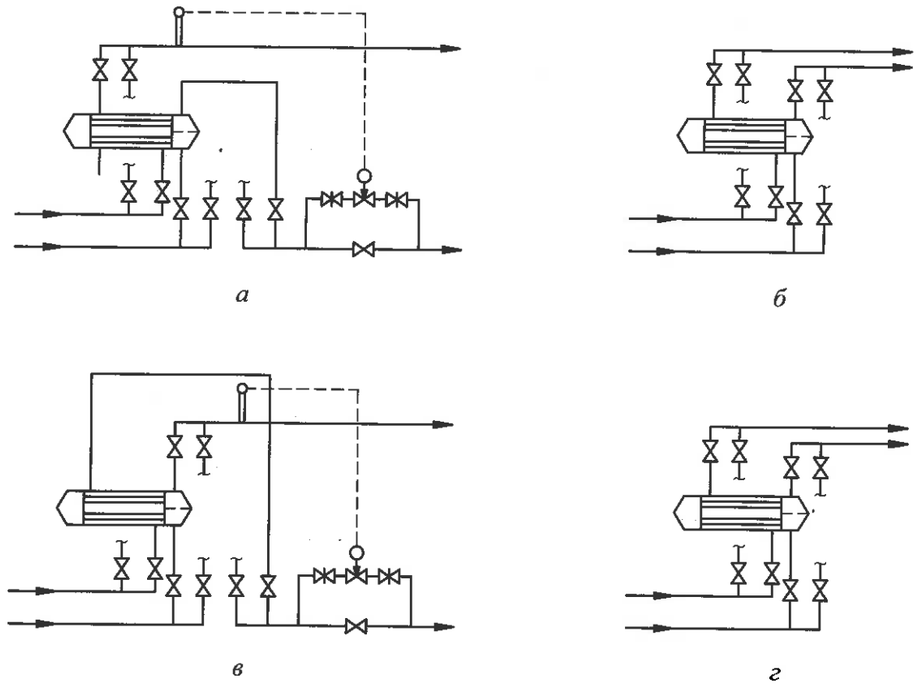
Таблица 7.2

Варианты исполнения узла охлаждения

Способ теплообмена	Область подачи хладоагента	Хладоагент	Принципы регулирования	Номер варианта
Хладоагент не меняет агрегатного состояния	В трубное пространство	Вода промышленная	Регулирование температуры продукта подачей хладоагента	1
			Максимальное охлаждение продукта без регулирования	2
	В межтрубное пространство	Вода очищенная или рассол	Регулирование температуры подачей хладоагента	3
			Максимальное охлаждение без регулирования	4
		Воздух	Регулирование температуры перебросом части продукта по шунту	5
Хладоагент меняет агрегатное состояние	В межтрубное пространство	Сжиженный газ	Регулирование температуры продукта давлением испарения хладоагента	6

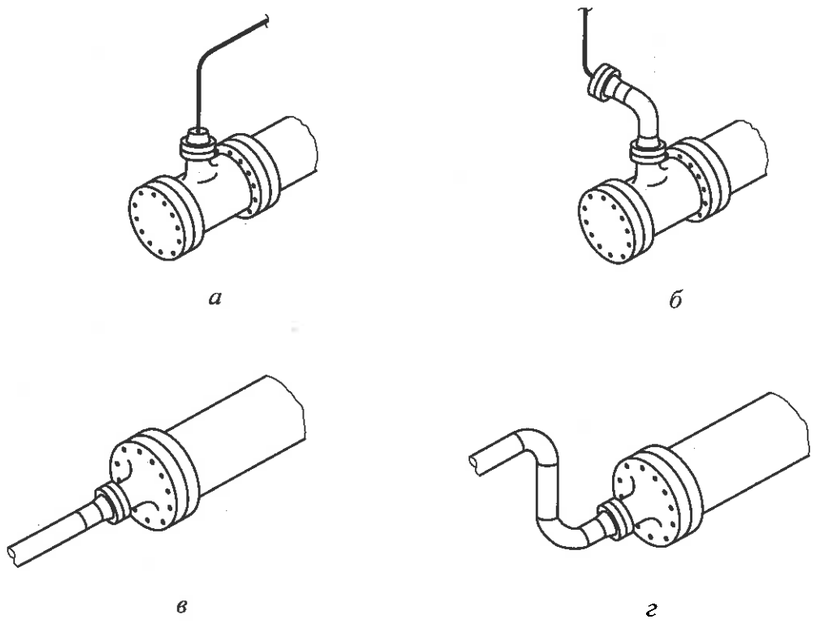
В качестве примера в таблице 7.2 приведены варианты исполнения узла охлаждения. Соответствующие схемы обвязки показаны на рисунках 7.2 .

При выполнении трубопроводной обвязки нужно соблюдать следующие основные правила.



а *б* *в* *г*

Рис. 7.2. Варианты обвязки узла охлаждения



а *б* *в* *г*

Рис. 7.3. Варианты присоединения трубопровода к аппарату
а, в – не правильно; *б, г* – правильно

1) Трубопроводы не должны мешать подъему аппарата при выполнении ремонтных работ (рис. 7.3, *а*). Это достигается при помощи вставной заготовки или отвода, как показано на рисунке 7.3, *б*. Благодаря этому не возникает трудностей в отсоединении трубопровода при удалении аппарата.

2) Если штуцер расположен на оси аппарата (рис. 7.3, *в*), подсоединяемый трубопровод следует поворачивать непосредственно у штуцера, т.е. осевая линия теплообменника и подсоединяемого трубопровода не должны служить продолжением друг друга (рис. 7.3, *г*). Это необходимо для компенсации температурных расширений.

3) Арматура и приборы контроля и автоматики должны располагаться так, чтобы их обслуживание было легко доступным и удобным.

4) При обвязке пластинчатых теплообменников нужно учитывать, что арматура и обвязочные трубопроводы сравнимы по массе с самим аппаратом. Поэтому следует обращать особое внимание на снятие весовых нагрузок со штуцеров таких аппаратов.

7.4 Дистилляционные колонны

Применяемые в процессах нефтепереработки, нефтехимии и химии дистилляционные колонны классифицируются: по технологическому назначению (стабилизационные, отпарные и т.п.), давлению (работающие под давлением, атмосферные, вакуумные), способу осуществления контакта между паром и жидкостью (тарельчатые, насадочные), числу продуктов, получаемых при разделении смесей (простые, если это число равно 2, и сложные, если оно больше 2). Для обеспечения эффективной дистилляции необходимо, чтобы с верха на нижележащие тарелки непрерывно стекала жидкость (флегма), а с низа колонны вверх поднимались пары. Поэтому нередко часть дистиллята после конденсации возвращается в колонну в виде орошения, а часть остатка подогревается в выносном подогревателе и возвращается в колонну в виде паровой или парожидкостной фазы.

Таблица 7.3

Варианты процесса дистилляции

Флегма	Дополнительная характеристика		Способ отбора кубовой части
Принудительная флегма того же состава, что и отбираемый с верха колонны продукт	-		Насосом
			Самотеком
Принудительная флегма, отличная по составу от отбираемого с верха колонны продукта	Орошение высококипящей частью отгона, отбирается легкокипящая часть		Насосом
			Самотеком
	Гетероазеотропная ректификация, дистиллят расслаивается	Орошение верхним слоем	Насосом
		Орошение нижним слоем	Насосом

Самотечная флегма	-	Насосом
		Самотеком
Флегма отсутствует	Имеется узел дефлегмации	Насосом
		Самотеком
	Узел дефлегмации отсутствует (разрезная колонна)	Насосом
		Самотеком

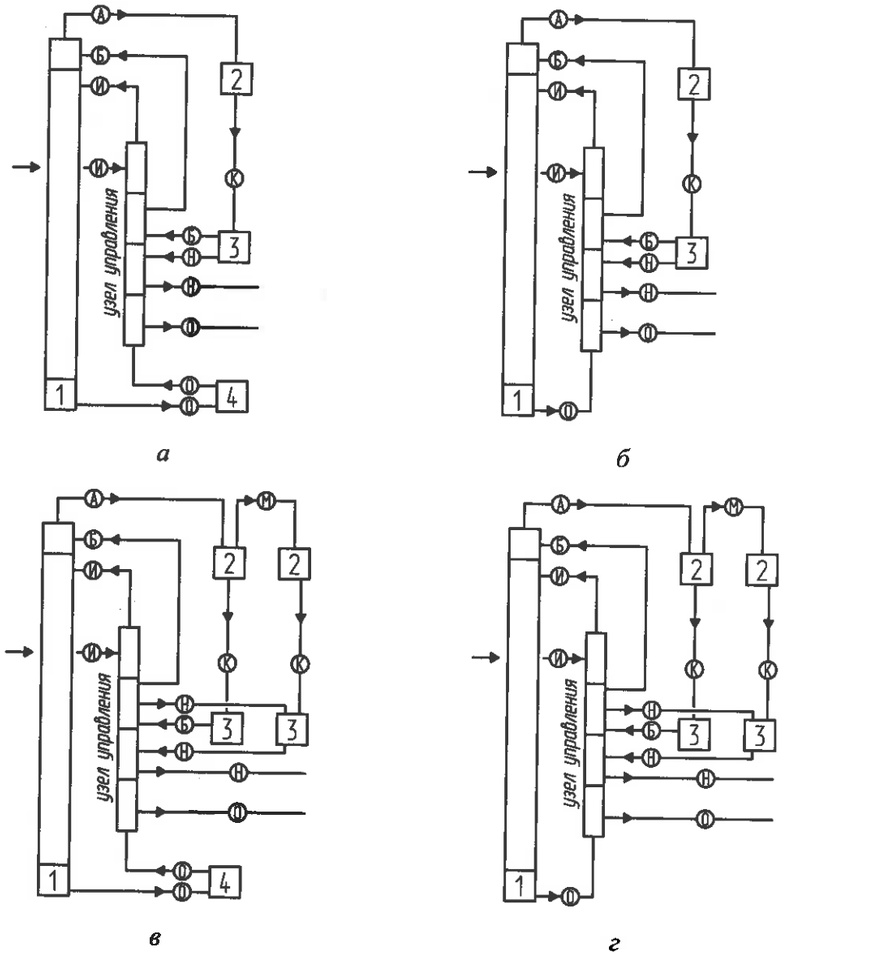


Рис. 7.4. Схемы процесса дистилляции с принудительной подачей флегмы
1 – узел колонна – кипятильник; 2 - узел дефлегмации; 3 – узел перекачки; 4 – узел нагнетания; А – продукт – паровая фаза; Б – флегма; И – ввод питания в колонну; К – продукт – жидкая фаза (дистиллят); М – продукт – паровая фаза (отдувка); Н – отгон (продукт); О - кубовые

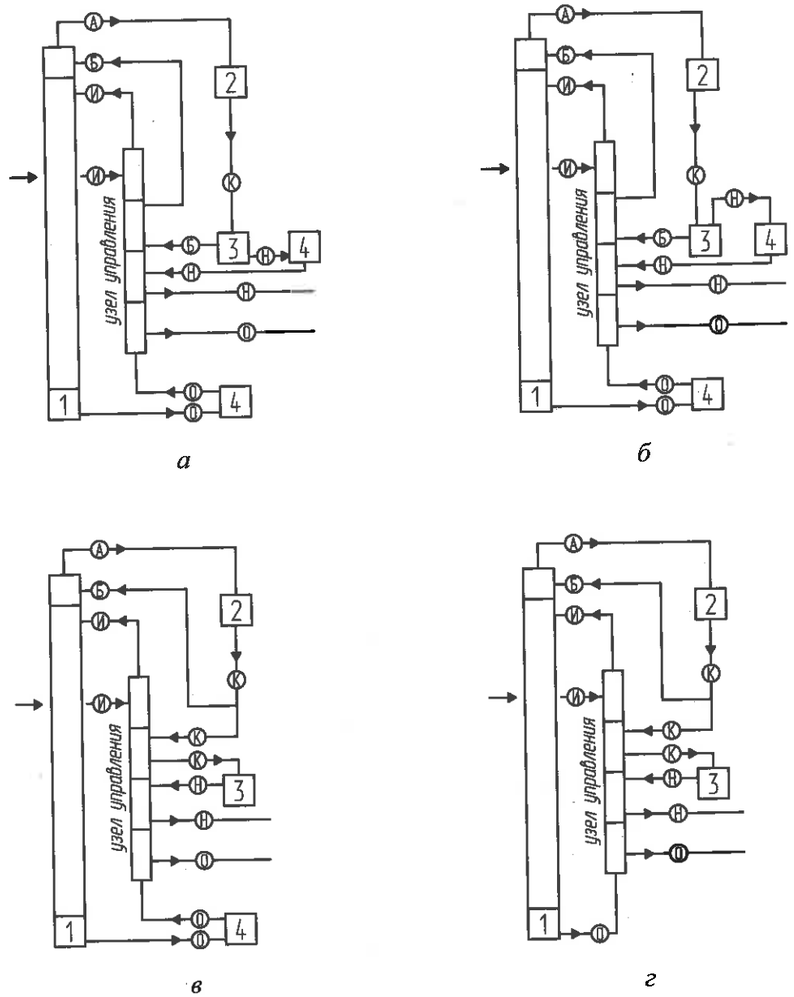
Технологическую схему процесса дистилляции можно условно представить как комбинацию отдельных узлов:

- узел колонна-подогреватель (кипятильник, испаритель);

- узел дефлегмации;

- узел перекачки;
- узел нагнетания;
- узел управления.

С помощью этого набора узлов и технологических связей между ними можно выделить 12 основных вариантов процесса дистилляции, наиболее часто применяемых на практике. Эти варианты приведены в таблице 7.3 и на рисунках 7.4, 7.5, 7.6 (на рисунках узлы схематично показаны в виде прямоугольников).



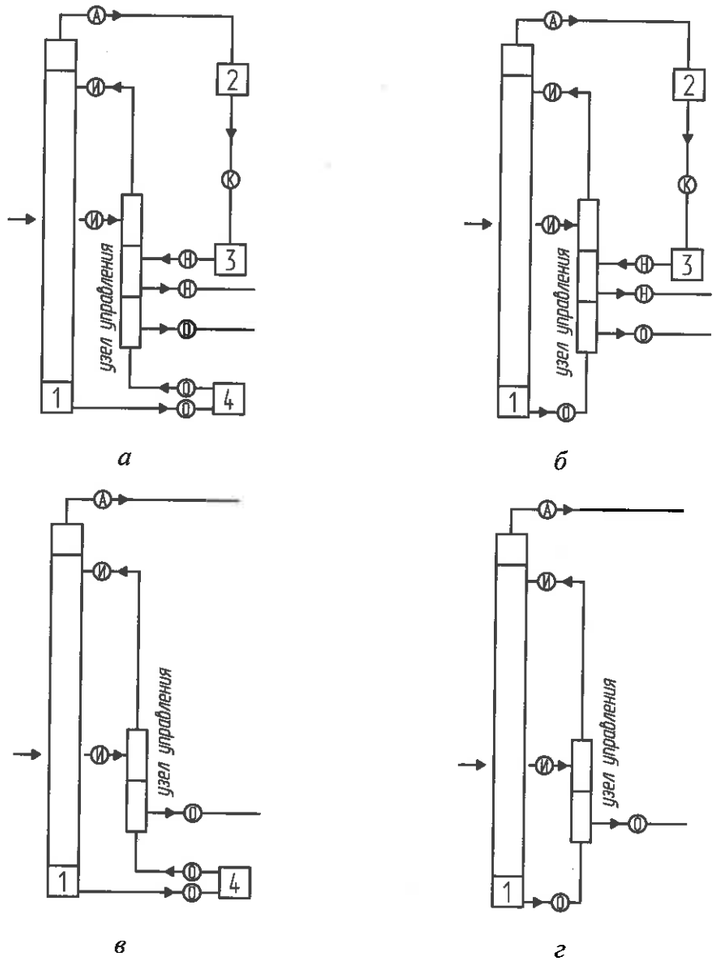
а *б* *в* *г*

Рис. 7.5. Схемы процесса дистилляции с принудительной и самотечной подачей флегмы
1 – узел колонна – кипятильник; 2 - узел дефлегмации; 3 – узел перекачки; 4 – узел нагнетания.
А – продукт – паровая фаза; Б – флегма; И – ввод питания в колонну; К – продукт – жидкая фаза (дистиллят); М – продукт – паровая фаза (отдувка); Н – отгон (продукт); О – кубовые.

Узел колонна-подогреватель служит для создания парового потока в нижней части колонны. В качестве подогревателя применяются кипятильники (испарители) с паровым

пространством или без парового пространства, вертикальные и горизонтальные термосифонные кипятильники, трубчатые печи. Преимущества кипятильников с паровым пространством состоят в следующем: они имеют высокий коэффициент испарения (до 0,8), могут применяться для обогрева загрязненных теплоносителей, имеющих высокое (более 1,6 *МПа*) давление, представляют собой дополнительную теоретическую тарелку колонны.

Недостаток этого вида аппаратов - высокая стоимость и громоздкость.



а *б* *в* *г*

Рис. 7.6. Схемы процесса дистилляции при отсутствии флегмы
1 – узел колонна – кипятильник; 2 - узел дефлегмации; 3 – узел перекачки; 4 – узел нагнетания.
А – продукт – паровая фаза; И – ввод питания в колонну; К – продукт – жидкая фаза (дистиллят); Н – отгон (продукт); О – кубовые.

Достоинствами термосифонных кипятильников являются их низкая стоимость и простота обвязки трубопроводами. Кипятильник обычно располагается так, чтобы его верхняя трубная решетка была на 300÷600 миллиметров выше уровня жидкости в колонне. Это, во-первых, создает оптимальные условия для естественной циркуляции испаряе-

мой жидкости и, во-вторых, дает возможность поддерживать постоянный уровень жидкости в колонне и в кипятильнике с помощью только одного регулятора уровня, устанавливаемого на кубе колонны. Недостатками термосифонных кипятильников являются невысокий коэффициент испарения (до 0,3) и повышенная чувствительность к загрязнениям. Горизонтальные аппараты дороже вертикальных, но могут применяться при использовании загрязненных теплоносителей, а также в тех случаях, когда необходимы большие поверхности теплообмена.

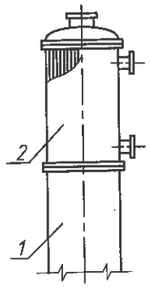


Рис. 7.7. Размещение дефлегматора непосредственно на колонне.
1 – дистилляционная колонна; 2 – парциальный дефлегматор.

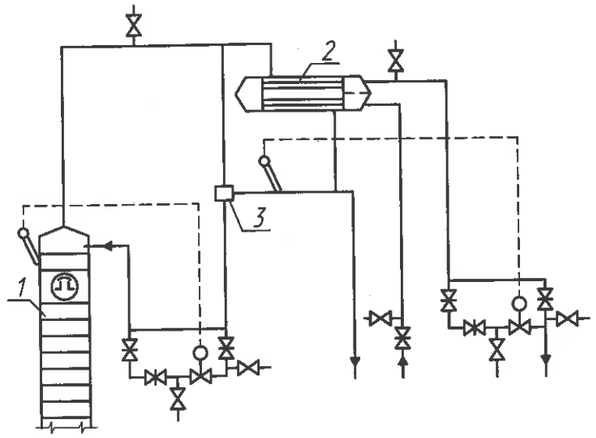
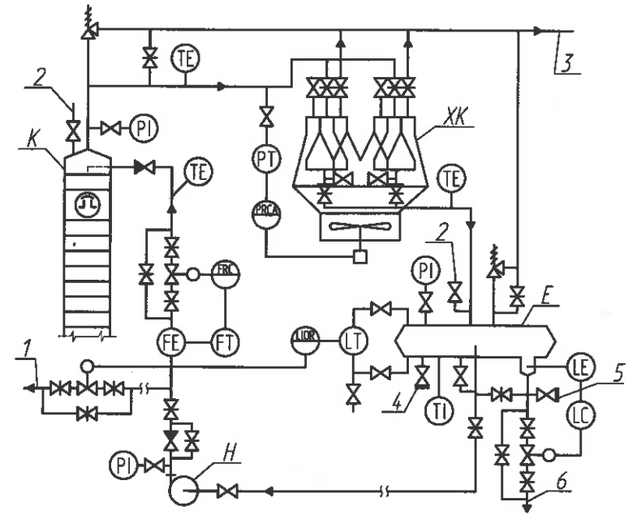
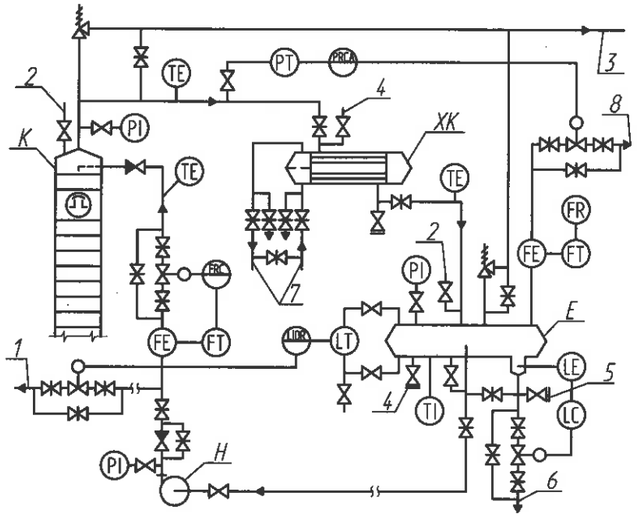


Рис. 7.8. Схема самотечной подачи орошения в колонну
с выносным дефлегматором.
1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – смотровой фонарь.

Узел дефлегмации предназначен для конденсации отбираемых с верха колонны паров. В качестве конденсаторов применяют аппараты воздушного охлаждения, кожухотрубчатые холодильники, парциальные дефлегматоры.



а



б

Рис. 7.9. Схемы обвязки верхней части дистилляционной колонны
а – с полной конденсацией паров в аппарате воздушного охлаждения; б – с неплной конденсацией паров в кожухотрубчатом конденсаторе – холодильнике.
К – колонна; ХК – конденсатор – холодильник; Т – испаритель – кипятильник;
Н – насос; Е – емкость.
1 – дистиллят в парк; 2 – воздушник; 3 – газ на факел; 4 – пар на пропарку; пар или очищенный газ на ремонтные цели; 5 - выход воды; 6 – выход воды; 7 – вход и выход воды; 8 – газ в топливную сеть на компримирование

При самотечной подаче орошения установка парциального дефлегматора непосредственно на колонну (рис. 7.7) позволяет наиболее просто решить трубопроводную обвязку и автоматическое регулирование узла. Однако эксплуатация такого аппарата (демонтаж, чистка трубного и межтрубного пространства) вызывает большие затруднения. Эти трудности можно преодолеть, поместив колонну внутрь строительной конструкции (например, этажерки). Но такое решение может быть приемлемым только для колонн небольшой высоты.

Если самотечная система орошения выполняется с применением выносного дефлегматора (рис. 7.8), последний должен быть установлен на 2,5÷3 метра выше места подачи флегмы в колонну. Эта линия должна иметь гидравлический затвор в виде петли, препятствующей проскоку паров из колонны в нижнюю часть дефлегматора.

Самой распространенной системой подачи флегмы является ее подача с помощью насосов, которые входят в состав узла перекачки. Применение насосов позволяет подавать орошение в колонны высотой более 45-ти метров. В этом случае дефлегматоры устанавливаются на высоте, которая обеспечивает необходимый подпор на всасывающей стороне насосов. Узел дефлегмации может состоять из одного или нескольких аппаратов, причем дефлегматоры могут быть разных типов.

Узел нагнетания отличается от узла перекачки отсутствием емкости для приема продукта, т.е. в состав узла входят только насосы. В процессе дистилляции узел нагнетания обеспечивает принудительный отбор кубовой жидкости из колонн и ее вывод из системы в качестве целевого, промежуточного или побочного продукта. При этом куб колонны служит своеобразной емкостью, запас жидкости, в которой должен компенсировать последствия колебаний рабочего режима колонны. Если объем куба не удовлетворяет этому условию, необходимо предусмотреть емкость для приема остатка.

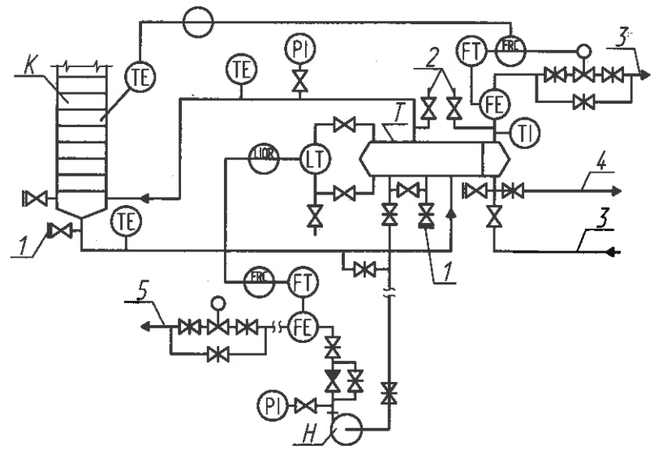
В состав узла управления входят регулирующая арматура и первичные приборы.

Для бесперебойной работы дистилляционной колонны нужно соблюдать следующие условия: питание колонны должно быть равномерным и постоянным по количеству и температуре; тепловой режим колонны также должен быть постоянным (температура верха и низа колонны, соответствие орошения выходам продуктов и их качеству); уровень в колонне и связанных с ней аппаратов должен быть стабилизирован; давление должно быть постоянным. Перечисленные условия предопределяют довольно сложный характер и большое разнообразие схем контроля и автоматизации процесса дистилляции.

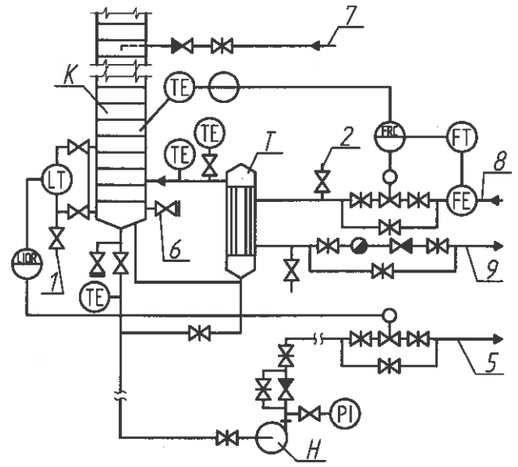
Примеры обвязки верхней и нижней частей дистилляционной колонны приведены на рисунках 7.9 и 7.10.

Основные требования при обвязке колонных аппаратов трубопроводами - удобство монтажа. Все остальное: требования технологического процесса, техники безопасности,

удобства обслуживания и ремонта и т.п., - должно по возможности ему не противоречить. Если «примирить» возникшие противоречия не удается, можно пойти на некоторые усложнения при выполнении монтажных работ, но такие случаи должны быть редкими и иметь достаточно веские обоснования.



а



б

Рис. 7.10. Схемы обвязки нижней части дистилляционной колонны
а – с испарителем с паровым пространством; *б* – с вертикальным термосифонным кипятильником. К – колонна; Т – испаритель, кипятильник; Н – насос.
1 – пар или инертный газ на ремонтные цели; 2 – воздушник; 3 – теплоноситель;
4 – откачка и дренаж; 5 – остаток в парк или на дальнейшую переработку; 6 – пар на пропарку; 7 – вход сырья; 8 – пар в кипятильник; 9 – конденсат

Специфика индустриальных методов монтажа колонных аппаратов состоит в том, что перед установкой на фундамент они выкладываются на земле в горизонтальном положении на временных опорах. В этом положении на корпусе аппарата монтируются обслуживающие площадки (по строительным чертежам), трубопроводы, изоляция и т.п. Естественно, что нижняя зона аппарата, обращенная к земле, неудобна для проведения таких работ и по возможности должна быть свободна как от обслуживающих площадок, так и от трубопроводов.

При подъеме колонны и установке в рабочее положение ее площадки и трубопроводы не должны «налезать» на рядом стоящие строительные конструкции (например, на наружную установку). Трубопроводы, идущие вдоль аппарата, обычно прокладываются пучком и крепятся к корпусу аппарата так, чтобы не пересекать обслуживающих площадок. Это существенно упрощает монтажные работы. Соответственно, зоны вдоль аппарата, в которых прокладываются трубопроводы и обслуживающие площадки, нужно располагать в разных секторах по окружности аппарата. Поэтому площадки, как правило, не делаются круговыми, а располагаются друг под другом в пределах выделенного сектора.

Помимо удобства монтажа трубопроводов, такое решение способствует экономии металла на возведение площадок, а также облегчает обслуживание краном-укосиной (наличие зоны, свободной от металлоконструкций по всей высоте аппарата).

Само собой разумеется, что такое решение требует определенного расположения люков и штуцеров на аппарате - они должны находиться с одной стороны аппарата в зоне доступности с обслуживающих площадок. При выдаче задания на конструирование аппарата это требование нужно иметь в виду.

Вертикальные участки трубопроводов прокладываются близко к аппарату, т.к. это упрощает конструкцию креплений и уменьшает парусность сооружения в целом при действии ветровой нагрузки. Температурные удлинения таких участков обычно отличаются от температурных удлинений аппарата, на что нужно обратить внимание при прокладке трубопроводов, особенно среднего и большего диаметров. Каждый вертикальный участок крепится к аппарату одной неподвижной опорой. Ее местоположение выбирается так, чтобы температурные расширения трубопровода по обе стороны от опоры компенсировались изгибом его горизонтальных плеч в верхней и нижней части колонны. Остальные опоры трубопровода на колонне делают подвижными, препятствующими боковым смещениям.

Трубопроводы желательно располагать на таком расстоянии от строительных конструкций наружной установки, чтобы их можно было обслуживать с ее перекрытий (при необходимости используя лестницы-стремянки).

Циркуляционные трубы, связывающие колонну и кипятильник, с целью уменьшения гидравлических потерь должны иметь минимальное число поворотов. Для работы с

арматурой, отключающей кипятильник от колонны, предусматриваются обслуживающие площадки. В крупногабаритных аппаратах кипятильник нередко «вешается» на колонну. Тем самым отпадает необходимость в возведении для него специальных строительных конструкций.

7.5 Насосы

В нефтепереработке, нефтехимии и химии применяются насосы различных типов: лопастные (центробежные и осевые), вихревые и объемные (плунжерные, поршневые, шестеренчатые, винтовые, пластинчатые, мембранные). В качестве привода обычно используется электродвигатель, иногда - паровая турбина.

Надежность работы подавляющего большинства насосов зависит от степени герметизации вала насоса в месте прохода его через корпус. Существует два основных типа уплотнения этого узла: мягкое (сальниковое) и механическое (торцевое). Торцевое уплотнение образуется парой трущихся дисков, один из которых неподвижно крепится к корпусу, а второй - к валу. За счет трения на поверхностях дисков создается динамическое сопротивление, препятствующее протеканию перекачиваемой жидкости. В отличие от мягкого, механическое уплотнение выдерживает большее давление. В центробежных насосах мягкие уплотнения применяются на давлениях до 0,3 *МПа*, а механические - 2,5 *МПа* и более. Пропуск жидкости через торцевое уплотнение до 30 *мл/час*, через сальниковое - значительно больше.

В производствах с взрыво- и пожароопасными продуктами требуется повышенная герметичность по отношению к окружающей среде. Это достигается применением насосов специальной конструкции: центробежных насосов с двойными торцевыми уплотнениями, центробежных герметичных насосов с экранированными электродвигателями, центробежных насосов с магнитными муфтами и объемных мембранных насосов.

В насосах с двойными торцевыми уплотнениями создается гидрозатвор: в полость между двумя уплотнениями нагнетается нейтральная жидкость с избыточным по отношению к перекачиваемому продукту давлением в 0,05 ÷ 0,15 *МПа*. Недостатком такой конструкции является возможность попадания нейтральной жидкости в перекачиваемый продукт, что не всегда допустимо. Объемные мембранные насосы имеют две мембраны, одна из которых является рабочим органом для перекачиваемой среды, а вторая приводится в движение плунжером. Между мембранами - замкнутый объем с промежуточной жидкостью, благодаря которой возвратно-поступательное движение от одной мембраны передается к другой.

Герметичный насос представляет собой соединение центробежного насоса в единый конструктивный блок с экранированным трехфазным индукционным электродвига-

телем. В зазор между ротором и статором двигателя вставлена тонкостенная гильза (экран) из немагнитной нержавеющей стали. Являясь изолирующим элементом, эта гильза разделяет двигатель на две полости, одна из которых (полость статора) изолируется от перекачиваемого продукта. Ротор приводится в движение от статора электромагнитным путем. На рисунке 7.11 показан одноступенчатый насос для сжиженного газа, в котором обеспечивается постоянная циркуляция части продукта с целью охлаждения подшипников. Описанный тип привода имеет низкий электрический КПД, т.к. число оборотов определяется возможностями только электродвигателя.

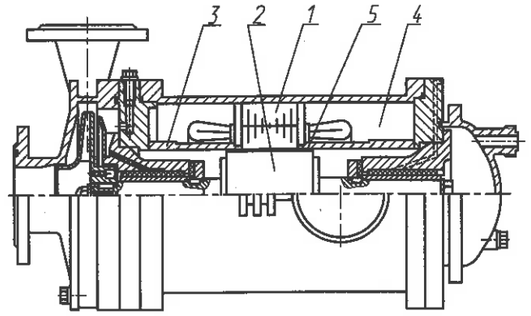
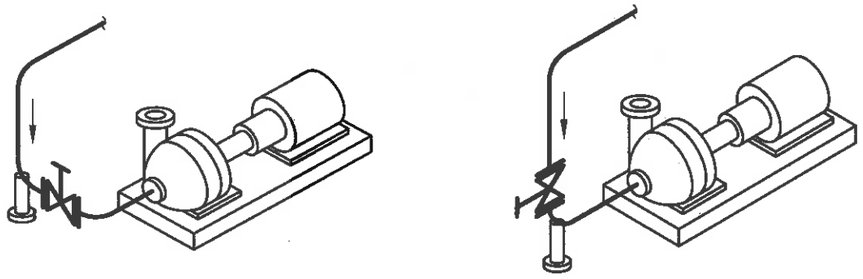


Рис.7.11. Центробежный герметичный насос.
1 – статор; 2 – ротор; 3 – изолирующая гильза; 4 – уплотнительные полости статора;
5 – зазор между статором и ротором.

В насосах с магнитной муфтой вращение от двигателя к валу насоса передается через коаксиальную вращающую муфту с постоянными магнитами (через изолирующую гильзу осуществляется передача вращающего магнитного потока). Герметичные насосы последних двух типов хорошо зарекомендовали себя на «чистых» продуктах, не имеющих взвесей и не склонных к кристаллизации.



а *б*

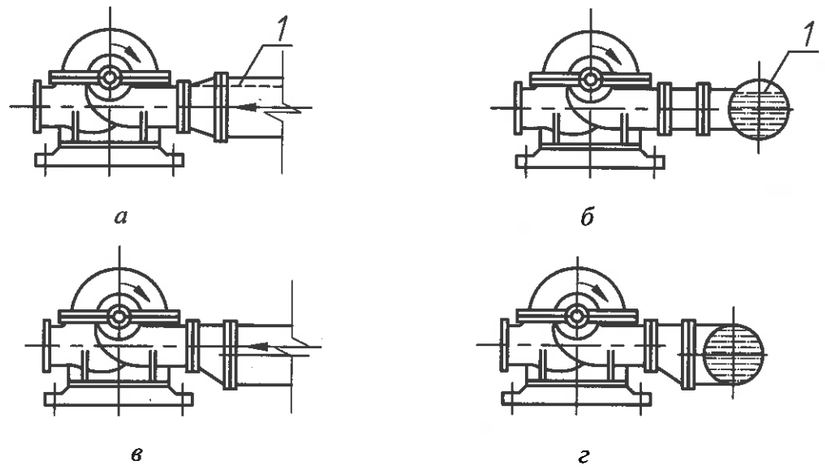
Рис. 7.12. Фрагмент обвязки насоса
а – правильно; *б* – неправильно

При проектировании обвязки насосов следует учитывать определенные требования.

1) Обвязка насоса должна обеспечивать удобство и безопасность обслуживания, возможность демонтажа и отключения насоса. Практически это означает, что обвязочные трубопроводы не должны проходить над насосом, а его фронтальная сторона по возможности должна быть свободна как от труб, так и от арматуры.

На рисунке 7.12 показано правильное и неправильное выполнение фрагмента обвязки. На рисунке 7.12, *а* трубопровод не проходит над насосом и не мешает его подъему или его ремонту; задвижка находится в положении, удобном для обслуживания и ремонта. На рисунке 7.12, *б* трубопровод проходит над насосом, и это осложняет его съем и ремонт на месте. Обвязка затрудняет доступ к насосу с фронтальной стороны. Штурвал задвижки, будучи обращенным в сторону насоса, мешает обслуживанию насоса, а в любом другом положении мешает проходу.

2) Для уменьшения гидравлических потерь во всасывающем трубопроводе на нем нельзя монтировать запорную арматуру с высоким гидравлическим сопротивлением (запорные клапаны); трубопровод должен быть как можно более коротким, без резких сужений, большого числа поворотов и т.д. Минимально допустимая высота столба жидкости на приеме насоса определяется расчетным путем. Для присоединения всасывающего трубопровода к патрубку насоса следует применять эксцентрические переходы, т.к. в концентрических переходах образуется воздушный или газовый мешок (рис. 7.13).



а *б*

в *г*

Рис. 7.13. Подсоединение всасывающего трубопровода к приемному патрубку насоса при помощи переходов
а, б – неправильно; *в, г,* - правильно; 1 – воздушный или газовый мешок

Во избежание поломок насоса в пусковой период в этом трубопроводе необходимо предусматривать временные фильтры.

3) В обвязку центробежных насосов нужно включать обратный клапан между нагнетательным патрубком и задвижкой. Клапан защищает рабочее колесо от гидравлического удара при остановке насоса. В обвязку обратного клапана включают байпасную линию, чтобы иметь возможность слить продукт, находящийся выше клапана, через дренажный штуцер в нижней части насоса, а также для остановки на ревизию и ремонт, для осуществления предпусковых сбросов и т.д.

4) В обвязке плунжерных и поршневых насосов предусматриваются предохранительные клапаны между нагнетательным патрубком и отключающей задвижкой; сброс от клапана направляется во всасывающую систему.

5) В обвязке вихревых насосов предусматривается байпасная линия с нагнетательного на всасывающий трубопровод, которая используется как в пусковой период, так и при нормальной эксплуатации.

6) Нагрузки, передаваемые на штуцера насосов от трубопроводов, следует ограничивать во избежание расцентровки валов насоса и электродвигателя. Допустимые нагрузки устанавливаются заводом-изготовителем. Для снижения нагрузок необходимо прежде всего предусматривать компенсацию температурных расширений трубопроводов, а также передачу веса трубопровода на строительные конструкции с помощью промежуточных опор. На рисунке 7.12 показана одна из таких опор в непосредственной близости от насоса.

7) К месту установки насосов подводятся трубопроводы пара, инертного газа, сжатого воздуха для прогрева и продувки насосов и трубопроводов; непосредственно к насосу эти агенты подводятся с помощью гибких шлангов или съемных участков, присоединяемых к специально предусмотренным штуцерам.

При остановке насоса для осмотра или ремонта его следует освободить от продукта. Сброс дренируемого продукта производится в специальную емкость (для легковоспламеняющихся, горючих и токсичных жидкостей) или в канализацию. Если насос перекачивают едкую жидкость, его после опорожнения промывают водой или нейтрализующим агентом.

Особое внимание нужно уделить предотвращению выхода насоса из строя из-за отсутствия жидкости во всасывающем трубопроводе. На емкостях и прочих аппаратах, из которых жидкость откачивается насосом, устанавливают регуляторы уровня и независимо от них - сигнализаторы минимального уровня. Если этого требует инструкция по эксплуатации насосов, то предусматривается автоматическая остановка насоса при достижении минимального уровня.

Наиболее часто в технологических производствах используются центробежные насосы с электродвигателями; типичные схемы их обвязки приведены на рисунке 7.14.

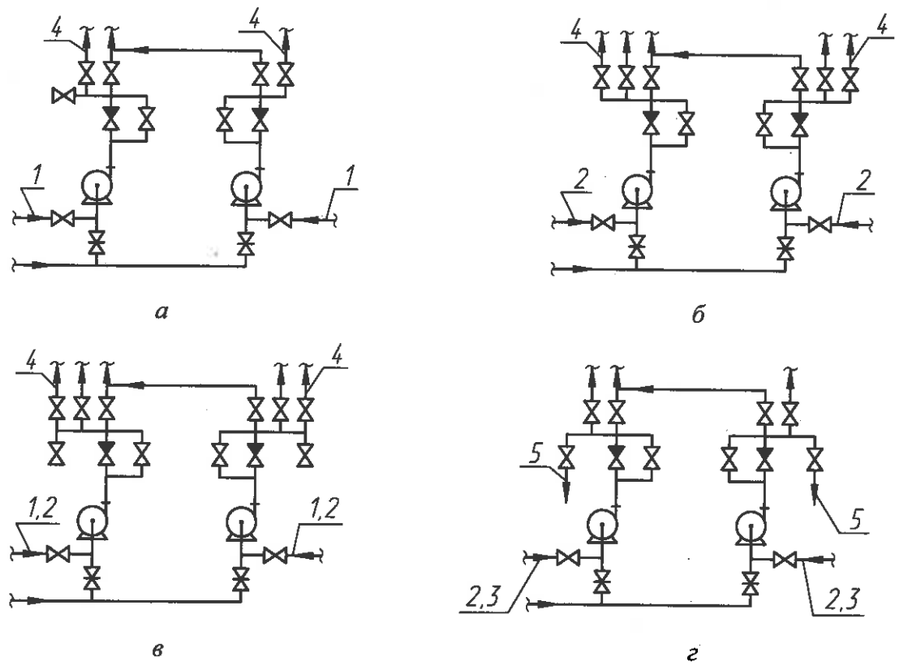


Рис. 7.14. Схемы обвязки насосов
а – пропариваемые; *б* – продуваемые инертным газом; *в* – продуваемые и пропариваемые; *г* – продуваемые и промываемые.
1 – пар; 2 – инертный газ; 3 – вода; 4 – сброс в дренажный коллектор; 5 – сброс в промышленную канализацию.

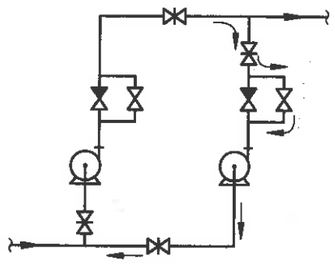


Рис. 7.15. Циркуляция продукта через резервный насос

Поскольку средний и капитальный ремонты насосов проводятся только в ремонтных цехах и мастерских, в открытых насосных предусматривается обязательное резервирование рабочих насосов. В резервных насосах необходимо поддерживать температуру, близкую к температуре перекачиваемого продукта. С этой целью организуется непрерывная циркуляция через резервный насос части продукта: если задвижки на всасывающей и нагнетательной линиях резервного насоса открыты частично, а запорный клапан на байпасе обратного клапана открыт полностью, то часть жидкости будет циркулировать как показано на рис. 7.15.

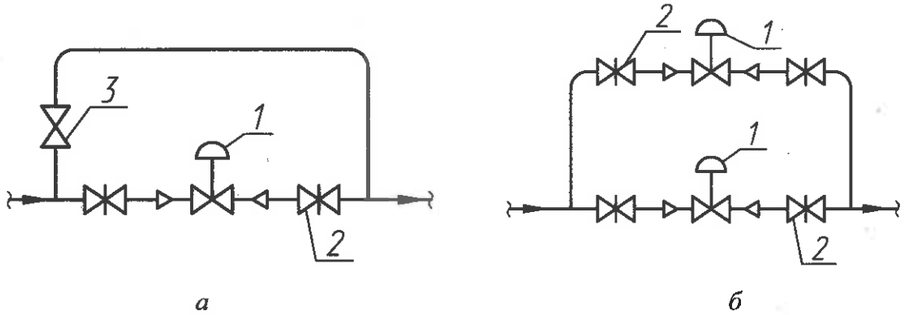
Если предусмотрена установка трех насосов, обозначенных одной позицией (два рабочих и один резервный), обвязка должна быть сделана так, чтобы любой из насосов мог быть и рабочим и резервным.

При обвязке герметичных насосов следует руководствоваться паспортной документацией выбранного насоса, т.к. номенклатура и схемы обвязки таких насосов постоянно совершенствуются.

7.6 Обвязка трубопроводной арматуры

Обвязка трубопроводной арматуры необходима для переключения с режима на режим при нормальном ведении технологического процесса или временного переключения на случай ревизии и ремонта. Узел переключения арматуры с соответствующей трубопроводной обвязкой принято называть гребенкой (гребенка регулирующего клапана, распределительная гребенка и т.п.). В данном разделе рассматриваются основные принципы обвязки регулирующих и предохранительных клапанов.

Обвязка регулирующего клапана предназначена для временного (в пределах 0,5-3 часов) регулирования потока вручную при остановке регулирующего клапана. В зависимости от конкретных условий она может выполняться по-разному, но принципиальная схема всегда одна и та же. В нее входят запорная арматура до и после клапана и обводная линия (байпас) с регулирующим вентилем (рис. 7.16, *а*).



а *б*

Рис. 7.16. Гребенка регулирующего клапана
а – с одним клапаном; *б* – с двумя клапанами;
1 – регулирующий клапан; 2 – запорная арматура; 3 – регулирующая арматура

Если выход из строя регулирующего клапана недопустим по технологическим причинам (например, он поддерживает температуру подаваемого сырья в печи пиролиза или любой режим, связанный с безопасностью процесса), то на байпасной линии ставится такой же дублирующий клапан (рис. 7.16, *б*).

Гребенка регулирующего клапана располагается в горизонтальной или вертикальной плоскости. Вертикальные гребенки более компактны, на их размещение требуется в 3-4 раза меньше производственной площади. Существуют и другие варианты обвязки регулирующих клапанов. Применение той или иной схемы размещения регулирующего клапана в каждом конкретном случае определяется проектировщиком. Ряд вариантов показан на рисунке 7.17.

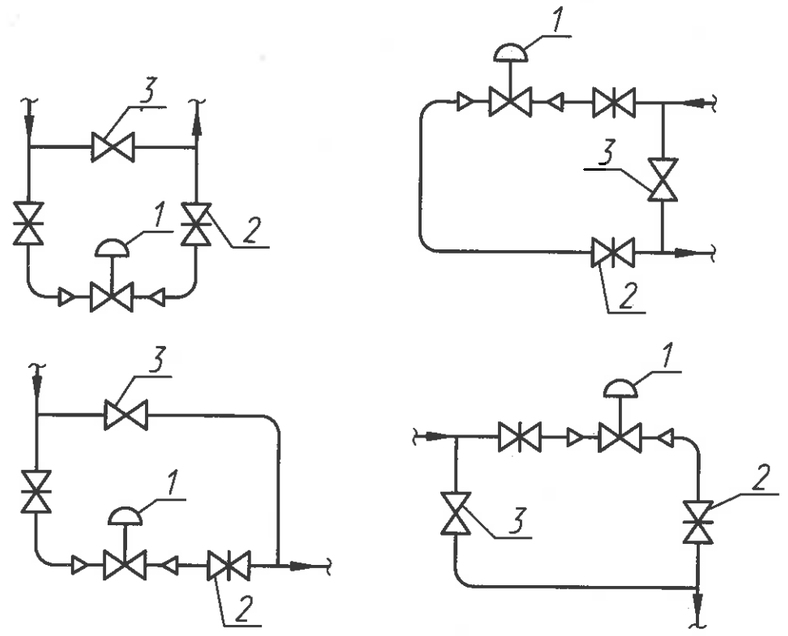


Рис. 7.17. Варианты обвязки регулирующего клапана
1 – регулирующий клапан; 2 – запорная арматура; 3 – регулирующая арматура

Обвязка предохранительного клапана. При монтаже предохранительного клапана должен быть обеспечен свободный доступ для его безопасного обслуживания, монтажа и ремонта. Если предохранительный клапан расположен на высоте более 1,8 метра, необходимо предусмотреть устройства для удобства его обслуживания.

Предохранительные клапаны устанавливаются в вертикальном положении в наиболее высокой части сосуда с таким расчетом, чтобы при открытии клапана из сосуда в первую очередь удалялись пары и газы. На горизонтальных цилиндрических аппаратах предохранительный клапан устанавливается по направлению верхней образующей, на вертикальных аппаратах - на верхних днищах или в местах наибольшего скопления газов.

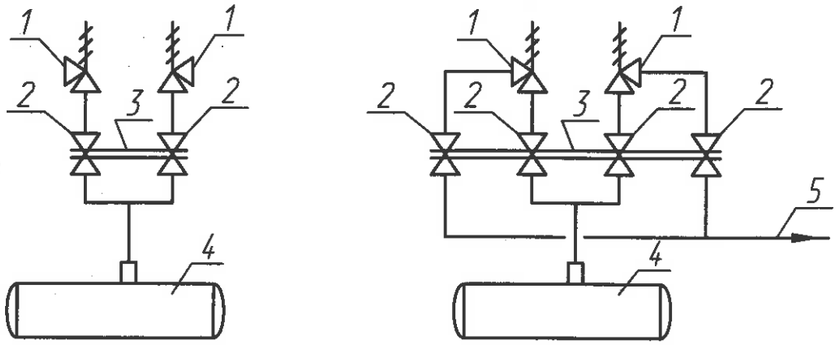
Клапаны следует устанавливать на патрубках или трубопроводах, непосредственно присоединенных к сосуду. При установке на одном патрубке (трубопроводе) нескольких клапанов площадь поперечного сечения патрубка (трубопровода) должна быть не менее 1,25 суммарной площади сечения клапанов, установленных на нем.

Как уже отмечалось, во время работы предохранительный клапан периодически открывают во избежание «прикипания» затвора к седлу. Но, кроме того, необходимо преду-

смотреть возможность снятия клапана для ревизии и ремонта. Для этой цели применяют несколько вариантов обвязки в зависимости от условий эксплуатации.

Как правило, установка запорной арматуры между сосудом и предохранительным клапаном, а также за предохранительным клапаном не допускается. Поэтому ремонт одиночного предохранительного клапана, установленного на нейтральном продукте, планируется в сроки, учитывающие межремонтный период работы установки.

Если межремонтный период клапана заведомо меньше межремонтного периода установки или цеха, или технология процесса не допускает незапланированной остановки аппарата, то ставится резервный клапан. В этом случае необходимо продумать схему перехода с работы одного клапана на другой так, чтобы хотя бы на мгновение не оказались отключенными от аппарата оба клапана. Обычно на линиях до ПК ставят запорные клапаны с блокировкой в открытом положении; применяются также трехходовые переключающие устройства (рис.4.15).



а *б*

Рис. 7.18. Схемы обвязки предохранительных клапанов
а – при сбросе в атмосферу; *б* – при сбросе в закрытую систему или на факел;
1 – предохранительный клапан; 2 – запорная арматура; 3 – блокировочное переключающее устройство; 4 – защищаемый аппарат; 5 – линия сброса в закрытую систему или на факел

Для системы клапанов, имеющих сброс в атмосферу (например, подача водяного пара на установку), запорная арматура с блокирующим устройством устанавливается только перед предохранительными клапанами (рис. 7.18, *а*). Для снятия рабочего клапана отключающая арматура рабочего клапана с помощью блокирующего устройства закрывается, а резервного – открывается.

Для пожаро- и взрывоопасных веществ и веществ 1-го и 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007, а также для сосудов, работающих при отрицательных температурах, система из рабочего и резервного клапанов применяется в обязательном порядке. В таких системах сброс продукта из предохранительных клапанов производится в закрытую систему или на факел. Отключающая арматура с блокирующим устройством монтируется до

и после каждого предохранительного клапана (рис. 7.18, *б*). Блокирующее устройство в этом случае объединяет управление всей отключающей арматурой до и после предохранительных клапанов в двух вариантах

1) вся отключающая арматура открыта;

2) отключающая арматура на входе и выходе из рабочего клапана открыта, а резервного - закрыта.

Рабочий и резервный предохранительный клапан должны иметь равную пропускную способность, а проходное сечение в узле переключения в любой ситуации должно быть не меньше проходного сечения предохранительного клапана. В переключающем устройстве при вращении маховика происходит перемещение запорного органа от одного седла к другому, тем самым с защищаемым объектом будут соединены или один предохранительный клапан, или оба. Ползун, установленный на шпинделе, указывает расположение запорного органа.

Для безопасного демонтажа предохранительного клапана особенно надежна схема защиты с применением двух переключающих устройств, одно из которых подключается к входу, а другое – к выходу предохранительных клапанов, обеспечивая полную изоляцию демонтируемого клапана. При этом маховики переключающих устройств соединяются цепной передачей. При вращении маховика одного устройства перемещаются оба затвора, перекрывающие трубопроводы, как на входе, так и на выходе одного из предохранительных клапанов.

8 КОМПОНОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

8.1 Генеральные планы производств

Генеральный план завода – это часть проекта, в который комплексно решаются вопросы планировки, размещения зданий и сооружений, транспортных коммуникаций и инженерных сетей на территории завода. Генеральный план обычно выполняется в масштабах 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000.

Решение генерального плана должно обеспечить осуществление технологического процесса при соблюдении необходимых санитарно-гигиенических условий труда, техники безопасности, рационального использования территории, ее озеленении и благоустройства.

Чтобы исключить пересечение людских и транспортных потоков, улучшить архитектурно-планировочные и композиционные качества застройки, а также обеспечить наи-

лучшие условия труда, территорию предприятия делят на зоны, в которых группируются производства: по сходному функциональному назначению, санитарной характеристике, транспортному обслуживанию. На современных заводах выделяют следующие зоны: предзаводскую, производственную, подсобную, складскую, сырьевых и товарных парков (табл. 8.1).

Таблица 8. 1

Примерный состав объектов в различных зонах

Наименование зоны	Примерный состав объектов, размещаемых в зоне
Предзаводская	Заводоуправление, здания здравоохранения общественного питания, культурно-бытового обслуживания, конструкторское бюро, пожарное депо, гаражи и т.п.
Производственная	Производственные здания и сооружения цехов, а также входящие в их состав подсобно-производственные и вспомогательные здания и сооружения, промежуточные склады
Подсобная	Здания и сооружения подсобно-производственного назначения: ремонтно-механические и тарные цехи, заводские лаборатории т.п.
Складская	Склады материалов, оборудования реагентов, готовой товарной продукции и т.п.
Сырьевых и товарных парков	Резервуарные парки горючих газов, ЛВЖ и ГЖ, а также входящие в их состав подсобно-производственные здания и сооружения, сливо-наливные эстакады.

Производственная зона играет существенную роль в формировании генерального плана предприятия. Площадь этой зоны колеблется от 30 до 70% территории предприятия. Производственная, подсобная и складская зоны делятся на кварталы, обычно имеющие прямоугольную форму. Размеры кварталов определяются в зависимости от рельефа участка, количества размещаемых зданий и сооружений, линий коммуникаций, транспорта, но ограничены сверху требованиями пожарной безопасности: площадь каждого квартала не должна превышать 16 *га* при длине одной из сторон квартала не более 300 метров.

Расстояние между границами застройки двух соседних кварталов определяется из условия размещения между ними автомобильных дорог, инженерных сетей, эстакад, зеленых насаждений, и должно быть не менее 40-ка метров. По периметру кварталы ограничены асфальтовыми дорогами, а внутри кварталов устраиваются проходы и проезды (рис. 8.1).

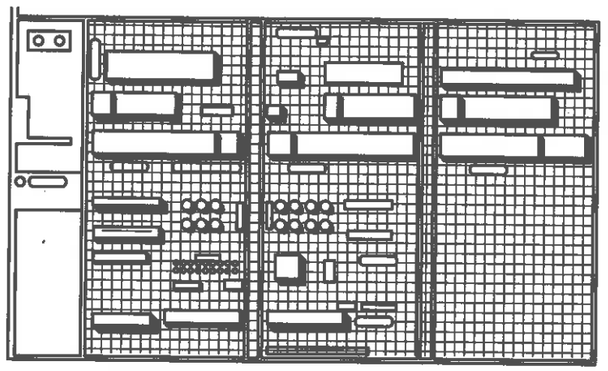


Рис. 8.1. Генеральный план завода

Размещение объектов на генеральном плане должно отвечать последовательности переработки сырья в технологическом процессе - от головного производства к объектам приготовления и отгрузки товарной продукции. Соблюдение этого принципа обеспечивает: минимальную протяженность дорогостоящих межцеховых коммуникаций, максимальную упорядоченность сетей дорог и инженерных коммуникаций, наиболее рациональное использование площади промплощадки. В связи с тем, что строительство заводов обычно ведется очередями и пусковыми комплексами, технологические потоки направляют параллельно один другому и перпендикулярно направлению развития завода, что позволяет автономно развивать строящиеся и эксплуатируемые комплексы. Расположение зданий и сооружений на генплане должно исключать распространение вредных выбросов, способствовать эффективному сквозному проветриванию промплощадки в целом и межцеховых пространств. Поэтому при разработке генплана учитывается преобладающее направление ветра («роза ветров»), не допускается проектирование зданий сложной формы внутри кварталов (П, Ш и Т -образной конфигурации).

Производственные здания и наружные установки с оборудованием, выделяющим производственные вредности, следует располагать к прочим объектам и административно-хозяйственной зоне с подветренной стороны с тем, чтобы вредные выделения туда не попадали.

Важным показателем решения генерального плана является плотность застройки, представляющая собой отношение площади застройки к площади предприятия в пределах ограды. Площадь застройки определяется как сумма площадей, занятых зданиями и сооружениями всех видов, включая открытые технологические, санитарно-технические и энергетические устройства, эстакады, площадки для погрузочно-разгрузочных устройств, подземные сооружения, склады. Для химических, нефтехимических и нефтеперерабаты-

вающих производств плотность застройки обычно составляет не менее 45%, что свидетельствует о достаточно эффективном использовании территории промплощадки.

В пределах кварталов обычно предусматривают коммуникационный коридор, в котором размещают технологические трубопроводы, сети теплоснабжения, оборотного водоснабжения, энергоснабжения и некоторые виды производственной канализации. Когда затруднительно обеспечить технологическую связь между производствами внутри кварталов, предусматривают дополнительные трассы, трубопроводов, перпендикулярные направлению коммуникационных коридоров (рис. 8.2).

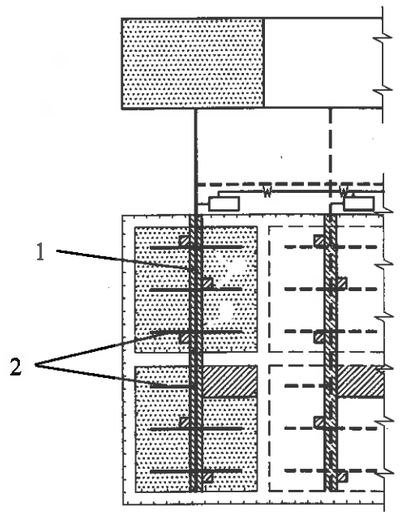


Рис. 8.2. Схемы прокладки коммуникаций
1 – основные трассы; 2 – дополнительные трассы

Повысотное расположение объектов на генеральном плане достигается вертикальной планировкой - приведением рельефа площадки к заданному профилю. Вертикальная планировка осуществляется путем срезки, выемки и подсыпки грунта во время земляных работ, и решает различные технологические и строительные задачи: обеспечение удобства технологических связей, предотвращение попадания продуктов при аварийном розливе с участков одних объектов на участки других, обеспечение отвода разлившихся продуктов и атмосферных осадков, улучшение условий строительства и заложения фундаментов и т.п. Например, в целях предотвращения опасных последствий аварийного розлива резервуарные парки и отдельно стоящие резервуары с легко воспламеняющимися и горючими жидкостями, сжиженными газами и ядовитыми веществами располагают на более низких отметках по отношению к зданиям (сооружениям). Их ограждают земляными валами или несгораемыми стенами; автодороги располагают выше отметки прилегающих территорий или по их обочинам делают кюветы, чтобы разлившиеся продукты не попадали на дорогу.

8.2 Объемно-планировочное решение цеха

Под объемно-планировочным решением цеха понимается компоновка цеха в плане и по высоте, включая основное оборудование и строительные конструкции.

Нефтеперерабатывающие, нефтехимические и химические производства обладают рядом специфических особенностей. К ним относятся наличие агрессивных сред, токсичных выделений локального и общего характера, высокая взрыво- и пожароопасность. Эти производства являются, как правило, динамичными: технология их меняется в течение коротких сроков, оборудование модернизируется и часто перемещается в пределах цеха. Все это предъявляет особые требования к объемно-планировочным решениям.

Рассмотрим три варианта объемно-планировочного решения цеха: открытый, закрытый и смешанный.

При открытом варианте цех представляет собой комплекс аппаратов с несущими и обслуживающими конструкциями, расположенными вне зданий (открытые площадки, навесы, постаменты, наружные установки и т.п.). При закрытом варианте цех представляет собой одно или несколько зданий, в которых размещается все оборудование. При смешанном варианте часть оборудования цеха располагается вне зданий, а часть в зданиях. Это наиболее распространенный вариант компоновки.

Какие же факторы влияют на выбор того или иного варианта?

Взрыво- и пожароопасные производства категорий А, Б следует по возможности делать открытыми. В закрытом объеме, каковым является здание, всегда существует реальная опасность скопления газов. Взрывы в закрытых помещениях влекут за собой тяжелые последствия: большие разрушения, гибель людей и т.д. При отсутствии ограждающих конструкций (кровли и стен) разрушающее действие взрыва значительно ниже. По сравнению с открытым вариантом закрытый имеет ряд дополнительных недостатков: более высокую стоимость строительных сооружений, более сложный монтаж и особенно демонтаж оборудования, громоздкие системы вентиляции и т.д. Технико-экономический анализ показателей ряда спроектированных и построенных цехов свидетельствует, что их стоимость в зависимости от выносимого на открытые площадки оборудования может быть снижена на 5-8%, а стоимость строительной части почти в 2 раза.

Однако есть случаи, когда размещать производство в открытом варианте нельзя и его приходится располагать в закрытом помещении:

- когда по условиям ведения технологического процесса требуется организация постоянных рабочих мест;

- когда предъявляются особые требования к чистоте и влажности окружающего воздуха (производство катализаторов);

- при несовместимости обращающихся веществ с влагой, содержащейся в воздухе (триизобутилалюминий, металлический натрий, калий, литий и другие пирофорные вещества);

- когда аппараты не имеют атмосфероустойчивого исполнения.

В технологическом процессе, как правило, задействованы различные типы аппаратов и машин. Но некоторые типы оборудования (компрессоры, центрифуги, мешалки, фильтр-прессы и т.д.) не имеют атмосфероустойчивого исполнения. Это обстоятельство обуславливает не закрытый, а смешанный вариант компоновки цеха, когда большая часть аппаратов и машин выносится за пределы зданий, а в зданиях остается только то, что нельзя вынести на улицу. Смешанные варианты объемно-планировочных решений характерны для производств нефтяного и органического синтеза, синтетических каучуков и т.п.

При закрытом варианте компоновки химические производства целесообразно объединять (блокировать) в крупные производственные корпуса, в состав которых входят основные производственные, вспомогательные, административно-бытовые и складские помещения. Это создает благоприятные условия для организации обслуживания, сокращения численности вспомогательного персонала, протяженности коммуникаций, улучшения общей планировочной структуры здания.

При размещении нескольких производств в одном корпусе следует группировать помещения по четко выраженным зонам - основное производство, вспомогательные производства, складские помещения и бытовой комплекс. При этом помещения категорий А, Б, В следует отделять одно от другого, а также от помещений категорий Г, Д и коридоров стенами или противопожарными перегородками и перекрытиями.

Объемно-планировочные решения помещений с производством категорий А, Б, а также помещения, где возможны выделения токсичных веществ, должны исключать возможность проникания в другие помещения газов, паров и пыли выше допустимых концентраций. Помещения, в которых размещены производства с вредными выделениями, агрессивными средами или производства с применением или получением сильнодействующих ядовитых веществ, нужно надежно изолировать от остальных помещений. Изолированно от производственных помещений необходимо размещать бытовые службы, лаборатории, управленческие помещения.

При объединении нескольких производств в одном корпусе важную роль для организации внутреннего пространства играет расстановка технологического оборудования, экономное использование рабочей площади, сокращение протяженности коммуникаций и переходов обслуживающего персонала, осуществление требований техники безопасности.

Закрытые варианты компоновки типичны для заводов искусственных волокон, резинотехнических изделий, производства шин, пластмасс.

Не рекомендуется размещать в одном корпусе производства, перерабатывающие горючие и легко воспламеняющиеся жидкости и газы.

Размещение цеха на генеральном плане должно исключать застойные зоны, обеспечивая условия для естественной продуваемости территории. Здания и сооружения размещаются параллельными рядами («строчечный» принцип), между которыми оставляют широкие (не менее 25÷40-ка метров) коридоры - внутриквартальные проезды. Форма зданий, этажерок и постаментов принимается, как правило, прямоугольной. Длина и ширина определяются главным образом технологическими особенностями процесса и габаритами размещаемого оборудования. Однако есть ограничения, обусловленные требованиями противопожарных норм (возможностью проезда пожарных машин, длиной пожарных рукавов и т.п.). Приведем примеры таких ограничений.

Площадь наружной установки с производствами категорий А, Б не должна превышать при высоте до 30 *м* - 5200 $м^2$, при высоте 30 *м* и более - 3000 $м^2$. При большей площади установка делится на секции, разрыв между которыми должен быть не менее 15-ти метров. Если высота наружной установки и оборудования не превышает 18 метров, ее ширина не должна быть более 42-х метров; в противном случае предельная ширина должна быть уменьшена до 36-ти метров.

Наименьшие расстояния между зданиями, наружными установками и сооружениями цеха регламентируются противопожарными нормами и называются противопожарными разрывами.

При компоновке цеха аппараты и внутрицеховые трубопроводы размещаются таким образом, чтобы обеспечить вход сырья и выход готовой продукции с одной стороны. Располагая цех на генеральном плане, стремятся к тому, чтобы вход сырья и выход продукции находился со стороны коммуникационного коридора.

При прокладке внутрицеховых эстакад в противопожарном разрыве между объектами цеха, эстакада может располагаться без разрыва к одному объекту, а величина противопожарного разрыва между эстакадой и другим объектом принимается от крайнего трубопровода эстакады.

Автомобильные дороги и проезды должны располагаться на расстоянии не менее 5-ти метров от зданий и сооружений цеха с производствами категорий А, Б, В.

Крупный производственный цех, как правило, состоит из отделений. В каждом отделении устанавливается оборудование, с помощью которого реализуется определенная стадия технологического процесса, или устанавливается однотипное оборудование для об-

служивания других отделений (компрессорные, насосные). Габариты отделений и определяют, в конечном счете, площади и объемы цеха.

Вопросы компоновки отделений рассмотрим на нескольких примерах.

Компрессорное отделение. Основное оборудование, размещаемое в нем, - компрессоры различных типов и межступенчатая аппаратура. Это, как правило, тяжелое оборудование с динамическими нагрузками, не имеющее атмосфероустойчивого исполнения. Поэтому располагается оно в одноэтажных зданиях, оборудованных мостовыми кранами. Размеры в плане определяются исходя из количества машин и аппаратуры, их габаритов, размера обслуживающих площадок для монтажа и демонтажа оборудования в процессе эксплуатации.

Высоту здания назначают исходя из максимальной высоты оборудования, размеров, необходимых для его сборки-разборки, принятой высоты подкранового пути, типа и размеров мостового крана, а также диаметров воздуховодов приточной и вытяжной вентиляции, которой оборудуется компрессорный зал.

На рисунках 8.3 и 8.4 приведены схемы определения высоты здания исходя из обычного и агрегатного методов ремонта оборудования. В первом случае размер для сборки-разборки определяется самой крупной деталью, а во втором - высотой всего агрегата. Полученная в итоге высота должна быть скорректирована с учетом координационных размеров строительных конструкций (§ 2.6).

Компрессоры располагаются вдоль зала в один или два ряда. Перед фронтом компрессоров оставляется проход, позволяющий с помощью мостового крана перемещать самую крупную деталь или целый агрегат от монтажной площадки до места установки. Монтажные площадки располагаются по длине зала через каждые 60÷100 метров. Площадь монтажной площадки определяется габаритами самой крупной детали компрессора или аппарата. Размеры обслуживающих площадок компрессора обычно указываются в установочных чертежах завода-изготовителя. Вокруг каждой машины должно быть оставлено место, необходимое для ее удобного обслуживания.

Насосное отделение. Делают закрытым (в зданиях) и полуоткрытым (под этажерками и навесами). Компоновка зависит от технологии производства, климатических и других условий.

В полуоткрытом варианте по периметру ставится боковое ограждение от атмосферных воздействий (ветер, снег). Огражденная площадь составляет не более 50% общей площади закрываемой стороны. По условиям вентиляции ограждение обычно не доходит до пола минимум на тридцать сантиметров.

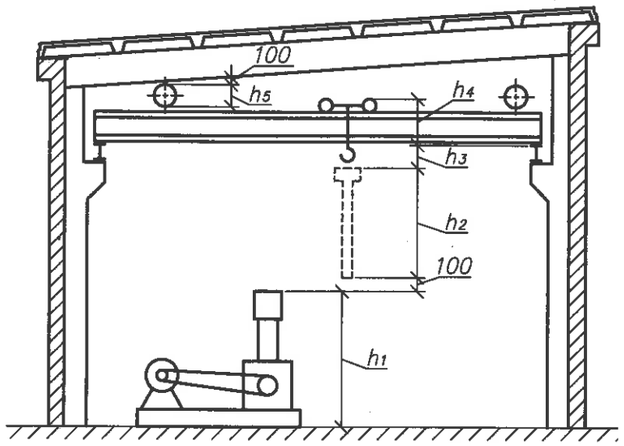


Рис. 8.3. Определение высоты компрессорной (закрытой насосной) по самой крупной детали.
h_1- высота компрессора (насоса); h_2 – высота самой крупной детали;
h_3 - высота от убранного до предела крюка до края подкранового пути;
h_4 – высота крана; h_5- диаметр воздуховода

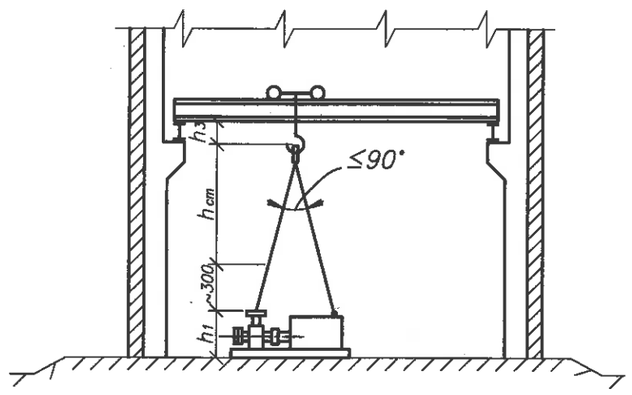


Рис. 8.4. Определение высоты компрессорной (закрытой насосной) при агрегатном методе ремонта
h_{cm} – высота строповки (минимальное расчетное значение 1400 *мм*);
h_1, h_3 – обозначения те же, что и на рисунке 8.3

Длина насосной для легко воспламеняющихся и горючих жидкостей ограничивается противопожарными требованиями (не более 90 метров). При большей длине через каждые 90 метров устраиваются разрывы или глухие несгораемые стены.

При определении размеров в плане нужно предусмотреть свободные площадки вокруг каждого насоса, обеспечивающие безопасность и удобство обслуживания и ремонта. По фронту машин предусматривается центральный проход шириной не менее 1,5 метра. От 15 до 20% площади насосной отводится для размещения контрольно-измерительных приборов и автоматики, распределительных продуктовых и водяных коллекторов.

Высота насосной определяется габаритами насосов, типом подъемно-транспортных механизмов и условиями для их обслуживания, а для закрытых насосных - еще и размерами вентиляционных систем, нормами освещенности и т.п.

Аппаратные отделения. Могут размещаться в закрытых зданиях, на открытых установках и в смешанном варианте. В аппаратных отделениях устанавливаются реакторы, теплообменники, емкости, промывные и дистилляционные колонны, фильтры, сепараторы, центрифуги и т.п. В зависимости от назначения аппаратов меняется и название: реакторное отделение (или реакторный блок), отделение ректификации и т.п. Габаритные размеры определяются по тем же правилам, что и для компрессорных и насосных.

Однако следует иметь в виду, что к ряду сравнительно небольших аппаратов часто присоединяется значительное количество трубопроводов с громоздкой запорной арматурой и приборами автоматики. Поэтому, прежде чем приступить к расчету размеров аппаратного отделения, нужно ориентировочно определить, сколько места потребуется для размещения технологического аппарата с трубопроводной обвязкой. Площадь, занимаемая обвязкой, может достигать 40-50% общей площади производственного помещения (особенно при большом числе регулирующих клапанов и запорной арматуры).

При расположении аппаратов колонного типа в ряд (обычно вдоль цеха) расстояние между ними определяется из условия необходимости размещения в нижней части колонн кипятильников или иной аппаратуры, закрепляемой как на самих колоннах, так и на постаментах в непосредственной близости от колонн. Чтобы разместить указанную аппаратуру, расстояния между осями колонн должно быть порядка 3÷4 диаметров. Минимальное расстояние в свету, необходимое для окраски и осмотра колонн, составляет 1,2÷1,5 метра, если только пространство между колоннами не загромождено трубопроводами.

В поперечном направлении расстояние от оси колонного аппарата до наружной оси цеха или установки обычно колеблется в пределах от 9-ти до 13-ти метров. Это обусловлено размерами фундаментов под колонные аппараты и несущие строительные конструкции зданий и наружных установок. Устройство общих фундаментов здесь нецелесообразно из-за большой разницы в осадках; для того, чтобы уменьшить влияние осадки соседних фундаментов, между краями их подошв должно быть расстояние порядка одного метра. Расстояния в 9÷13 метров обычно бывает достаточно и для удовлетворения требований техники безопасности (противопожарные разрывы).

На рисунке 8.5 показано объемно-планировочное решение цеха в смешанном варианте.

Производство состоит из двух основных частей. Оборудование первой части установлено в корпусе А и на расположенной рядом с ним наружной установке Б.

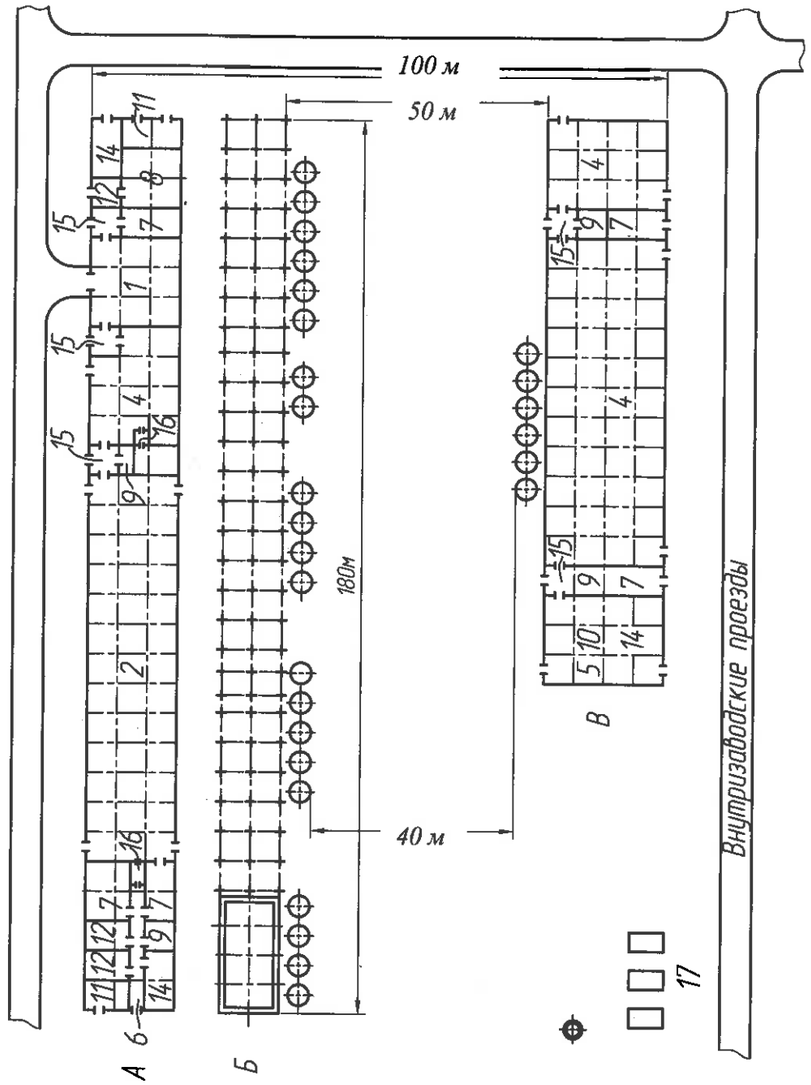


Рис. 8.5. Объемно планировочное решение цеха в смешанном варианте

В корпусе размещена компрессорная 2, а также аппаратное отделение с аппаратами, содержащими легко застывающие жидкости. Там же расположен прицеховой склад сырья с суточным запасом, доставляемым автотранспортом. Остальные исходные продукты поступают в цех по трубопроводам. В корпусе расположен ряд вспомогательных помещений: подстанция (служит для преобразования поступающей в цех электроэнергии и ее распределения по отдельным токоприемникам), электрощитовая (помещение, в которое выносится пусковая аппаратура низковольтного электрооборудования взрывоопасных произ-

водств), слесарная мастерская, венткамеры приточной, вытяжной и аварийной системы вентиляции.

Наружная установка тоже является аппаратным отделением. Оно состоит из трехэтажной железобетонной этажерки и открытой площадки, окруженной полуметровым обвалованием. На площадке установлены аппараты с кислотой.

Все дистилляционные колонны расположены рядом с этажеркой, а остальные аппараты, технологически связанные с колоннами, - на этажерке.

Под этажеркой на нулевой отметке располагается полуоткрытая насосная. В 50-ти метрах от наружной установки находится корпус с оборудованием 2-й части производства. Кроме основных производственных помещений, электрощитовой и вентиляционных камер здесь расположены бытовые помещения, а над ними - операторное помещение и цеховая лаборатория. В операторной размещаются щиты приборов контроля и автоматики, панели дистанционного управления технологическими процессами.

Лаборатория предназначена для анализа сырья, промежуточных и конечных продуктов производства. Сорокаметровый разрыв удовлетворяет санитарным и пожарным требованиям и одновременно используется для монтажа колонн у наружной установки Б и корпуса В. В нижнем левом углу расположены печи подогрева реакционного газа (поз. 17).

Какие данные требуются проектировщику для объемно-планировочного решения цеха?

1) Технологическая схема. Эта схема определяет типы и количество аппаратов, направление технологических потоков, возможную группировку оборудования и его распределение по отделениям в соответствии с основной технологической цепочкой.

2) Данные о характере и размерах оборудования, закладываемого в проект. Необходимы для определения габаритных размеров зданий и сооружений цеха, наиболее удобных мест для обслуживания машин и аппаратов, способов монтажа, типов строительных конструкций и нагрузок на них (статических и динамических).

Оборудование может быть стандартным, т.е. выпускаемым серийно (данные берутся из каталогов), и новым нестандартным (колонны, реакторы, сборники и т.п.). Для нового оборудования делается эскизная проработка, позволяющая ориентировочно определить его габаритные размеры, вес и т.д.

3) Географические данные: расчетная отрицательная температура, господствующее направление ветра и другие климатические условия. Данные необходимые для проектирования зданий и сооружений цеха, выбора оборудования и материалов, расположения зданий и сооружений в пределах квартала и решения других инженерных задач.

4) Категория производства по взрыво- и пожароопасности. Необходима при решении вопросов компоновки производственных помещений, размещения оборудования в плане и по высоте, как внутри здания, так и на наружных установках, назначения противопожарных разрывов, размещения коммуникаций, проходов и проездов, путей эвакуации, и т.д.

5) Санитарная группа производства. Используется для определения площадей и состава бытовых помещений, вентиляционных камер, шлюзов и т.д.

6) Особенности генерального плана. Влияют на состав помещений цеха. Мастерские, бытовые помещения, лаборатории, операторные, тепловые пункты, электроподстанции и т.п., можно располагать в отдельных зданиях, обслуживающих несколько цехов. Тогда из состава помещений цеха их можно исключить.

7) Способы монтажа и демонтажа технологического оборудования. Нередко имеют решающее значение при определении разрывов между корпусами, конструкции производственных зданий, размещении подъездных путей.

На основании перечисленных данных определяется состав помещений цеха, выбирается вариант компоновки, определяются размеры основных производственных помещений, делаются компоновочные чертежи с размещением оборудования (планы и разрезы).

Компоновочные чертежи цеха являются исходным материалом для архитектурной проработки зданий и сооружений проектируемого производства.

8.3 Компоновка технологического оборудования

При компоновке оборудования руководствуются следующими основными принципами:

1) расстановка аппаратов должна обеспечивать технологическую последовательность процесса и минимальную протяженность всех коммуникаций;

2) необходимо соблюдать требования надежности, безопасности, удобства обслуживания, ремонта и монтажа;

3) должны соблюдаться архитектурно-эстетические критерии (стройность, симметричность, максимальная упорядоченность расположения аппаратов и машин);

4) следует в максимальной мере использовать типовые сборные железобетонные конструкции, обеспечивающие индустриальные методы строительства;

5) в необходимых случаях нужно предусматривать защиту строительных конструкций от коррозии и вибрации и во всех случаях - стремиться к минимально возможным габаритам зданий и сооружений, размерам производственных площадей;

6) соблюдать требования действующих норм и правил.

Изложенные принципы оказываются зачастую противоречивыми.

Например, стремление к сокращению производственных площадей и строительных объемов зданий (сооружений) всегда противоречит требованию удобства обслуживания и проведения ремонтных работ. Поэтому компоновка оборудования является творческим и ответственным этапом проектирования, требующим учета и оптимизации различных факторов.

При компоновке оборудования широко используется принцип группировки. Аппараты группируются по функциональному назначению, по степени взрыво- и пожароопасности, по условиям удобства монтажа и обслуживания и т.д.

Во всех случаях, когда позволяют условия ведения технологического процесса и эксплуатационные характеристики оборудования, его следует выносить за пределы зданий. Как правило, открыто устанавливаются колонны, емкости, теплообменники и насосы, причем насосы должны быть защищены от воздействия осадков на хорошо вентилируемом пространстве.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на размещение и группировку оборудования в плане и по высоте.

На расположение оборудования влияют в основном требования надежного функционирования процесса, техники безопасности, удобства монтажа, обслуживания и ремонта, архитектурно-эстетические требования.

а) Надежное функционирование технологического процесса. Самым простым и естественным способом для достижения надежного функционирования технологического процесса является размещение аппаратов в одну линию по направлению технологического потока от первого аппарата к последнему. Если технологическая схема не имеет рециклов, то такой прием обеспечивает и минимальную протяженность основных трубопроводов. Тем не менее, такое решение, как правило, оказывается неэкономичным с точки зрения использования площади и строительного объема, организации обслуживания, ремонта и т.д.

б) Требования техники безопасности. Между отдельными аппаратами и группами аппаратов необходимо соблюдать разрывы, которые зависят от категорий взрыво- и пожароопасности производства и определяются действующими правилами техники безопасности и противопожарной техники.

Ответственность за правильное отнесение производства к той или иной категории согласно НБП 105-03 [18] несет инженер-технолог.

Поскольку отнесение к той или иной категории ведется по самому взрыво- и пожароопасному аппарату, в одном помещении (или зоне при наружной установке) не следует объединять оборудование различных категорий опасности. Несоблюдение этого принципа

может привести к тому, что например насос, перекачивающий воду, но установленный рядом с углеводородным насосом, придется выбрать во взрывобезопасном исполнении.

Для уменьшения тяжести последствий взрыва или пожара отдельные типы аппаратов разрешается ставить только на открытых площадках, т.е. за пределами габаритов зданий и сооружений. Например, емкости объемом свыше 25 $м^3$ со сжиженными газами, или свыше 50 $м^3$ с ЛВЖ нельзя располагать в пределах габаритов наружной установки (этажерки). Для таких емкостей при необходимости расположения их на определенной высоте нужно делать специальные постаменты рядом с наружной установкой.

Для того чтобы обеспечить выполнение требований по охране труда, рекомендуется также группировать аппараты по степени вредности выделений, о чем говорилось ранее. Группировка дает возможность локализовать источники токсичных выделений, что имеет особо важное значение при установке аппаратов в помещениях. Аппараты, выделяющие вредные пары, газы и пыль размещают в изолированных помещениях, кабинах с самостоятельным выходом наружу или выходом через тамбур-шлюзы, обеспеченные вентиляционным подпором.

Размещение технологического оборудования производств категорий А и Б над вспомогательными и бытовыми помещениями или под ними не допускается.

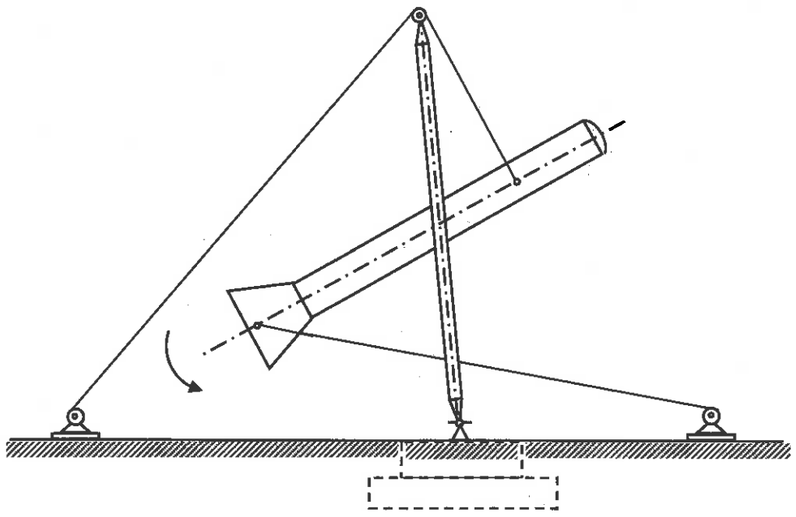


Рис. 8.6. Монтаж колонны с помощью мачт

в) Удобство монтажа. Требования удобства монтажа играют важную, а нередко и решающую роль при разработке плана размещения оборудования. Сводятся они к следующему.

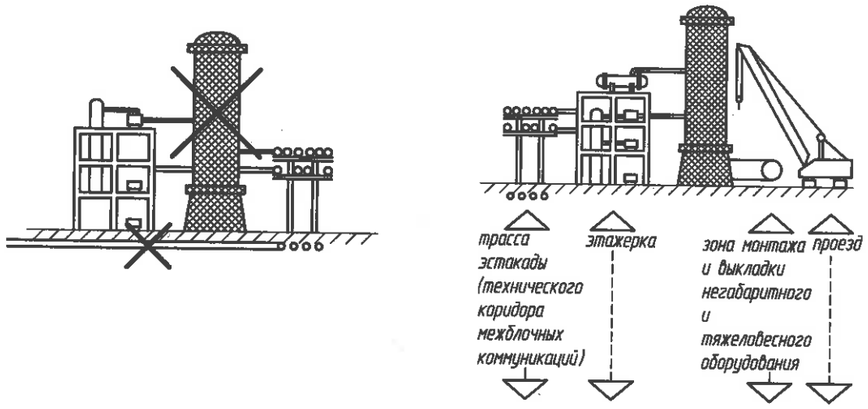
Должен быть обеспечен доступ самоходных (колесных или гусеничных) кранов, а также временных подъемно-транспортных средств и приспособлений к месту установки оборудования.

Особое внимание уделяется монтажу тяжелого и крупногабаритного оборудования. В настоящее время такое оборудование, ввиду затруднений с качественной сваркой секций на строительной площадке, полностью изготавливается на машиностроительных заводах и доставляется к месту монтажа специальным транспортом (водным путем, по железной дороге, автопоездами). Поэтому крупногабаритное и тяжеловесное оборудование следует выносить к границам установки с приближением к проездам и автодорогам.

Дистилляционные и другие колонны, пронизывающие несколько перекрытий в этажерках, следует размещать в крайних пролетах со стороны проездов и автодорог. Надо избегать размещения на тяжеловесном и крупногабаритном оборудовании приборов, оборудования и конструкций, не связанных с ним технологически, т.к. это резко усложняет условия доставки и монтажа. При размещении крупногабаритного оборудования, собираемого из отдельных частей, нужно учитывать возможности грузоподъемных машин и механизмов; между отдельными частями установок предусматриваются разрывы, подъезды и зоны раскладки оборудования.

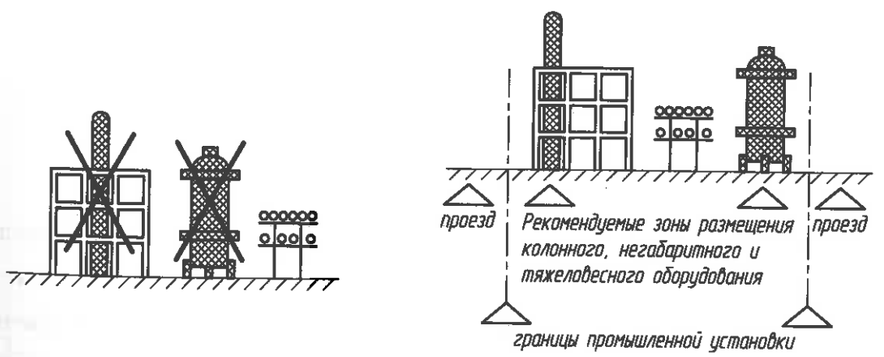
При компоновке наружных сооружений необходимо предусмотреть свободное пространство для размещения тяжелого и крупногабаритного оборудования в предмонтажном положении в непосредственной близости от места монтажа. Верхние обрезы фундаментов в зоне установки такого оборудования по возможности нужно делать вровень с землей (на отметке близкой к ± 0.0) Для прокладки коммуникаций всех видов отводить специальные технические коридоры. Кроме того, необходимо также учитывать габариты монтируемого оборудования при проектировании подъездных и внутриквартальных дорог и назначении трассы провоза. Примеры реализации описанных требований приведены на рисунках 8.7 и 8.8.

г) Защита строительных конструкций от коррозии. Агрессивное воздействие среды вызывает значительные разрушения строительных конструкций и деталей. Например, стоимость ремонта цехов по производству азотной кислоты достигает почти 100% их балансовой стоимости, стоимость ремонта цехов по производству серной кислоты - 96%. На ремонт цехов хлорного производства затрачивается около 100% стоимости их строительства. Эффективной мерой повышения долговечности строительных конструкций, подверженных действию агрессивных сред, является герметизация оборудования, коммуникаций и помещений. Если же обеспечение герметизации весьма сложно и дорого, целесообразно при проектировании использовать объемно-планировочные решения.



а *б*

Рис. 8.7. Компоновка крупногабаритного оборудования с учетом удобства монтажа; *а* – неправильно; *б* - правильно



а *б*

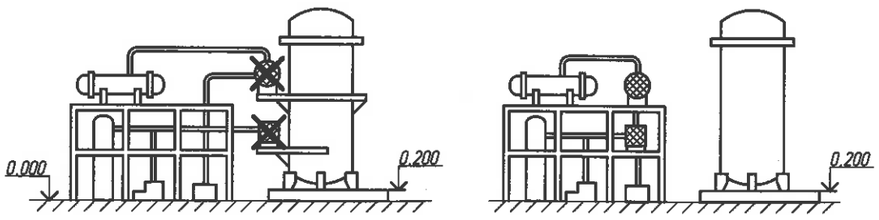
Рис. 8.8. Варианты компоновки оборудования с учетом удобства монтажа *а* – неправильно; *б* - правильно

Прежде всего, следует группировать оборудование с сильно агрессивными веществами (кислоты, щелочи) таким образом, чтобы резко уменьшить объемы строительных

конструкций, нуждающихся в защите от коррозии. Снизить степень агрессивности среды можно путем увеличения вентилируемого объема воздуха в помещениях, устройством местных отсосов агрессивных и ядовитых газов, а также выносом оборудования по возможности на открытые площадки. Эксплуатационная надежность покрытий и перекрытий может быть повышена за счет сокращения мест прокладки трубопроводов, т.е. объединения их в блоки коммуникаций.

Следует использовать меры, повышающие коррозионную стойкость материалов строительных конструкций: выбор состава бетона, увеличение его плотности, введение специальных добавок, увеличение толщины защитного слоя. Если строительные конструкции подвергаются действию агрессивных сред постоянно, применяют более эффективные защитные меры: покрытия из химических стойких материалов (винипласт, полиэтилен, резина, стекло, битумные мастики, эмали и т.п.), кислотостойкий кирпич, керамическая плитка и другие материалы неорганического происхождения.

д) Обслуживание и ремонт. Удобство обслуживания обеспечивается свободным доступом к оборудованию. К аппаратам и машинам со всех сторон должны быть обеспечены проходы шириной не менее 1 метра. При установке аппаратов и машин в один или несколько рядов основные проходы по фронту обслуживания должны составлять 1,5÷2 метра. Необходимо обеспечить свободный доступ к узлам управления аппаратами.



а *б*

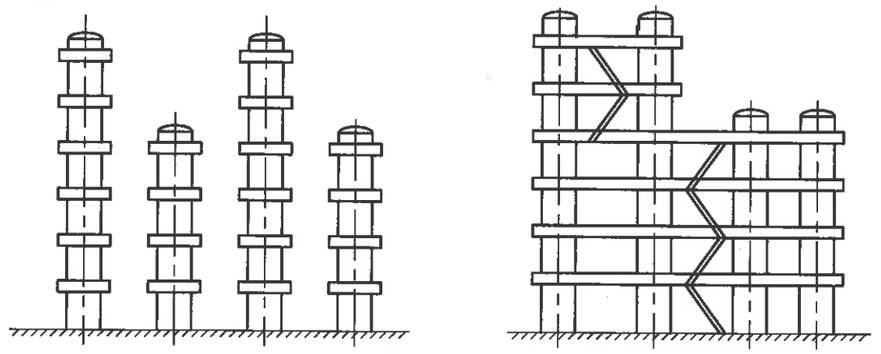
Рис. 8.9. Расстановка аппаратов по условиям удобства обслуживания
а - неправильно; *б* – правильно

Создание хороших условий для ремонта оборудования сводится к выбору в каждом конкретном случае наиболее подходящих типов подъемно-транспортного оборудования и организации удобных рабочих площадок. Резко улучшает условия обслуживания и ремонта устройство общих обслуживающих площадок, а также установка подъемно-транспортных механизмов, общих для целой группы аппаратов (мостовые краны, монорельсы).

Машины и аппараты, обслуживаемые подъемными кранами, следует помещать в зоне приближения крюка крана. В этой же зоне должны быть предусмотрены площадки

или проходы для установки транспортируемых деталей оборудования. У машин и аппаратов, в процессе эксплуатации которых необходимо периодическое извлечение отдельных деталей для ремонта и чистки, должны быть свободные пространства соответствующих габаритов со стороны извлечения этих деталей.

На рис. 8.9 и 8.10 показаны соответственно неправильная и правильная компоновка аппаратов с точки зрения устройства обслуживающих площадок.



а *б*

Рис. 8.10. Расстановка колонных аппаратов по условиям удобства обслуживания
а – неправильно; *б* - правильно

е) Архитектурно-эстетические требования. Критерием оценки расположения оборудования с этой точки зрения является стройность, симметрия и максимальная упорядоченность размещения аппаратов и машин. Они должны образовывать ряды с одними или несколькими свободными проходами.

Таблица 8. 2

Основные способы расстановки оборудования

Тип оборудования	Способ компоновки		
	Однорядный	Двухрядный	Многорядный
Машинное оборудование	■■■	■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■
Крупногабаритные аппараты	■■■	-	-
Мало- и среднегабаритные аппараты	■■■	■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■

Основные способы расстановки оборудования приведены в таблице 8.2. Под крупногабаритными аппаратами в таблице подразумеваются аппараты большого диаметра и большой длины, а также колонные аппараты большой высоты. Многорядное расположение машинного оборудования относится главным образом к насосам, устанавливаемым спаренными рядами по принципу «мотор к мотору».

Расположение оборудования по высоте диктуется главным образом требованиями технологического процесса: обеспечение самотека и предотвращение образования гидравлических мешков (на жидкостных трубопроводах и трубопроводах с легко конденсирующимися газами), создание минимально необходимого подпора на всасывающих патрубках насосов.

Тяжелое и крупногабаритное оборудование нужно располагать ближе к земле. В этом случае отпадает надобность в дорогостоящих постаментах и значительно облегчается монтаж, обслуживание и ремонт. Иногда с этой целью можно отказаться даже от самотека и заменить его принудительной системой подачи жидкости. Машинное оборудование, как правило, размещают на нулевой отметке, чтобы легче было избежать передачи от него вибраций на несущие строительные конструкции.

Для того чтобы сделать установку более компактной, некоторые виды оборудования располагают на обслуживающих площадках высоких аппаратов (например, система колонна-кипятильник).

Проходы к оборудованию, требующему постоянного обслуживания, должны быть такими, чтобы человек мог проходить во весь рост. Машинное оборудование нужно располагать по отношению к полу так, чтобы для его обслуживания не приходилось нагибаться или подпрыгивать. Эти требования особенно важны для машин, требующих регулярного обслуживания: замены прокладок, фильтрующих элементов и т.п.

Для емкостей и теплообменников расстояние от пола до днища или нижней образующей должно быть в пределах 0,8 ÷ 1,5 метра, чтобы под аппаратом можно было разместить трубопроводную обвязку.

Запорную арматуру, регулируемую вручную, нужно располагать на такой высоте, чтобы оператору было легче с ней работать.

Чтобы лучше представить процесс вертикальной компоновки оборудования рассмотрим конкретные примеры.

Пример 1. Определить отметку низа колонны $h_н$ при заданном расположении штуцеров 1 и 2 (см. рис. 8.11). Сопротивление трубопроводов не учитывать.

Отметка низа колонны определяется величиной необходимого подпора на насос и высотой термосифонного кипятильника h_2 (насос частично откачивает кубовый продукт). По технологии задано: высота кипятильника h_2=4 *м*, необходимый подпор на насос 4÷7 *м*.

Высота подпора на насос складывается из высоты столба жидкости в колонне h_1 и трубопроводе h_3. В связи с тем, что уровень жидкости в колонне, как правило, заранее неизвестен, полагают в запас, что подпор на насос отсчитывается от низа колонны. Отсюда получаем: $h_3 > h_2$ и отметка низа колонны $h_н > 7$ *м*.

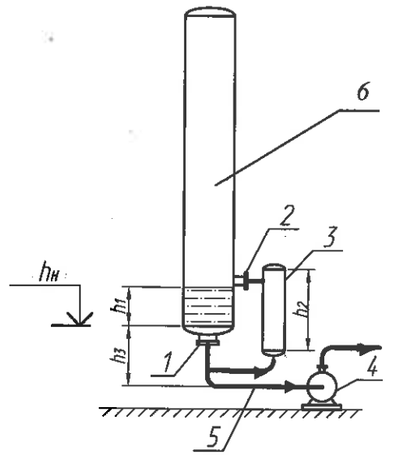


Рис.8.11. Определение отметки низа колонны

1, 2 – штуцера колонны; 3 – кипятильник; 4 – насос,
5 – частичная откачка кубового продукта, 6 - колонна

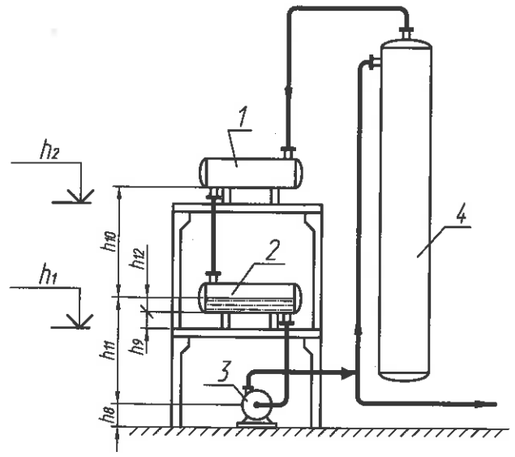


Рис. 8.12. Определение отметок перекрытий наружной установки
1 – теплообменник; 2 – рефлюксная емкость; 3 – насос; 4 - колонна

Пример 2. Определить отметку первого и второго яруса этажерки для схемы, показаний на рисунке 8.12. По технологии процесса задано h_{10} =3,8 *м*, h_{11} =8,7*м* и h_{12}=1,2 *м*.

В рефлюксной емкости жидкость находится под давлением упругости собственных паров, т.е. в точке кипения. Поэтому во избежание вскипания жидкости в насосе или во

всасывающем трубопроводе и недопустимости образования паровых пробок, создается необходимый подпор на приеме насоса равный h_{11}.

Кроме того, запас жидкости в этой емкости h_{12} определяется из расчета создания 5÷10 минутного запаса в случае отключения колонны. Жидкий продукт из конденсатора дистилляционных паров должен стекать в рефлюксную емкость самотеком. Размер h_{12} назначается из условия преодоления гидравлического сопротивления трубопровода, включая местные сопротивления, создаваемые арматурой. Размеры h_{10}, h_{11}, и h_{12} задаются технологами процесса.

$$h_1 = h_8 + h_{11} - h_{12}.$$

Для определения отметки перекрытия первого яруса достаточно знать h_8 - расстояние от нулевой отметки до оси всасывающего патрубка насоса. Пусть h_8 =0,5 *м*. Тогда, исходя из строительных норм, получаем h_1 = 7,2 *м*, а расстояние от нижней образующей аппарата до отметки перекрытия h_9 = 0,8 *м*. Высота второго яруса должна быть не менее

$$h_{10} + h_{12} + h_9 = 5{,}8\ м.$$

Стандартная высота 6,0 *м*.

Таким образом, искомая отметка перекрытия второго яруса 6,0 + 7,2 = 13,2 *м*.

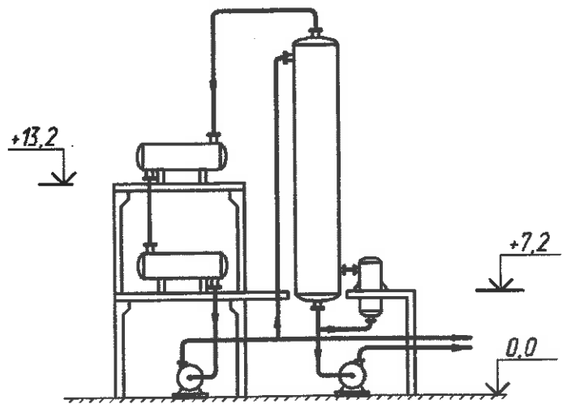


Рис. 8.13. Вертикальная компоновка при совмещении
обслуживающей площадки низа колонны с первым ярусом наружной установки

Пример 3. Пусть колонна в примерах 1 и 2 одна и та же, а рефлюксная емкость, конденсатор, термосифонный кипятильник и оба насоса (т.е. вспомогательное оборудование к этой колонне) те же, что в предыдущих примерах. Отметку низа колонны нужно снабдить площадкой для обслуживания приборов контроля и автоматики, а также периодического осмотра сварного шва приварки обечайки к днищу колонны. Для удобства обслуживания эту площадку целесообразно совместить с отметкой первого яруса этажерки. Соответствующая вертикальная компоновка представлена на рисунке 8.13.

Поставленную задачу можно усложнить. Пусть для экономии насосного оборудования на два работающих насоса требуется иметь один резервный, т.е. все три насоса должны быть одинаковыми. Это может привести к необходимости решения вертикальной компоновки с новыми условиями определения отметки низа колонны и рефлюксной емкости.

8.4 Особенности компоновки при узловом и комплектно - блочном методах монтажа

При наличии готовых строительных конструкций возведение цеха сводится к монтажу технологического оборудования (машин и аппаратов), трубопроводов, энергетического оборудования, контрольно-измерительных приборов и автоматики и т.п.

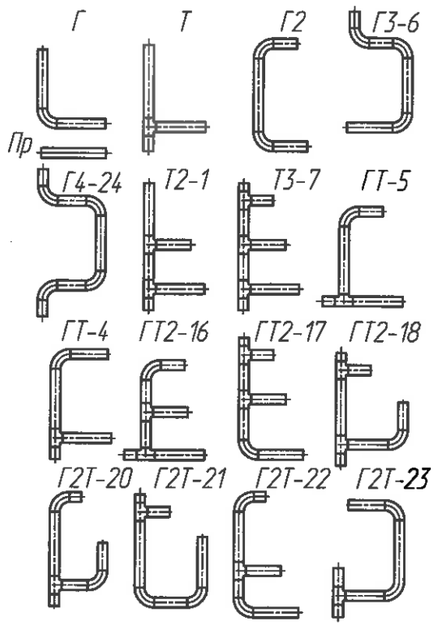


Рис.8.14. Укрупненные сборочные единицы (трубные заготовки)

Монтаж технологических трубопроводов по трудоемкости занимает более 50% от общего объема монтажных работ. Сократить сроки строительства цехов и при этом резко улучшить качество монтажа трубопроводов - вот задача, над которой постоянно работает инженерная мысль.

Первым шагом в индустриализации работ стало использование трубопроводных заготовок. Трубы, фасонные детали, арматура поставляются на строительную площадку не

россыпью, а в виде укрупненных сборочных единиц, изготовленных в заводских условиях (рис. 8.14). На строительной площадке заготовки сначала раскладывают в требуемом порядке, затем устанавливают на свои места и производят сварку труб или затяжку фланцевых соединений. Россыпью в настоящее время поставляются только трубы малого диаметра, монтаж которых затруднений не вызывает.

Вторым шагом явилось возведение цехов с применением блоков - объемных конструктивно законченных элементов технологического процесса. Блок состоит из сборочных единиц, габариты и массы которых определяются условиями сборки, транспортировки к месту строительства и монтажа. Количество сборочных единиц в блоке должно быть по возможности минимальным с целью сокращения трудоемкости сборки. Наилучшим решением блока является такое, при котором блок представляет собой одну сборочную единицу. Сборочные единицы изготавливаются на специальных полигонах и поступают на площадку строительства в виде изделий максимальной монтажной готовности.

Таблица 8. 3

Номенклатура технологических блоков

Блок	Группа сложности	Состав				
		основной аппарат	блоки			
			теплообмена	нагнетания	перекачки	хранения
Абсорбции	3	абсорбер	+	+	+	-
Выпарки	3	выпарной	+	+	+	-
Дистилляции	3	дистилляционная колонна	+	+	+	+
Нагрева	1	печь	-	-	-	-
Нагнетания	1	насос	-	-	-	-
Отстаивания	3	отстойник	-	+	+	-
Перекачки	2	емкость	-	+	-	-
Сепарации	3	сепаратор	+	-	+	-
Смешения	3	смеситель	+	+	+	+
Сушки	3	сушилка	+	+	+	-
Теплообмена	1	теплообменник	-	-	-	-

Блок	Группа сложности	Состав				
		основной аппарат	блоки			
			теплообмена	нагнетания	перекачки	хранения
Фильтрации	3	фильтр	+	+	+	-
Химпроцесса	3	реактор	+	+	+	+
Хранения	1	емкость	-	-	-	-
Центрифугирования	3	центрифуга	-	+	+	-
Экстрагирования	3	экстрактор	+	+	+	+

Различают блоки технологические и блоки коммуникаций. Технологические блоки представляют собой конструктивно законченные комплексы или сборочные единицы для реализации технологических процессов. Технологические блоки могут быть разной группы сложности (табл. 8.3). Простые блоки, как правило, содержат машины или аппараты одного типа (например, два насоса, один или два теплообменника и т.п.). Блоки средней сложности могут содержать машины или аппараты двух и более типов (например, емкость и два насоса).

Сложные блоки компонуются из более простых - в их состав может входить один основной аппарат, блоки средней сложности и простые. Например: реактор, блок нагнетания (два насоса) и блок перекачки (емкость и насос). В таблице 8.3 приведен перечень и примерный состав технологических блоков. Здесь же дана классификация блоков по сложности: 1 группа - простые; 2 группа - средней сложности; 3 группа – сложные. В таблице знак «+» означает, что аппарат входит в состав блока, а знак «-» - не входит.

Блоки коммуникаций представляют собой объединенные на общей опорной конструкции единицы, включающие все виды трубопроводов. Блочный монтаж осуществляется по мере готовности строительных конструкций цеха (установки).

Поскольку блоки имеют собственную опорную конструкцию - металлическую раму, процесс монтажа сводится к установке блоков в проектное положение, их креплению к строительным конструкциям (фундаментам, перекрытиям и т.п.) и соединению блоков друг с другом посредством стыковки трубопроводов.

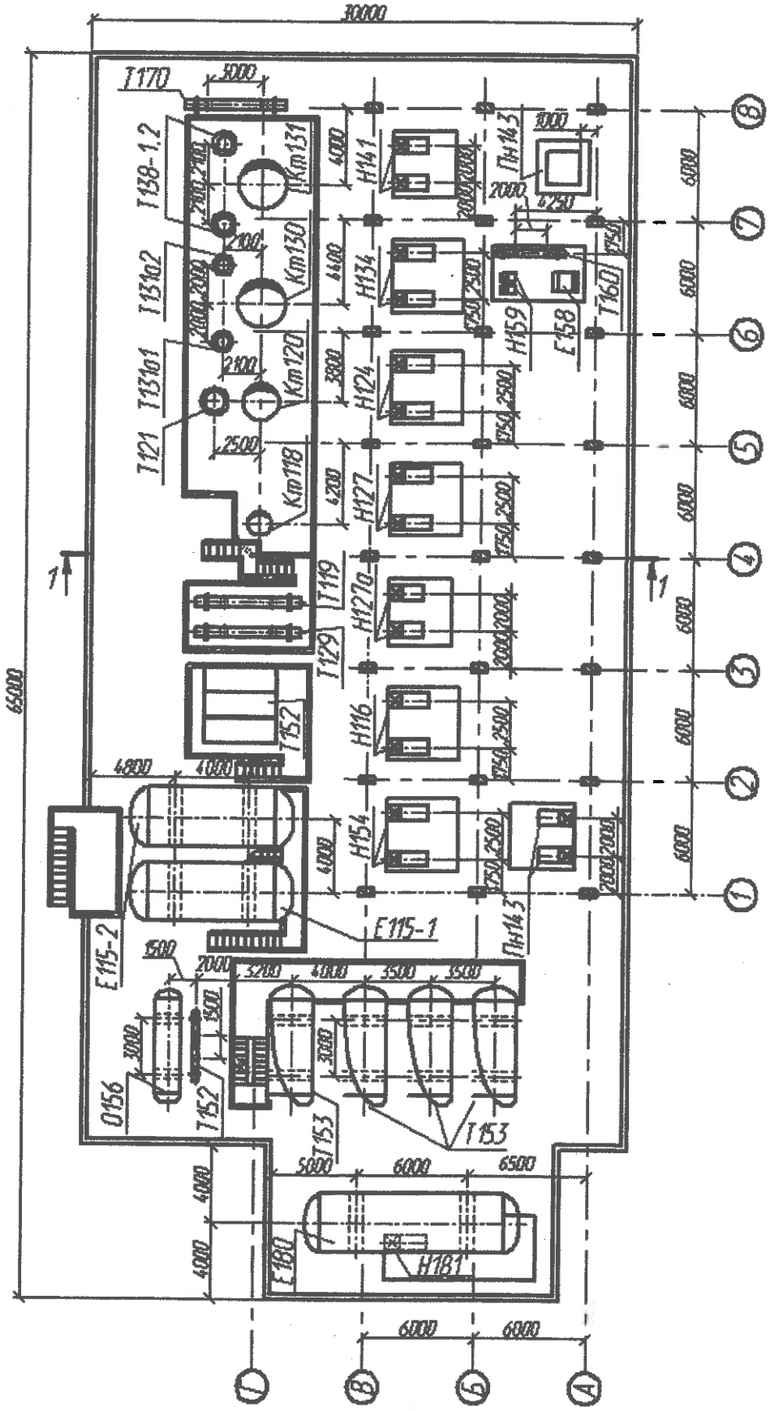


Рис.8.15. Отделение цеха производства мономеров (план)

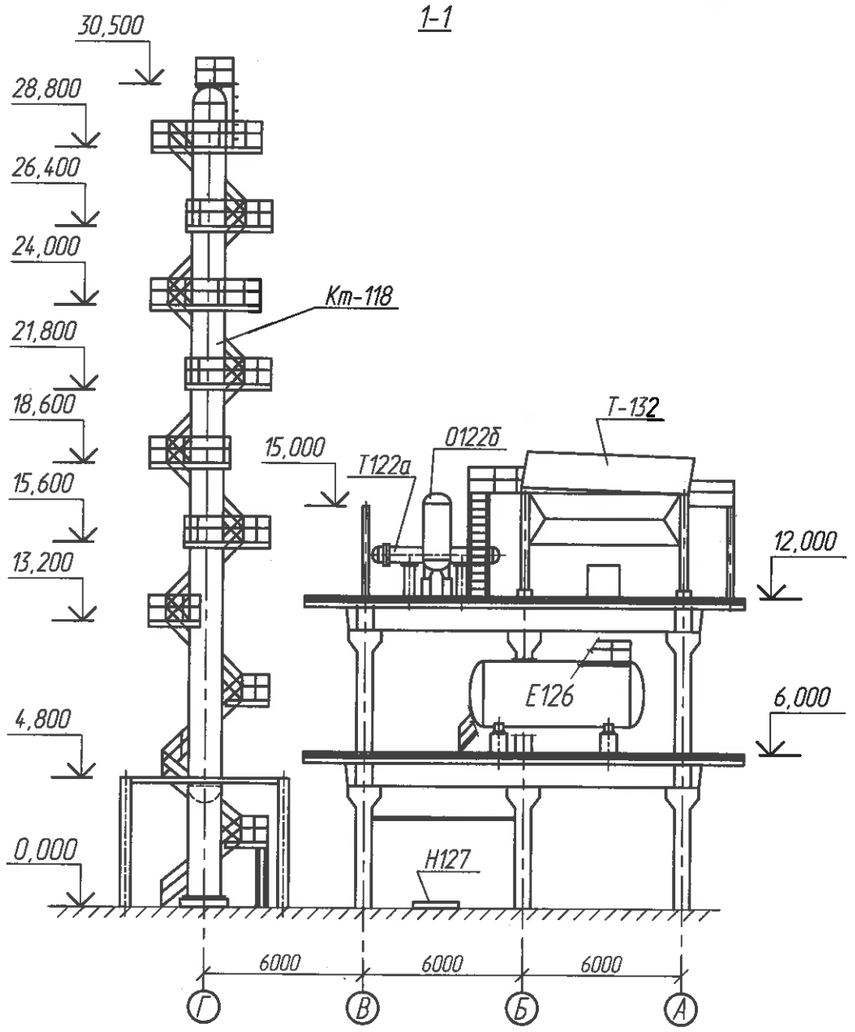


Рис.8.16. Отделение цеха производства мономеров
(разрез 1-1 по рис. 8.15).

Возведение технологических объектов с помощью блоков особенно эффективно при строительстве в малообжитых районах с тяжелыми климатическими условиями. В нашей стране этот метод первоначально получил применение при строительстве установок в районах крайнего севера.

При традиционном методе компоновки все однотипное оборудование группируется: ставятся отдельно насосы, отдельно теплообменники, емкости и т.д. Это упрощает обслуживание и ремонт оборудования и машин, но увеличивает протяженность трубопроводных коммуникаций.

При комплектно-блочном методе группировка осуществляется по функциональному (агрегатному) принципу. Так, оборудование, относящееся к колонне (насосы, емкости), входит в один блок. За счет этого длина труб экономится примерно на 20- 30%, но на изготовление строительных конструкций требуется в 1,5÷2 раза больше металла.

Как уже говорилось выше, блоки разбиваются на узлы в пределах транспортных габаритов.

Одним из преимуществ комплектно-блочного метода является сокращение трудоемкости монтажных работ. Блоки собираются на крытом, специально оборудованном полигоне, т.е. в более комфортных, чем на стройплощадке условиях. Если работы ведутся под крышей, трудоемкость монтажных работ обычно считают сниженной на 25%.

При проектировании с применением блоков необходимо разделить технологическую схему на блоки, разработать компоновку из блоков и чертежи самих блоков. Компоновка объекта из блоков должна обеспечить:

а) объединение всех трубопроводов, соединяющих блоки в минимальное количество блоков коммуникаций, которые должны быть сосредоточены в ограниченной по ширине зоне, называемой техническим коридором;

б) расположение крупногабаритного и тяжеловесного оборудования по внешнему контуру объекта;

в) расположение блоков вдоль коммуникационного коридора в технологической последовательности, предпочтительно на нулевой отметке и с наименьшим количеством рядов по ширине установки.

В состав блоков включаются машины, аппараты, первичные средства контроля и управления, трубопроводы, вспомогательные опорные и обслуживающие конструкции, тепловая изоляция аппаратов и трубопроводов.

В проекте блока должны соблюдаться следующие принципы:

- независимость расположения составных частей блока от строительных конструкций и других блоков (в границах блока не должны проходить колонны строительного каркаса, балки, плиты зданий и сооружений, коммуникации других блоков);

- агрегирование составных частей блока на общих опорных конструкциях. Составные части блока, не агрегированные на общих опорных конструкциях, должны иметь самостоятельные опоры, которые устанавливают и закрепляют на заранее возведенных строительных конструкциях (фундаментах, перекрытиях т.п.);

- агрегирование запорной, регулирующей и предохранительной арматуры в узлы управления;

- максимальное использование стандартных деталей и изделий;

- возможность многократного применения проекта блока.

Необходимо предусмотреть жесткость конструкции сборочной единицы блока, сохранение ее целостности при перевозке, установке в проектное положение и эксплуатации; наличие устройств для перевозки, перемещения, установки, выверки и крепления к строительным конструкциям; положение центра тяжести относительно продольной и поперечной осей сборочной единицы в соответствии с требованиями на транспортировку изделий.

Для сравнения на рисунках 8.15 и 8.16 приведено отделение цеха получения мономеров при традиционном методе компоновки, а на рисунках 8.17 и 8.18 то же отделение цеха при комплектно-блочном методе компоновки.

9 ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

9.1 Оценка прочности при сложном напряженном состоянии

Прочность - это способность воспринимать действующие нагрузки не разрушаясь. При статическом нагружении возможны два вида разрушений: в результате больших остаточных деформаций или в результате появления трещин. Первый вид характерен для конструкций из пластических материалов, работающих на одноосное растяжение, сжатие и изгиб, второй - для сосудов, работающих под давлением, а также для изделий и конструкций из хрупких материалов. Первый вид разрушения внешне проявляется в сильном изменении формы конструкции. Типичной картиной разрушения второго вида является образование трещин при незначительном изменении формы. Оба вида разрушений могут произойти как сразу после приложения нагрузки, так и по истечении продолжительного времени эксплуатации. В последнем случае мы имеем дело с усталостью, вызванной знакопеременным циклическим нагружением или с ползучестью материала - процессом постепенного перехода упругих деформаций в пластические вследствие высоких температур. Любой напорный трубопровод выполняет двоякую функцию: сосуда, находящегося под давлением, и строительной конструкции, служащей для восприятия действующих нагрузок и их передачу на опоры. Поэтому при оценке прочности важны оба вида разрушений. Расчет прочности сводится к оценке возникающих напряжений.

При статическом нагружении и отсутствии ползучести разрушение материала определяется кратковременными характеристиками прочности, получаемыми в результате опытов на одноосное растяжение-сжатие: пределом текучести σ_p и временным сопротивлением разрыву (пределом прочности) – $\sigma_в$.

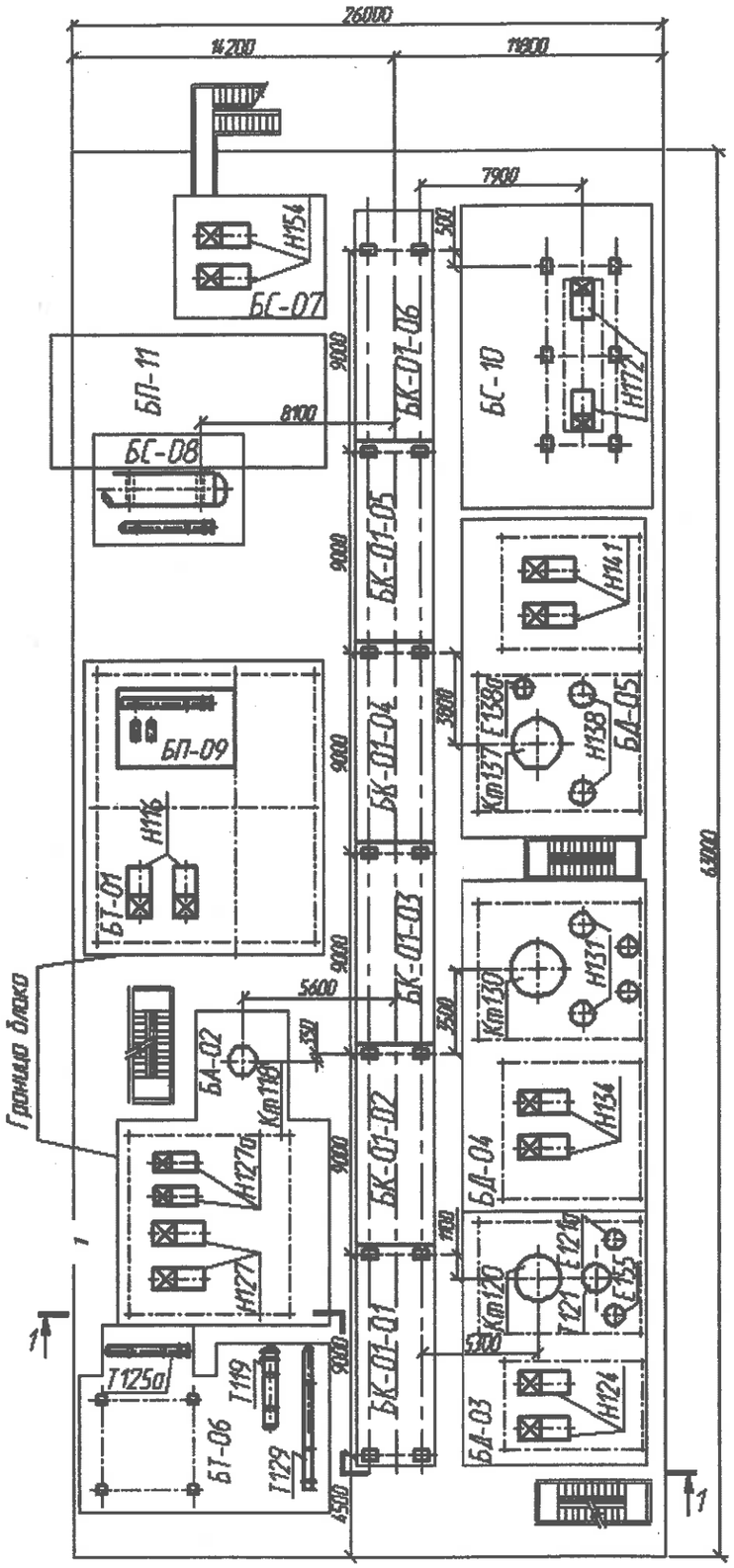


Рис. 8.17. Отделение цеха производства мономеров, в комплектно – блочном исполнении, план (разрез по 1-1 см на рисунке 8.18)

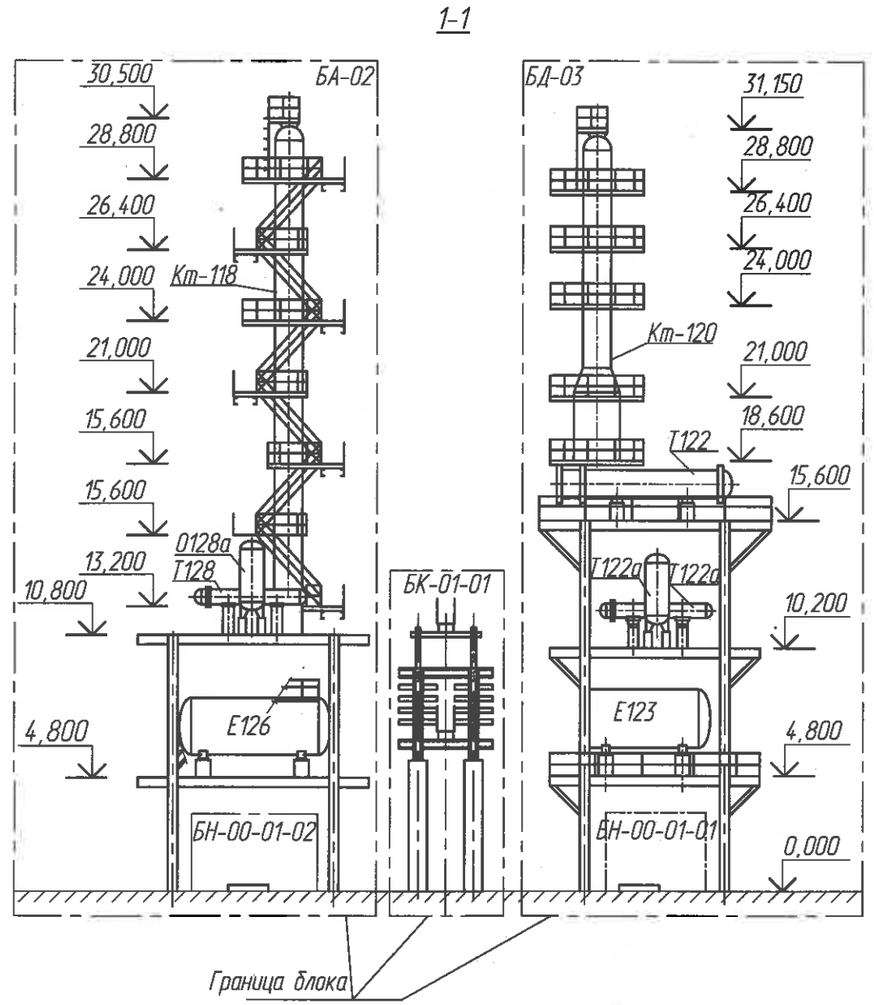


Рис.8.18. Отделение цеха производства мономеров, в комплектно – блочном исполнении, разрез 1-1(обозначен на рис. 8.17)

Если разрушение обусловлено большими пластическими деформациями, то в оценке прочности нужно, очевидно, исходить из напряжения, при котором сопротивление материала пластическим деформациям будет наименьшим, т.е. из предела текучести. Если же разрушение вызвано образованием трещин, то определяющим нужно считать напряжение, при котором сопротивление материала деформациям будет наибольшим, а именно - предел прочности $\sigma_в$.

В условиях ползучести при разрушении, вызванном деформациями, работу материала надо оценивать по пределу ползучести - $\sigma_п$, а при разрушении вследствие образования трещин - по пределу длительной прочности - $\sigma_{дп}$. В обоих случаях речь идет о сопротивлении разрушению в течение ограниченного срока службы изделия или конструкции.

Расчетные напряжения сравниваются, однако, не с самими указанными выше пределами, а с их уменьшенными значениями, получаемыми в результате деления на коэффициенты запаса - допускаемыми напряжениями - $[\sigma]$.

Введение коэффициентов запаса объективно необходимо. Взаимосвязь между нагрузками и воздействиями, с одной стороны, и прочностью детали или конструкции, с другой - всегда в той или иной мере носит изменчивый, случайный характер. Изменчивы сами нагрузки и воздействия: их фактические значения, как правило, отличаются от расчетных; неоднородна деталь или конструкция из-за разброса механических характеристик материала, неоднородности структуры материала; существуют отступления в геометрических размерах и т.д. Распределение усилий в расчетной модели так же отличается от реальности. Все эти факторы, в конечном счете, поглощаются коэффициентом запаса. Его величина принимается на основании опыта. По мере совершенствования методов расчета, применения более точных расчетных схем, накопления знаний о реальной работе деталей и конструкций коэффициенты запаса снижаются. При оценке прочности стальных трубопроводов различного назначения в настоящее время применяются следующие коэффициенты запаса:

- по пределу прочности $\sigma_в$ - 2,4;
- пределу текучести $\sigma_р$ - 1,5;
- по пределу длительной прочности $\sigma^t_{р/10^5}$ - 1,0;
- пределу ползучести $\sigma^t_{m/10^5}$ - 1,0.

Допускаемые напряжения устанавливаются по-разному. Когда требуется оценить сопротивление детали или конструкции действию определенной нагрузки, то оценивают по пределу, которым определяется характер разрушения. Например, металлическая балка под действием распределенной нагрузки представляет собой изгибаемую конструкцию, которая может быть разрушена только в результате больших пластических деформаций. Следовательно, допускаемые напряжения для ее материала определяются по пределу текучести. Заглушенная по концам труба под действием избыточного внутреннего давления разрушается в результате образования трещин, и допускаемые напряжения в этом случае можно получить делением предела прочности на соответствующий коэффициент запаса.

В случае сложного напряжения, напряженно-деформированное состояние неоднородно: одни части конструкции могут быть сжаты, другие - растянуты, изогнуты и т.п. Поэтому берутся предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести $\sigma_р$ (при отсутствии ползучести), $\sigma_в$, $\sigma_р$, $\sigma^t_{р/10^5}$ и $\sigma^t_{m/10^5}$ (при наличии ползучести), каждый из них делится на свой коэффициент запаса, а в качестве допускаемого принимается наименьшее из полученных значений.

При наличии ползучести предел текучести всегда рассматривается в паре с пределом ползучести, а предел прочности - с пределом длительной прочности.

Разветвленные пространственные трубопроводы находятся в объемном напряженном состоянии, при котором главные напряжения $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Разрушение материала согласно имеющимся теориям прочности возникает тогда, когда функция некоторого математического выражения, включающего главные напряжения, достигает опасного значения. Для пластических материалов наибольшее распространение получили две теории прочности: наибольших касательных напряжений и наибольшей потенциальной энергии изменения формы (соответственно третья и четвертая теории прочности).

Согласно третьей теории условие прочности имеет вид:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) \le [\sigma];$$

по четвертой теории прочности оно выглядит так:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2} \le [\sigma]$$

Отличительной особенностью второго неравенства является то, что в нем учитывается влияние промежуточных главных напряжений на возникновение состояния разрушения. Обе теории совпадают, когда σ_2 равно максимальному или минимальному главному напряжению. Наибольшее расхождение между ними будет при $\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$. В этом случае второе неравенство приобретает вид

$$\sigma_1 - \sigma_3 \le \frac{2}{\sqrt{3}}[\sigma] \approx 1{,}15[\sigma],$$

т.е. разность главных напряжений σ_1 и σ_3 получается примерно на 15% больше, чем по третьей теории.

Эксперименты показывают, что поведение металлов, не имеющих резко выраженных пределов текучести (что характерно для большинства трубных сталей), как правило, соответствует какому-то промежуточному условию между двумя приведенными выше теориями. Поэтому для трубопроводов из металла любая из них применима на практике.

9.2 Нагрузки и воздействия

Трубопроводы в период монтажа и эксплуатации подвергаются действию разнообразных факторов. Рассмотрим некоторые из них.

Избыточное внутреннее давление. Эта нагрузка имеет главное значение при определении необходимой (по условию прочности) толщины стенок всех элементов трубопровода. Давление считается наиболее самой опасной из всех действующих на трубопровод нагрузок.

На трубу, являющуюся элементом трубопровода, давление оказывает двоякое действие: оно стремится разорвать трубу в поперечном сечении и по образующей. Если из трубы вырезать бесконечно малый прямоугольный элемент, то по его граням будут действовать продольные и кольцевые напряжения (рис. 9.1). Кольцевые напряжения превышают продольные в 2 раза и являются главным фактором, определяющим прочность трубопровода. В связи с тем, что на внутренней поверхности трубы напряжения равны P, а на наружной - нулю, в радиальном направлении будут также действовать напряжения σ_r , но их величина пренебрежимо мала в сравнении с $\sigma_к$ и $\sigma_н$.

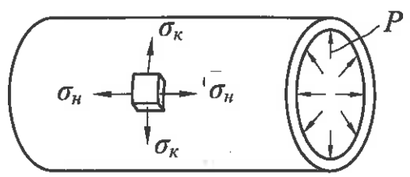


Рис. 9.1.Напряжения в стенке трубы от внутреннего давления

В отличие от напряжений изгиба и кручения, напряжения от внутреннего давления достигают максимального значения на внутренней, а не с наружной поверхности трубы и распределяются равномерно по всему ее периметру. Пластические деформации, возникая на внутренней поверхности трубы, с ростом давления продвигаются к ее наружной поверхности, приводя к разрушению в результате образования сквозных трещин.

Весовая нагрузка. Компонентами этой нагрузки являются собственный вес трубопровода, вес транспортируемого продукта, а также вес тепловой изоляции. Эта нагрузка может быть распределенной (например, от веса труб), тогда количественно она определяется интенсивностью. Нагрузка от веса отдельных элементов (арматуры, тройников и т.д.) обычно рассматривается как сосредоточенная, т.е. считается, что она приложена в соответствующих точках оси трубопровода.

Потеря несущей способности трубопровода от действия веса может произойти лишь при значительном изменении формы конструкции трубопровода.

Для защиты трубопровода от воздействия веса применяются промежуточные опоры. Напряжения от веса могут быть сведены к минимуму частой расстановкой промежуточных подвижных опор. Но при этом нужно следить за тем, чтобы компенсирующая способность сохранялась на достаточном уровне, т.е. расстановка опор не должна существенно ограничивать температурные расширения трубопровода.

Деформационные воздействия. К деформационным воздействиям относятся: температурный нагрев, осадка опор и неточности изготовления элементов трубопровода.

В некоторых случаях при монтаже трубопроводов искусственно создают начальные деформации, т.е. предварительно растягивают или сжимают трубопровод. Эта операция называется предварительной холодной растяжкой или сжатием. Предварительно растянутый трубопровод обладает способностью лучше воспринимать температурные расширения, возникающие при нагреве и остывании труб.

Крепления трубопровода к машинам и аппаратам обычно выполняют функцию неподвижных опор на концах трубопровода. При нагреве корпуса оборудования точки присоединения трубопровода смещаются. Эти воздействия учитываются в расчете как собственные смещения неподвижных опор трубопровода.

Природа деформационных воздействий специфична: усилия и напряжения, которые они вызывают, могут возникать только в статически неопределимых системах, препятствующих свободному деформированию из-за наличия избыточных связей в конструкции.

Заметим, что температурные расширения сами по себе могут вызывать в трубопроводе пластические деформации. Однако при этом не может произойти неограниченное нарастание формоизменения трубопровода: оно (формоизменение) само снимает вызвавшее его причину. Напряжения, вызванные в трубопроводе температурными воздействиями, обычно называют напряжениями самокомпенсации. Ниже рассматривается влияние этих напряжений на несущую способность трубопровода.

Вибрационные воздействия. Причины вибрации трубопроводов могут быть различными: пульсация потока, вибрация агрегатов, сейсмические колебания. К вибрационным воздействиям относятся также волновые процессы, обусловленные гидравлическим ударом. Снижение уровня вибрации достигается чаще всего ограничением размаха виброперемещений при резонансных частотах. Основой такого расчета является вычисление частот собственных и вынужденных колебаний трубопровода. Для защиты трубопроводов от вибрации применяют виброгасители различных типов: динамические виброгасители, служащие для изменения собственной частоты колебаний; гидравлические демпферы, поглощающие энергию колебаний; антивибрационные опоры для снижения амплитуды колебаний и устранения резонанса; дополнительные гидравлические сопротивления и т.п.

Расчет трубопроводов на вибрационные воздействия в данной книге не рассматривается.

9.3 Влияние самокомпенсации на прочность трубопровода

Теоретически конструкция трубопровода представляет собой раму, в которой стержни преимущественно жестко соединены друг с другом. Рама должна быть гибкой

для того, чтобы температурные расширения одних ее стержней компенсировались деформациями изгиба и кручения других. Другими словами, за счет своего очертания (на плоскости или в пространстве) рама наделяется свойствами пружины, воспринимающей как собственные температурные расширения, так и температурные расширения присоединенного к ней оборудования. Указанные расширения весьма значительны: при нагреве на 100 ^oC каждый метр стального трубопровода изменяет свою длину приблизительно на 1,2 миллиметра. Безопасное восприятие температурных расширений за счет собственной гибкости принято называть самокомпенсацией. Если самокомпенсация обеспечивает соблюдение условий прочности в рабочем (нагретом) состоянии трубопровода, его компенсирующая способность считается достаточной. В противном случае – недостаточной.

Влияние напряжений, обусловленных температурным нагревом (напряжений самокомпенсации), неодинаково в зависимости от условий, в которых работает трубопровод, и свойств материала, из которого он изготовлен.

Необходимо различать три случая.

1) Работа трубопровода в условиях стационарного температурного режима в отсутствие ползучести в материале.

2) Работа трубопровода, подверженного циклическим воздействиям температуры (чередование циклов нагрев-охлаждение), в отсутствие ползучести в материале.

3) Работа трубопровода при наличии ползучести в материале.

Рассмотрим простой пример. На рис. 9.2 приведена диаграмма напряжений растянутого волокна стальной трубы. Пусть в результате изменения температуры трубопровода удлинение волокна достигает значения $\varepsilon_p = 0{,}2\%$. Соответствующее этому удлинению напряжение равно пределу текучести σ_p. Для того чтобы довести трубу до разрушения, нужно, чтобы удлинение волокна достигло значения $\varepsilon_в$, которое соответствует пределу прочности $\sigma_в$. Для большинства трубных сталей $\varepsilon_в / \varepsilon_p = 20/0{,}2 = 100$, в то время как $\sigma_в / \sigma_p \approx 1{,}5 \div 2$. Это свидетельствует о том, что с точки зрения силового нагружения запас прочности составляет всего 1,5÷2. Но если удлинение волокна вызвано действием температуры (деформационное нагружение), то мы уже имеем запас прочности равный 100. Следовательно, разрушение трубы от температурных деформаций практически невозможно.

То же самое происходит при потере устойчивости. Когда труба, закрепленная на концах, в результате нагрева теряет устойчивость, нормальная сила в ее сечениях достигает критического значения $P_{кр}$ (по Эйлеру). При дальнейшем нагреве относительно малому изменению температуры будет соответствовать небольшой прогиб трубы. Если температура увеличится, скажем, на 10% сверх критической, то на столько же увеличится и значение Δ (рис. 9.3). Увеличение же на 10% силы P в случае силового воздействия приведет

к резкому увеличению прогибов, причем как правило с последующим разрушением трубы.

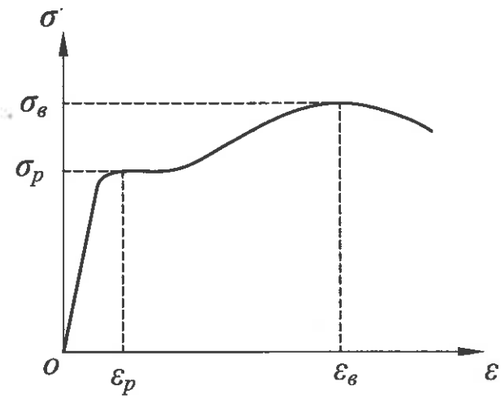


Рис. 9.2. Диаграмма растяжения (сжатия) стальной трубы

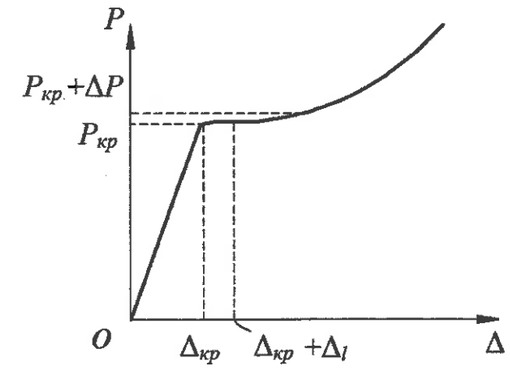


Рис. 9.3. Потеря устойчивости при температурном расширении

Таким образом, при стационарном температурном режиме и в отсутствие ползучести, напряжения от температурных расширений не опасны и при оценке прочности трубопровода могут во внимание не приниматься (иное дело оценка усилий и перемещений).

Этот вывод не относится к трубопроводам, изготовленным из хрупких материалов, для которых напряжения от нагрева необходимо учитывать. Он также не распространяется на стальные трубопроводы, транспортирующие агрессивные среды, поскольку возникающие при нагреве пластические деформации могут служить хорошими концентраторами коррозии.

Во втором случае - циклическом температурном нагружении - труба из пластичного материала может разрушиться даже без заметных пластических деформаций. При цик-

лических температурных воздействиях число циклов измеряется сотнями, максимум тысячами. Это объясняется тем, что трубопровод обладает значительной тепловой инерцией, и цикл температурных напряжений имеет сравнительно большую длительность. Если, например, принять, что один цикл длится всего десять минут, то для миллиона циклов потребуется около двадцати лет.

Для оценки циклической прочности теплонапряженных конструкций применяется следующий упрощенный критерий: если после первых циклов нагрев-охлаждение в конструкции устанавливается циклический режим чисто упругих деформаций, то температурное усталостное разрушение при ограниченном числе циклов невозможно. Если же в условиях установившегося цикла регулярно образуются пластические деформации, это означает, что после некоторого числа циклов наступит разрушение. Следовательно, при циклическом температурном нагружении напряжения самокомпенсации необходимо ограничить, чтобы обеспечить заданный ресурс (срок службы) трубопровода.

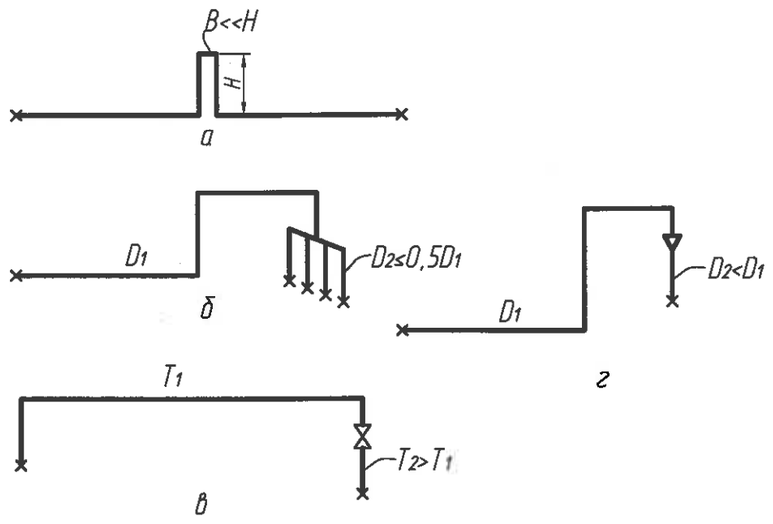


Рис. 9.4. Примеры образования локализаторов ползучести в высокотемпературных трубопроводах

В условиях ползучести трубопровод, как и любая другая конструкция, рассчитывается на определенный ресурс - срок, в течение которого не произойдет потери несущей способности или суммарная упругая и пластическая деформация не превысит некоторой допустимой величины. Напряжения самокомпенсации в этом случае нужно учитывать, поскольку они влияют на пластическую перегрузку трубопровода. При проектировании трубопроводов, работающих в условиях ползучести, следует стремиться к тому, чтобы

напряжения от нагрева распределялись достаточно равномерно, т.е. максимальные напряжения в трубопроводе мало отличались от средней величины.

Участки трубопровода, характеризуемые благоприятными условиями для развития ползучести, называются локализаторами ползучести. Характерные примеры показаны на рис. 9.4. Локализаторы ползучести могут образовываться по-разному: диспропорцией в размерах П – образного компенсатора (рис. 9.4, *а*); наличием в конструкции «слабых» участков, в которых происходит интенсивное накопление остаточной деформации (рис. 9.4, *б*); резким изменением температуры на коротком участке трубопровода (рис. 9.4, *в*); переходом на меньший диаметр вблизи неподвижной опоры (рис. 9.4, *г*) и т.п. При конструировании трубопроводов, работающих при высоких температурах, подобных ситуаций нужно избегать.

9.4 Жесткость криволинейных труб-отводов

Кратко остановимся на понятиях жесткости и гибкости. Жесткость конструкции в заданной точке по заданному направлению характеризуется величиной сосредоточенной силы или момента, которые вызывают деформацию, равную единице. Соответственно жесткость может быть линейной или угловой (размерности *Н/см* и *Нсм*). Величиной, обратной жесткости, является гибкость - деформация, вызываемая единичной силой или моментом (размерности *см/Н* и *1/Нсм*).

Одновременно существуют более узкие понятия жесткости и гибкости, используемые в качестве характеристик работы поперечных сечений различной формы: EI - жесткость на изгиб, EF - жесткость на растяжение-сжатие, GI_p - жесткость на кручение.

Расчет прямой трубы на изгиб в линейной постановке задачи не отличается от расчета прямого стержня и производится с помощью простейших формул и методов сопротивления материалов.

Изгиб трубы с криволинейной осью в отличие от прямой трубы сопровождается изменением формы поперечных сечений. Возникающие при изгибе равнодействующие T продольных усилий N_1 сплющивают сечения трубы (рис. 9.5). Эти равнодействующие T возникают и при изгибе кривого стержня сплошного сечения. Но в таком стержне давление продольных волокон друг на друга вызывает столь незначительную деформацию поперечного сечения, что ее влияние на напряжения и жесткость стержня можно не учитывать.

Когда изгибающий момент M увеличивает начальную кривизну трубы, ее круглое сечение превращается в овальное, вытянутое в направлении перпендикулярном плоскости кривизны (рис. 9.5, *а*). Если же в результате изгиба начальная кривизна трубы уменьшается, то в сечении образуется овал, вытянутый в плоскости кривизны трубы (рис. 9.5, *б*).

Упругое изменение формы поперечных сечений возникает и при изгибе из плоскости кривизны трубы (рис. 9.5, *в, г*).

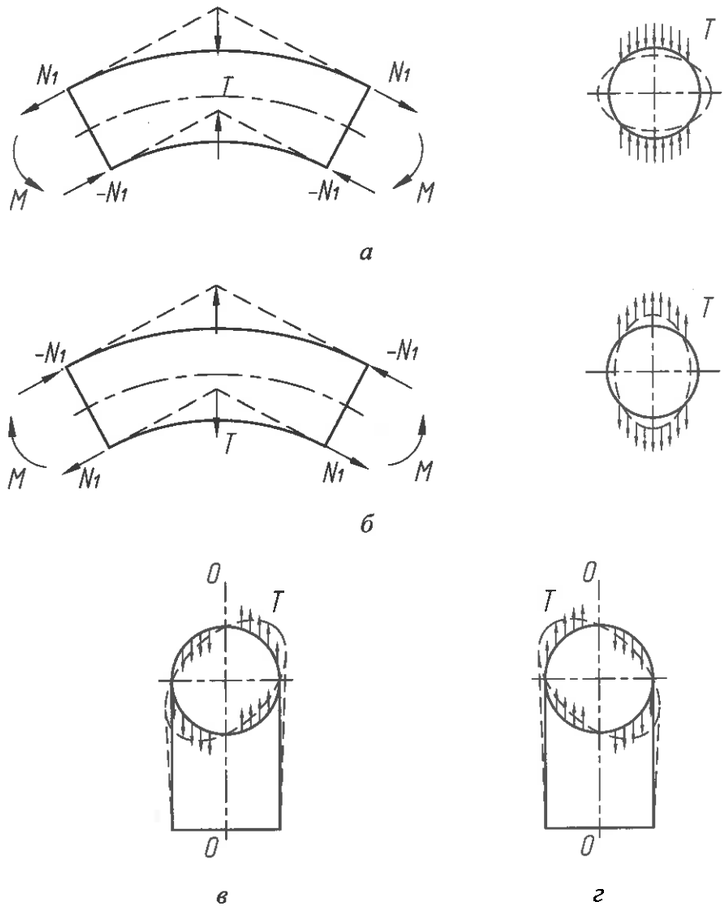


Рис. 9.5. Изгиб криволинейной трубы – отвода
а, б – в плоскости кривизны; *в, г* - из плоскости кривизны

При сплющивании продольная деформация внешних волокон трубы будет меньше, чем без сплющивания. Следовательно, чтобы произвести одинаковое изменение кривизны, требуется приложить меньший изгибающий момент. В результате этого гибкость криволинейных труб по сравнению с прямыми, при прочих равных условиях увеличивается.

Согласно теории изгиба криволинейных труб (отводов)

$$\frac{1}{\rho}=\frac{M}{kEI},$$

т.е. изгиб криволинейной трубы сводится к расчету обычной прямой трубы с поправочным коэффициентом k. Этот коэффициент понижения жесткости (увеличения гибкости)

криволинейной трубы зависит в свою очередь от безразмерной величины, которую называют коэффициентом трубы

$$\lambda=\frac{sR}{r_{cp}^2}.$$

В приведенных формулах

$\frac{1}{\rho}$ - кривизна осевой линии изгибаемой трубы;

M - изгибающий момент, подсчитанный по обычной теории изгиба стержней;

EI – жесткость поперечного сечения криволинейной трубы на изгиб;

s - толщина стенки криволинейной трубы;

R - радиус гиба криволинейной трубы;

r_{cp} - радиус сечения срединной поверхности криволинейной трубы $r_{cp}=\frac{D-s}{2}$.

Величина коэффициента трубы, как это следует из формулы, возрастает с увеличением отношения R/r_{cp} и отношения s/r_{cp}. Иными словами, λ велико для слабо искривленного трубы с толстой стенкой и мало для сильно искривленной трубы с тонкой стенкой. При значении $\lambda > 5$ различие между изгибом прямой и кривой трубы невелико и кривую трубу можно рассматривать как прямую. Для труб, изогнутых нормальным (3÷5 *DN*) или большим радиусом кривизны, у которых $0{,}3 < \lambda \le 5$, коэффициент понижения жесткости определяется по формуле

$$k=\frac{(1-\mu^2)+12\lambda^2}{10(1-\mu^2)+12\lambda^2}$$

Трубы, изогнутые малым радиусом (1÷2 *DN*), для которых $\lambda < 0{,}3$, имеют коэффициент понижения жесткости

$$k=\frac{\lambda}{\sqrt{3(1-\mu^2)}}.$$

Если в предыдущей формуле пренебречь значением коэффициента относительной поперечной деформации μ, квадрат которого мал по сравнению с единицей, получаем

$$k=\frac{1+12\lambda^2}{10+12\lambda^2}.$$

Эта формула впервые была получена в 1911 году немецким ученым Фон Карманом и называется формулой Кармана 1-го приближения, а само явление понижения жесткости кривых труб в результате сплющивания поперечных сечений получило название эффекта Кармана.

Принимая во внимание, что для стали $\mu = 0{,}3$, формулу для труб с малым радиусом изгиба можно представить в более простом виде

$$k = \frac{\lambda}{1{,}65}.$$

Формула известна как формула Кларка-Рейсснера - ученых, которые в 1951 году получили первыми решение задачи об изгибе кривой трубы с использованием теории тонких оболочек.

Употребляемые формулы сведены в таблицу 9.1.

Таблица 9. 1

Определение жесткости криволинейных труб - отводов

Криволинейные трубы (отводы)	Коэффициент трубы	Коэффициент понижения жесткости
Изогнутые большим радиусом	$\lambda > 5$	$k = 1$
Изогнутые большим и нормальным радиусом (3÷5 *DN*)	$0{,}3 < \lambda \le 5$	$k = \frac{1 + 12\lambda^2}{10 + 12\lambda^2}$
Изогнутые нормальным радиусом и крутоизогнутые (1÷2,5 *DN*)	$\lambda \le 0{,}3$	$k = \frac{\lambda}{1{,}65}$

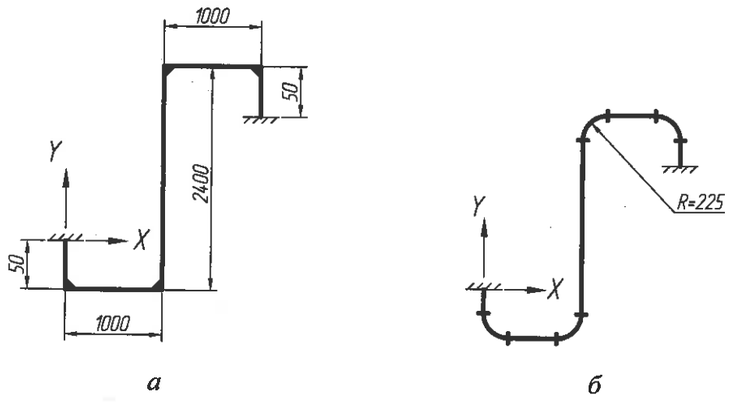


Рис . 9.6. Расчетная модель трубопровода
а – с жесткими узлами; *б* – с отводами

Пониженная жесткость криволинейных труб - отводов имеет больше значение для компенсации температурных расширений. На рис. 9.6 показан стальной трубопровод, выполненный из труб 159х6, материал сталь 20, температурный перепад 300°С, радиус отводов 225 *мм* ($R = 1{,}5\ DN$).

Если такой трубопровод рассчитывать на компенсацию температурных расширений как стержневую систему с жесткими узлами или как систему, содержащую отводы в местах поворота, то получим усилия, различающиеся почти в 3 раза (табл. 9.2).

Отметим, что в силу косой симметрии, на правом конце трубопровода такие же усилия будут с противоположными знаками.

Таблица 9. 2

Расчетные усилия на левом конце трубопровода

Пониженная жесткость отводов	*M, Нм*	N_x, *H*	N_y, *H*
Не учитывается	-10300	+9600	-17000
Учитывается	-3600	+3409	-5900

В рассмотренном примере коэффициент понижения жесткости отводов получается следующим

$$r_{ср} = \frac{159 - 6}{2} = 76{,}5, \qquad \lambda = \frac{6 \cdot 225}{76{,}5^2} = 0{,}231 < 0{,}3$$

$$k = \frac{0{,}231}{1{,}65} = 0{,}14$$

Таким образом, если жесткость прямой трубы *EI*, то жесткость отвода 0,14 *EI*, т.е. в 7 раз ниже.

Как показывают исследования, на жесткость отводов практически не влияет их конструкция: является ли отвод штампосварным или сваренным из секторов, коэффициент понижения жесткости для него может определяться по тем же формулам, что и для бесшовных криволинейных труб.

При расчете пространственных трубопроводов коэффициенты понижения жесткости отводов, как в плоскости кривизны, так и из этой плоскости, принимаются одинаковыми.

Два фактора препятствуют сплющиванию сечения кривой трубы при изгибе, увеличивая ее жесткость: внутреннее избыточное давление и условия закрепления на концах (примыкающие трубы или фланцы). Формулы для определения коэффициентов понижения жесткости отводов с учетом внутреннего давления и условий закрепления на концах имеются в технической литературе.

9.5 Расчеты трубопроводов на прочность

Расчеты трубопроводов на прочность достаточно трудоемки и выполняются, как правило, с помощью специальных компьютерных программ. Целью их проведения является оценка напряжений, нагрузок, передаваемых трубопроводом на опоры и примыкающие к нему аппараты, а также перемещений в результате нагрева.

Правильная оценка зависит от того, насколько расчетная модель трубопровода качественно правильно отражает его поведение под нагрузкой. Применение расчетной мо-

дели является необходимостью, поскольку полный учет всех свойств реальной конструкции невозможен.

Наиболее распространенными ошибками при задании расчетной модели трубопровода являются ошибки, связанные с идеализацией его геометрического образа. На рабочих чертежах трубопровод изображается схематично в одну (реже – в две) линии с привязкой размеров к его осевой линии. Элементы трубопровода: отводы, переходы, тройники, арматура и т.д. - обозначаются условными знаками. Неопытный расчетчик обычно видит свою задачу в том, чтобы по возможности точнее воспроизвести такой чертеж на экране компьютера. При этом упускается из виду, что между чертежом трубопровода и его расчетной моделью существует большая разница.

Чертеж трубопровода представляет собой условное изображение **реальной** конструкции трубопровода. Расчетная модель - это **идеализированная** схема конструкции трубопровода, освобожденная от несущественных с расчетной точки зрения особенностей. Какими критериями нужно руководствоваться при выборе расчетной модели?

Расчетная модель должна

во-первых, исходить из возможной формы деформации и разрушения конструкции трубопровода, подкрепленной практическим опытом,

во-вторых, качественно правильно отражать упругое поведение конструкции под нагрузкой,

в-третьих, ставить конструкцию трубопровода в менее благоприятные условия, чем те, которые могут иметь место в действительности (обеспечивать разумные запасы прочности),

в-четвертых, не выходить за рамки ограничений теории, используемой для решения поставленной задачи.

Без понимания упругой работы конструкции трубопровода невозможно его конструирование. Для правильного выбора расчетной модели нужен определенный опыт. При составлении расчетной модели имеет место схематизация

- элементов конструкции трубопровода,
- условий соединения элементов трубопровода между собой и их закрепления к строительным конструкциям, аппаратам и т.п.,
- внешних воздействий.

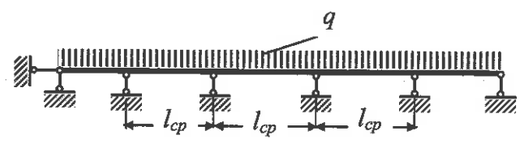
Для одной и той же реальной конструкции можно выбрать несколько расчетных моделей, в зависимости от того, какая сторона работы трубопровода интересует конструктора. Так, в качестве расчетной модели можно использовать:

1) при определении допустимого давления (или расчетной толщины стенки по заданному избыточному давлению) - заглушенный на концах сосуд в форме цилиндра (труба) или тора (отвод). Главным критерием здесь служат кольцевые напряжения, стремящиеся «разорвать» элемент по его образующей (рис. 9.7, *а*) поэтому все остальные факторы несущественны;

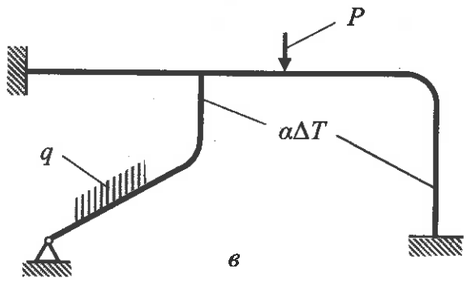
2) при определении допустимых расстояний между промежуточными подвижными опорами – многопролетная неразрезная балка, шарнирно опертая по концам (рис. 9.7, *б*). Главными критериями являются допустимый прогиб и напряжения изгиба от веса трубопровода;

3) при оценке прочности от температурного расширения и весовых нагрузок (распределенных и сосредоточенных) - рамная стержневая конструкция (рис. 9.7, *в*).

а



б



в

Рис. 9.7. Варианты расчетных моделей

Стержень (рис. 9.8) – это тело, длина которого существенно превышает характерные размеры поперечного сечения. Поскольку поперечное сечение трубопровода теоретически представляет собой кольцо, характерным размером стержня будет его диаметр.

Преимущественная работа материала в стержне – это растяжение и сжатие в осевом направлении. Основные расчетные уравнения при этом записываются относительно одной независимой переменной – текущей координаты y для прямого стержня или θ для

изогнутого (рис. 9.8, *а*, *б*). В подавляющем большинстве случаев упругая работа трубопровода может быть описана с помощью стержневой расчетной модели, поскольку размеры поперечного сечения трубопровода, как правило, несоизмеримы с его длиной. С использованием такой расчетной модели спроектировано и построено большое количество трубопроводов различного назначения.

Чаще всего трубопровод представляет собой неразрезную конструкцию, в которой стержни жестко соединены между собой. Исключением являются модели с подвижными сочленениями, выполненными в виде осевых, угловых или сдвиговых компенсаторов

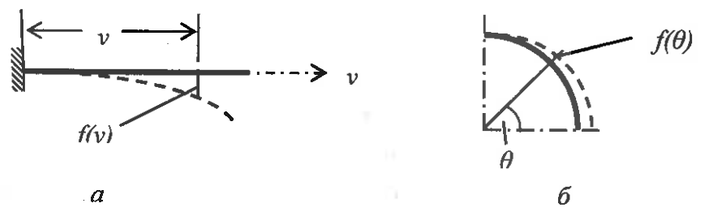


Рис. 9.8. Стержень

Подавляющее большинство воздействий – это силовые (собственный вес трубопровода, вес продукта, изоляции и т.п.) и деформационные (равномерный нагрев, смещения опор).

В расчетной модели используется понятие «**точка**»: закрепление в точке, поворот в точке и т.п. Конструктивно создать закрепление или наоборот свободу перемещения с определенными свойствами в одной точке невозможно. Нередко для обеспечения требуемых свойств конструкции приходится ставить крепления на некотором расстоянии друг от друга, вводить между компенсаторами отрезок прямой трубы и объединять их общими стяжками и т.д. Во всех подобных случаях необходимо выявить функциональное назначение принятой конструкции и соответствующую модель ее работы свести в одну точку.

Аналогично нужно поступать в тех случаях, когда в реальной конструкции трубопровода имеются два рядом расположенных компенсатора с линейно зависимыми перемещениями или два близко расположенных компенсатора с одинаковыми свойствами. При наличии в трубопроводе подвижных сочленений, выполненных в виде осевых, угловых или сдвиговых компенсаторов, нужно также следить за тем, чтобы расчетная модель не превратилась в кинематическую цепь, не способную сохранять геометрическую неизменяемость при действии заданных нагружающих факторов. При выборе расчетной модели особое внимание необходимо обратить на схематизацию закреплений (как внутренних, так и внешних). Принятые схемы работы креплений и компенсаторов должны вобрать в

себя все основные свойства реальной конструкции. Характерный пример приведен на рисунке 9.9. Балка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой, имеет мертвую опору на левом конце и две рядом расположенные подвижные опоры на правом (рис. 9.9, *а*). Расчетная модель может быть разной в зависимости от конструкции подвижных опор.

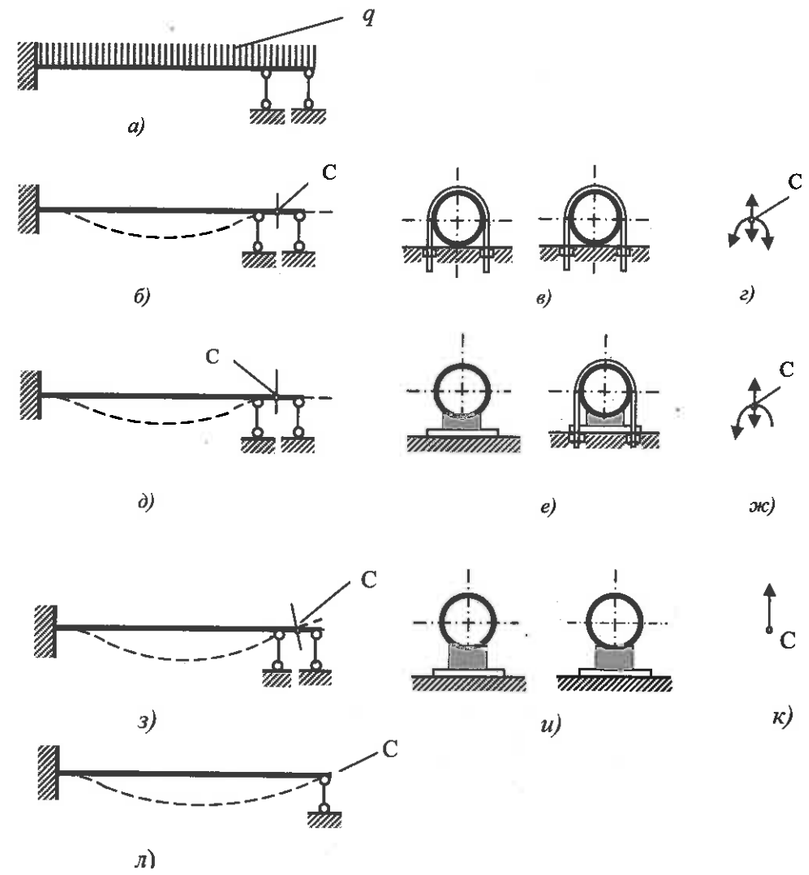


Рис. 9.9. Варианты расчетной модели балки

Рассмотрим три варианта.

1. Две одинаковых опоры с хомутами (рис. 9.9, *в*) поставлены рядом для того, чтобы закрепить точку С от поворота и перемещений по вертикали. Упругая линия от действия равномерно распределенной нагрузки q показана пунктиром (рис. 9.9, *б*). С расчетной точки зрения в закрепляемой точке С должна быть одна опора, эквивалентная двум жестким двухсторонним связям: линейной вертикальной и угловой, запрещающей поворот в плоскости чертежа. Именно такую схему работы правого конца балки обеспечивают спаренные опоры с хомутами; реакции опоры в точке С расчетной модели показаны на рисунке 9.9, *г*.

2. Две разные опоры: одна (крайняя правая) с хомутом, вторая - скользящая, препятствующая перемещению точки С только вниз (рис. 9.9, *е*). Упругая линия будет такой же, как и в первом варианте (рис. 9.9, *д*), разница будет только в том, что угловая связь в закрепляемой точке С будет односторонней, препятствующей повороту сечения против часовой стрелки и не препятствующей в обратном направлении. Реакции опоры в точке С расчетной модели показаны на рис. 9.9, *ж*.

3. Две одинаковые скользящие опоры поставлены рядом по конструктивным соображениям (рис. 9.9, *и*). Сечение балки в точке С не закреплено от поворота. Теоретически мы имеем одну опору, которая представляет собой одностороннюю вертикальную связь, препятствующую перемещению трубопровода только вниз. В расчетной модели одна из опор является лишней, поскольку при достаточно близком между ними расстоянии упругая линия нагруженной балки будет практически одинаковой (рисунки 9.9, *з* и 9.9, *л*). Реакция опоры в точке С расчетной модели показана на рисунке 9.9, *к*.

Следует избегать переусложнения расчетных моделей и их чрезмерной детализации. Наивно полагать, что чем более сложной будет расчетная модель, тем надежнее и представительней станет получаемый результат.

На самом деле этот результат может быть упущен из-за трудности осмысления и анализа резко увеличившегося объема результирующих данных. Чем проще расчетная модель, тем лучше она поддается анализу, тем легче проверить правильность результатов расчета. Копировать реальный чертеж при создании расчетной модели – грубейшая ошибка!

Важно, чтобы инженер всегда понимал, что осуществляя построение расчетной модели, он идеализирует конструкцию и всегда должен оценивать адекватность такой идеализации для решения поставленной задачи.

10 РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ И МЕТОДЫ ИХ РАЗРАБОТКИ

10.1 Основной комплект рабочих чертежей

Основной комплект рабочих чертежей технологии производства (марки ТХ) представляет собой чертежи, предназначенные для монтажа оборудования и технологических трубопроводов. В состав основного комплекта входят:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схема соединений (монтажная);
- чертежи расположения оборудования и трубопроводов;
- ведомость трубопроводов.

С целью индустриализации строительно-монтажных работ и сокращения сроков строительства основные комплекты рабочих чертежей выполняются для каждого технологического узла - конструктивно и технологически обособленной части объекта строительства, техническая готовность которой позволяет автономно, независимо от готовности объекта в целом производить пусконаладочные работы, индивидуальные испытания и комплексное опробование. Технологические узлы, как правило, определяют стадии технологического процесса: подготовку сырья, этапы его переработки, получение конечного продукта, хранение и т.д. Технологический узел может представлять собой и целое отделение, цех, установку.

Общие данные рабочих чертежей. Это своеобразная справка - оглавление, с помощью которой можно быстро отыскать требуемую информацию в прилагаемой проектной документации. В состав общих данных включают ведомости рабочих чертежей основного комплекта, ведомости ссылочных материалов, условные обозначения и изображения, общие указания и т.д.

В ведомости ссылочных и прилагаемых документов перечисляются стандарты и другие нормативные документы на конструкции, изделия и узлы; чертежи на конструкции, изделия и узлы (типовые, повторного применения или индивидуально разработанные для данного проекта), а также различные документы, использованные в рабочих чертежах.

В комплект прилагаемых документов включаются задания на разработку технологических блоков, специальных технологических трубопроводов, для которых требуются деталировочные чертежи, исходные требования к разработке конструкторской документации на оборудование индивидуального изготовления, чертежи креплений трубопроводов, чертежи конструкций, изделий, узлов и т.д.

Приводятся нестандартизованные условные обозначения и изображения, если они не расшифрованы на других листах основного комплекта чертежей.

Общие указания содержат исходные данные для разработки рабочих чертежей; характеристику трубопроводов; указания о хранении оборудования и элементов, требующих укрытия; технические указания, соблюдение которых обязательно при монтаже оборудования; мероприятия по антикоррозионной защите (при отсутствии соответствующего основного комплекта рабочих чертежей или требуемых данных на чертежах). При необходимости делается запись о результатах проверки на патентоспособность и патентную чистоту впервые примененных или разработанных в проекте технологических процессов, оборудования, приборов, конструкций, материалов и изделий, а также номера авторских свидетельств и заявок на используемые в проекте изобретения.

В состав общих данных рабочих чертежей включают также схему расположения технологических узлов. На схеме указывают: границы и номер каждого технологического узла; вводы и выводы основных трубопроводов с привязкой их к координационным осям зданий (сооружений). Для групповых вводов и выводов привязка выполняется по осям крайних трубопроводов или по осям подводящих эстакад. К схеме прилагается ведомость технологических узлов.

Схема соединений (монтажная). Является ключом к чтению чертежей расположения оборудования и трубопроводов. На схеме указывают оборудование (технологические блоки, машины, аппараты, грузоподъемные средства), трубопроводы и их элементы с отражением последовательности всех отключений, запорную и предохранительную арматуру, регулирующие клапаны и байпасы к ним, расположение спускников, воздушников, точки отбора импульсов и установки первичных приборов контроля и автоматики, конденсатоотводчиков и т.д.

Маркировка оборудования дается в соответствии со спецификацией к чертежам расположения оборудования и трубопроводов. При трех или более одинаковых машинах или аппаратах с аналогичной обвязкой трубопроводами на схеме указывают только одну машину или аппарат с обозначением их количества и последовательность их соединения. Блоки показывают схематично прямоугольниками без детализации содержимого. Для трубопроводов приводятся условные диаметры (*DN*) и материал труб (кроме углеродистых сталей), направление потока продукта (в виде стрелки), наименование этого продукта и его параметры. Для предохранительных клапанов указывается давление настройки.

Схему соединений обычно выполняют плоской с расположением аппаратов «по вертикали». Технологическое оборудование изображается схематически в масштабе, обеспечивающем необходимую ясность чертежа, при этом повысотное расположение оборудования должно соответствовать показанному на чертежах расположения оборудования и трубопроводов. Все трубопроводы изображаются в одну линию в пределах отметок, на которых они находятся в действительности.

Схемы соединений можно выполнять как совмещенными со схемами контроля и автоматики (КиА), так и раздельно. При совмещенном исполнении монтажно-технологической схемы и принципиальной схемы КиА, отделом автоматизации по заданию технологического отдела на схеме условно изображаются все приборы КиА и контуры регулирования, блокировок и связей. На все приборы КиА, указанные на монтажно-технологических схемах, отделом автоматизации присваивается позиция, составляется спецификация и выдается задание монтажному отделу на размещение этих приборов на чертежах расположения трубопроводов (монтажные чертежи).

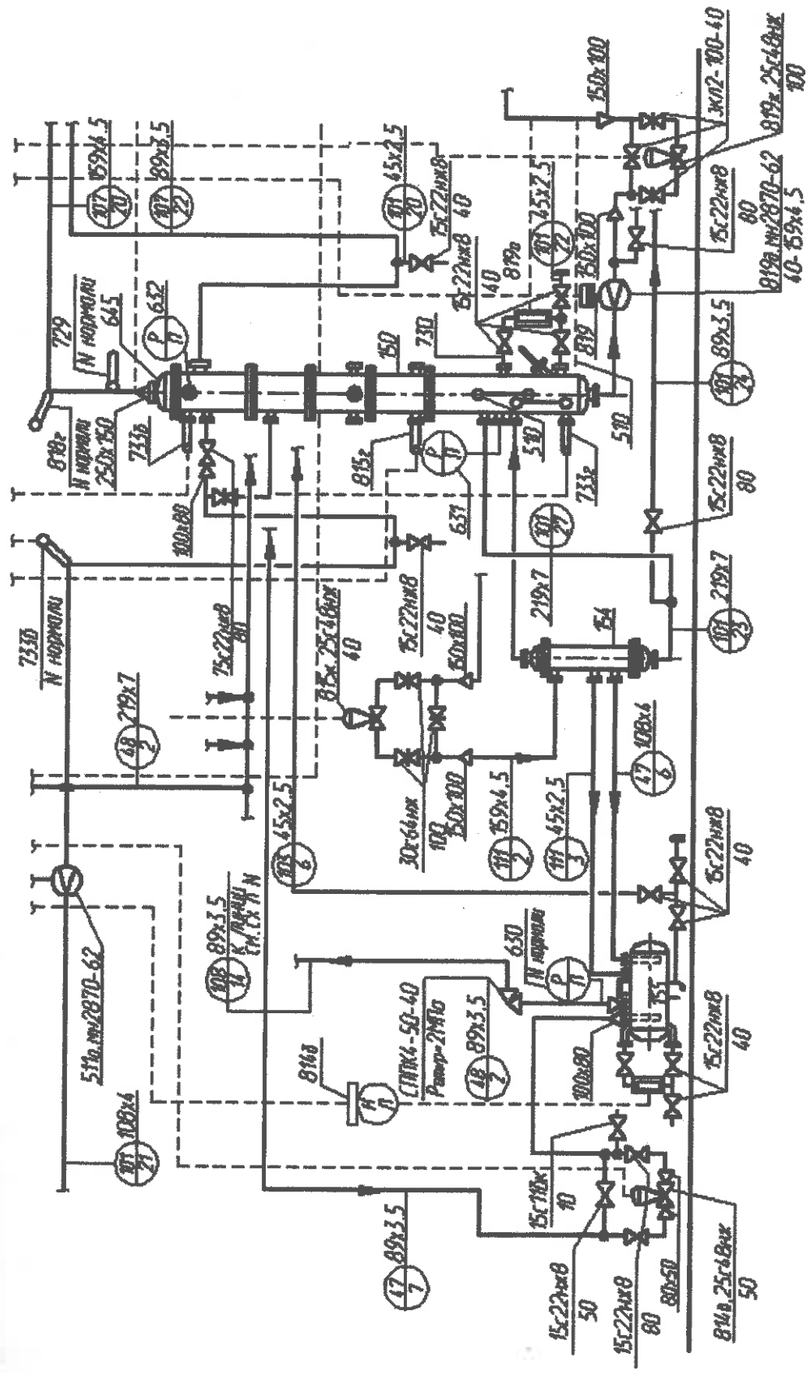


Рис. 10.1. Монтажная схема внутрицеховых соединений

В необходимых случаях для большей наглядности используется условная аксонометрия с изображением отдельных трубопроводных участков под углом 45 град. Независимо от их истинного расположения.

Схема соединений (монтажная), как привило, выполняется параллельно с разработкой чертежей расположения оборудования и трубопроводов. Пример оформления схемы приведен на рис. 10.1

Чертежи расположения оборудования и трубопроводов. Нередко их называют монтажными чертежами. Разработка этих чертежей наиболее трудоемка и по существу определяет продолжительность проектирования того или иного объекта. Разработке и оформлению чертежей расположения оборудования и трубопроводов (далее – чертежей расположения) будет посвящен отдельный параграф. Ниже описывается только их содержимое.

В состав чертежей расположения включают планы, разрезы, сечения, фрагменты планов и разрезов, узлы в количестве, достаточном для подготовки и производства работ на строительстве, монтажа оборудования и трубопроводов, проведения пуско-наладочных работ.

На чертежах расположения указывают оборудование, блоки, трубопроводы и их элементы, опоры трубопроводов и опорные конструкции под них, каналы и лотки для прокладки трубопроводов, места обслуживания оборудования (при необходимости), координационные оси здания (сооружения) и расстояния между ними, отметки полов этажей и основных площадок, места подключения трубопроводов к блокам, машинам и аппаратам, соединения трубопроводов между собой.

Все трубопроводы на чертежах расположения разбиваются на участки. Каждый участок должен быть изготовлен из одного материала и транспортировать вещество с одним давлением и температурой. При определении участка трубопровода в его границах для одного условного прохода должна быть обеспечена идентичность марок арматуры, фланцев, отводов, тройников, переходов. Оборудование и участки трубопроводов маркируют позиционным или буквенно-цифровым обозначением.

На чертежах расположения указываются допустимые монтажные нагрузки на крановые пути и монорельсы, а также на перекрытия и строительные конструкции, которые могут быть использованы для монтажа оборудования.

К чертежам расположения выполняют спецификацию на оборудование и участки трубопроводов. Состав участков расшифровывают в ведомости трубопроводов.

Примеры оформления чертежей расположения оборудования и трубопроводов приведены на рисунках 10.2 и 10.3.

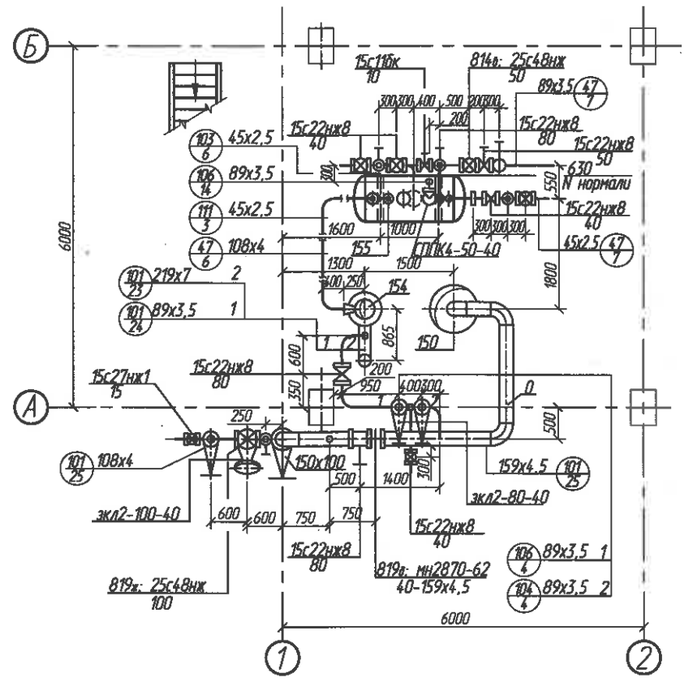


Рис. 10.2. Чертеж расположения оборудования и трубопроводов (план)

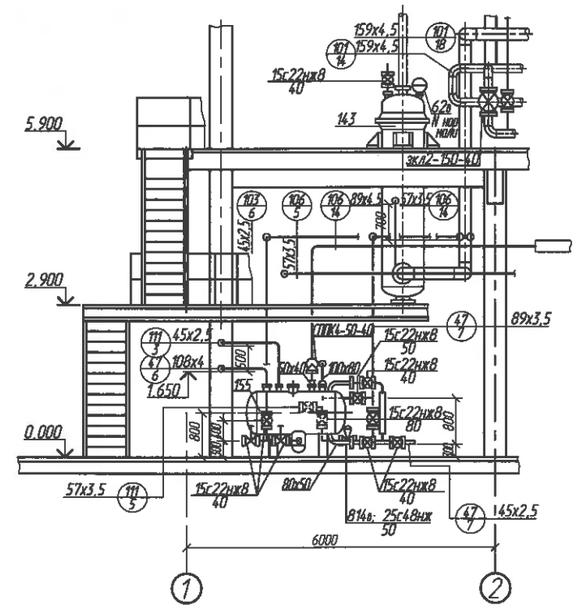


Рис. 10.3. Чертеж расположения оборудования и трубопроводов (разрез)

Ведомость трубопроводов. Составляется по участкам трубопроводов. На каждый участок, обозначенный на чертеже расположения номером позиции, в ведомость записывают все элементы, находящиеся в границах участка: трубы, фасонные детали, арматуру, опоры, фланцы, прокладки и крепежные изделия, первичные приборы и устройства КиА (устанавливаемые на трубопроводах) и т.д. Пример оформления ведомости приведен таблице 10.1.

Таблица 10.1

Ведомость участка трубопровода

Участок трубопровода В4-1	**Расчетные условия**		**Категория трубопровода**	**Давление испытания, *МПа***			**Продолжительность испытания на герметичность, час**	**Указание по изоляции**
				на прочность		**на герметичность**		
	Давление, *МПа*	**Температура, °С**		**вид испытаний**	**давление**	**% падения давления**		
Наименование продукта: Вода оборотная прямая **Начало участка: сеть завода** **Конец участка: коллектор, насос Н-6, бачки Б-1, Б-2**	0.4	28	BV	гидр.	0,5	-	0	Без изоляции

№ п/п	**Наименование**	**Номер чертежа**	**Материал**	**Ед. изм.**	**Кол-во**	**Отбраковочная толщина, *мм***	**Примечание**
1	Трубы бесшовные 18х3 ГОСТ 8734-75* ГОСТ 8733-74* гр.В		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*м*	5	1	
2	Трубы бесшовные 32х3 ГОСТ 8734-75* ГОСТ 8733-74* гр.В		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*м*	2.5	1.5	
3	Трубы бесшовные 89х5 ГОСТ 8732-78* ГОСТ 8731-74* гр.В		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*м*	12	2	
4	Отводы крутоизогнутые типа 3D П45-89х5 ГОСТ 17375-2001 ГОСТ 17380-2001		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	2	2	
5	Отводы крутоизогнутые типа 3D П90-89х5 ГОСТ 17375-2001 ГОСТ 17380-2001		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	1	2	
6	Задвижки клиновые с выдвижным шпинделем сальниковые муфтовые 31лс77нж *DN*=15*мм*, *PN*=16.0 *МПа*		сталь углеродистая	*шт*	8		

7	Штуцера с конической резьбой 1шк 1/2"-18 Т-ММ-02-88-1 *DN*=15*мм*, *PN*=16.0 *МПа*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	12		
8	Штуцера с конической резьбой 2шк 1/2"-18 Т-ММ-02-88-2 *DN*=15*мм*, *PN*=16.0 *МПа*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	4		
9	Фланцы плоские приварные 1-15-10 ГОСТ 12820-80* *DN=15мм*, *PN*=1.0 *МПа* ГОСТ 12816-80*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	8		
10	Прокладки плоские эластичные А-15-10 ГОСТ 15180-86 *DN*=15*мм*, *PN*=1.0 *МПа*		Паронит ПОН ГОСТ 481-80*	*шт*	4		
11	Болты М12х45.35 ОСТ 26-2037-96 ОСТ 26-2043-96		сталь 35 ГОСТ 1050-88*	*шт*	16		
12	Гайки М12.25 ОСТ 26-2041-96 ОСТ 26-2043-96		сталь 25 ГОСТ 1050-88*	*шт*	16		
13	Задвижки клиновые с выдвижным шпинделем сальниковые муфтовые 31лс77нж *DN*=25*мм*, *PN*=1,6 *МПа*		сталь углеродистая	*шт*	5		
14	Штуцера с конической резьбой 2шк1"-32 Т-ММ-02-88-2 *DN*=25*мм*, *PN*=16.0 *МПа*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	1		
15	Штуцера с конической резьбой 1шк1"-32 Т-ММ-02-88-1 *DN*=25*мм*, *PN*=16.0 *МПа*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	9		
16	Фланцы плоские приварные 1-25-10 ГОСТ 12820-80* *DN*=25*мм*, PN=1.0 *МПа* ГОСТ 12816-80*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	2		
17	Прокладки плоские эластичные А-25-10 ГОСТ 15180-86 *DN*=25*мм*, *PN*=1.0 *МПа*		Паронит ПОН ГОСТ 481-80*	*шт*	1		
18	Болты М12х50.35 ОСТ 26-2037-96 ОСТ 26-2043-96		сталь 35 ГОСТ 1050-88*	*шт*	4		
19	Гайки М12.25 ОСТ 26-2041-96 ОСТ 26-2043-96		сталь 25 ГОСТ 1050-88*	*шт*	4		
20	Узлы для присоединения шлангов В(II)-6,3-25-36-У Т-ММ-10/2-88-3 *DN*=25*мм*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	2		
21	Рукава напорные В(II)-6,3-25-36-У ГОСТ 18698-79* *DN*=25*мм*, *PN*=0.63 *МПа*		х/б ткань для резинотканевых рукавов ГОСТ 9857-91	*м*	30		
22	Задвижки клиновые с выдвижным шпинделем фланцевые 30с41нж *DN*=80*мм*, *PN* =1.6 *МПа*		сталь углеродистая	*шт*	1		

23	Фланцы плоские приварные 1-80-6 ГОСТ 12820-80* *DN* =80*мм*, *PN* = 0.6 *МПа* ГОСТ 12816-80*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	1		
24	Заглушки фланцевые 1-80-0.6 АТК 24.200.02-90 *DN*=80*мм*, *PN* =0.6 *МПа*		сталь 20 ГОСТ 1050-88*	*шт*	1		
25	Прокладки плоские эластичные А-80-6,3 ГОСТ 15180-86 *DN* =80*мм*, *PN* =0.63 *МПа*		Паронит ПОН ГОСТ 481-80*	*шт*	1		

При большом количестве трубопроводов ведомость может выполняться в виде отдельного документа, включаемого в раздел общих данных по рабочим чертежам «Прилагаемые документы».

Таким образом, в ведомости трубопроводов содержатся данные, которые не могут быть отражены ни на схеме соединений, ни на чертежах расположения. Она является тем документом, на основании которого составляются все спецификации для заказа труб, трубопроводных деталей и арматуры, т.е. заказная документация.

Задание на разработку технологического блока. В технологические блоки включают машины, аппараты, первичные средства контроля и управления, трубопроводы, опорные и обслуживающие конструкции. Блоки, как правило, формируют для осуществления теплообменных, массообменных, гидродинамических, химических и биологических процессов. Номенклатура блоков, включаемых в проект, устанавливается ведомственными нормативными документами, согласованными с организациями, ведущими монтажные работы на строительстве. Каждое задание должно содержать чертеж блока и ведомость трубопроводов в составе блока.

Чертежи блоков выполняют одним из двух вариантов:

- из отдельных машин, аппаратов, трубопроводов и металлоконструкций;

- из примененных или вновь разработанных узлов (блоки I группы сложности, узлы регулирующих клапанов, конденсатоотводчики и т.д.).

По первому варианту разрабатываются блоки однотипного оборудования (I группы сложности), другие виды блоков, которые транспортируются на площадку строительства одним поставочным узлом или с малогабаритным основным аппаратом, а также в случаях, когда в блок входит один насос, одна емкость или теплообменник без арматуры или с несложной обвязкой. По второму варианту разрабатывают все остальные блоки II и III групп сложности.

Задание на разработку блока представляет собой практически весь описанный выше комплект рабочих чертежей в миниатюре: схему соединений (монтажную) блока, чертежи расположения оборудования и трубопроводов, спецификации оборудования и характеристику трубопроводов в границах блока и т.д. - т.е. все данные необходимые для разработки деталированных чертежей трубопроводов и опорных конструкций, а также сборки блока.

10.2 Деталировочные чертежи трубопроводов

На чертежах расположения оборудования и трубопроводов указывают только основные размеры и привязки, необходимые для производства строительно - монтажных работ.

Однако для изготовления трубопроводов эти чертежи непригодны, т.к. в них отсутствуют размеры заготовок, места расположения сварных швов и т.п. Следует еще раз подчеркнуть, что «россыпью» (т.е. в виде труб, отдельных деталей и арматуры) на стройплощадку поставляются только изделия для трубопроводов малого диаметра из углеродистых сталей. В остальных случаях как правило используют готовые элементы - узлы заводского изготовления: блоки и плети (трубы с приваренными фланцами, отводами, тройниками т.д.). Кроме того, для трубопроводов из материалов, не допускающих обрезки и сварки по месту (стекло, металлические трубы, защищенные изнутри неметаллическими материалами и др.) требуются точные сборочные чертежи.

Чертежи, предназначенные для изготовления трубопроводов, называются деталировочными чертежами трубопроводов. Исходными данными для выполнения таких чертежей являются чертежи расположения оборудования и трубопроводов, ведомости трубопроводов и другие материалы основного комплекта рабочих чертежей. Разработка деталировочных чертежей происходит так.

Опытный проектировщик-монтажник («выборщик»), используя исходные данные, разбивает трубопроводы на отдельные небольшие участки, и эскизы каждого участка, выполненные в аксонометрии, передает сотрудникам для доводки и оформления.

Чертежи разрабатываются в виде аксонометрической схемы без масштаба на каждую линию трубопровода $DN \geq 50$ *мм* в пределах технологической установки, цеха и т.п. Деталировочные чертежи содержат: монтажно-сборочную схему линии; спецификацию материалов и изделий (к каждому чертежу); номера чертежей исходной документации; наименование и номер продукта, его рабочие параметры, условия испытаний и т.п.

При этом применяются два варианта оформления монтажно-сборочных схем. По первому варианту дается разбивка на элементы трубопроводов (рис. 10.4 и табл. 10.2). Такая система оформления исключает необходимость вычерчивать дополнительные эскизы элементов при их изготовлении в трубозаготовительных цехах. Спецификация к схеме содержит шифры элементов и их размеры, данные по комплектованию линии арматурой, деталями, крепежом и т.д. (таблица 10.1).

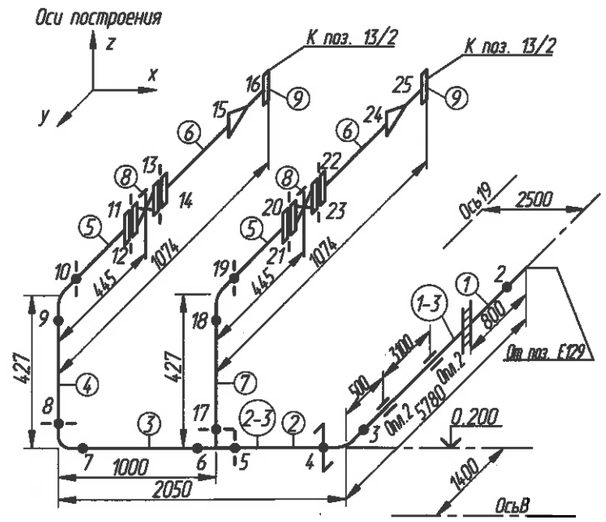


Рис. 10.4. Монтажно – сборочная схема деталировочного чертежа трубопровода с разбивкой на элементы

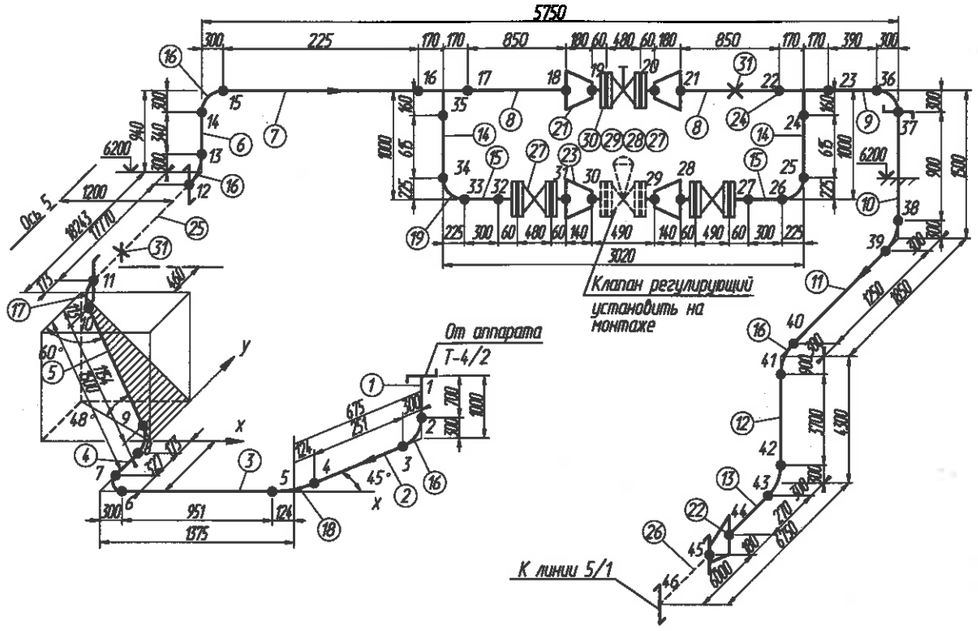


Рис. 10.5. Монтажно – сборочная схема деталировочного чертежа трубопровода с разбивкой на элементы

По второму варианту на монтажно-сборочной схеме дается цепочка размеров всех патрубков, деталей трубопроводов и арматуры (рис. 10.5), а в спецификации - перечень всех патрубков с указанием их длины.

Таблица 10.2

Условные обозначения элементов трубопроводов в деталировочных чертежах

Чертеж элемента	Шифр элемента	Чертеж элемента	Шифр элемента
1800	1800Г90Ф10	3500	3500Ф10
2300	2300ПЭ89	1450	1450Ф840Вс
1200	1200Г90П57	1450	1450Д
1450	1450Г90Г90	1000	1000Ф10П57

При разбивке в деталировочных чертежах линий трубопроводов на узлы монтажные стыки следует указывать по фланцевым соединениям или сварным стыкам, исходя из условий монтажа. Размеры узлов выбирают в зависимости от условий их транспортировки и монтажа: при размещении трубопроводов внутри зданий и сооружений - 1,5 х 1,5 х 6,0 метров, при размещении трубопроводов на открытых площадках - 1,5 х 2,0 х 6,0 метров (объемные элементы), 2,5 х 10,0 метров, а иногда 4,0 х 9,0 метров (плоские элементы). Длинные прямые участки (10 метров и более) в деталировочных чертежах на узлы не разбивают и не маркируют; суммарные длины труб по диаметрам указывают в спецификации, там же проставляют их общую массу. В составе любого проекта различают технологические и специальные трубопроводы. К технологическим трубопроводам относятся трубопроводы для транспортирования различных веществ, необходимых для ведения технологического процесса или эксплуатации оборудования. К специальным трубопроводам относятся стальные трубопроводы с внутренними (или наружными) покрытиями, стальные трубопроводы высокого давления (10 *МПа* и более), трубопроводы из неметаллических материалов на разъемных соединениях.

Деталировочные чертежи стальных технологических трубопроводов изготавливаются проектными организациями (в том числе и специализированными) и передаются затем на промплощадку и заводы - изготовители.

10.3 Разработка и оформление чертежей расположения оборудования и трубопроводов

К началу разработки чертежей расположения оборудования и трубопроводов обычно уже известны местоположение цеха на генеральном плане завода и расположение основного оборудования в цехе. Исходными данными для разработки чертежей являются:

- технологическая схема производства;
- общие виды и установочные чертежи аппаратов и машин;
- чертежи расположения оборудования цеха в плане и по высоте:
- часть генерального плана (выкопировка) с расположением проектируемого цеха и направлениями общезаводских трубопроводных сетей и эстакад;
- номенклатурные перечни на применение труб, трубопроводных деталей и арматуры (классы или миникаталоги), чертежи арматуры, сортаменты труб и изделий.

Работа начинается с монтажной проработки - разработки чертежей коммуникаций и трубопроводной обвязки оборудования проектируемого производства. Эти чертежи вычерчиваются в плане или при необходимости в ортогональных проекциях и являются промежуточным материалом, который затем используется при выполнении чертежей расположения оборудования и трубопроводов.

В процессе монтажной проработки выполняются следующие работы: трассировка основных технологических коммуникаций, локальная обвязка каждой единицы оборудования, выделение оборудования в технологические блоки, а трубопроводов коммуникаций – в минимальное количество блоков коммуникаций. Определяются границы блоков; разрабатываются мероприятия по борьбе с замерзанием транспортируемых жидкостей, вибрацией и температурной деформацией трубопроводов; обеспечиваются условия удобной эксплуатации и ремонта трубопроводов и арматуры. Общие принципы трассировки и локальной обвязки трубопроводов были рассмотрены ранее.

Все трубопроводы показываются в плане на различных отметках, при этом для первых двух-трех этажей нередко приходится делать по два плана (например, нижний и верхний план на отметке ± 0.00 *м*). Иначе чертежи получаются настолько насыщенными, что их трудно читать. Деление планов на верхние и нижние весьма условно, и определение их границ зависит от конкретных особенностей расположения аппаратов и трубопроводов на данной отметке.

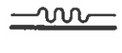
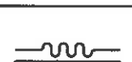
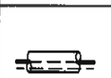
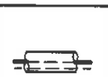
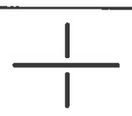
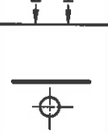
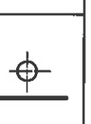
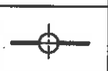
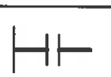
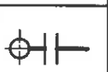
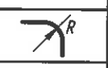
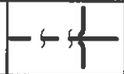
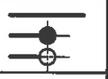
Количество разрезов должно быть минимальным и вместе с тем достаточным для того, чтобы каждый аппарат, по меньшей мере, один раз попал в разрез.

Обычно чертежи расположения выполняются в следующем порядке:

а) тонкими линиями вычерчиваются заготовки планов и разрезов - изображений с архитектурно-строительных чертежей в масштабе, принятом для выполнения монтажных чертежей.

Таблица 10.3

Условные обозначения на чертежах

Наименование	На технологических схемах	На монтажных чертежах		
		в плане	сбоку	с торца
Трубопровод				
Трубопровод с изоляцией				
Трубопровод со спутником и изоляцией				
Трубопровод в рубашке				
Перекрещивание труб без соединения				
Соединения труб				
Ответвление труб				
Фланцевые соединения				
Отвод				
Групповая прокладка труб				
Заглушка плоская приварная				
Заглушка фланцевая				

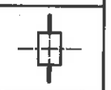
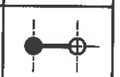
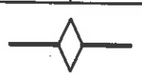
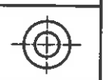
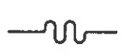
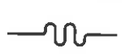
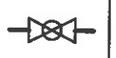
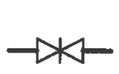
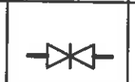
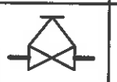
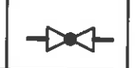
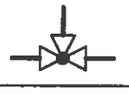
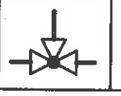
На этих заготовках показываются все элементы, которые могут каким-либо образом повлиять на прокладку труб: ригели, балки, ребра плит, связи, фундаменты под колонны строительного каркаса и т.п.

б) на заготовках планов изображаются сечения стояков, а на заготовках разрезов - сечения коллекторов;

в) вычерчиваются проекции аппаратов и машин со всеми присоединительными штуцерами, при этом показываются контуры фундаментов, на которых они установлены;

Таблица 10.3 (продолжение)

Условные обозначения на чертежах

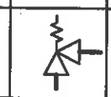
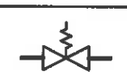
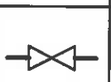
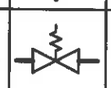
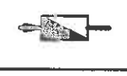
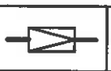
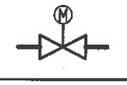
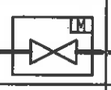
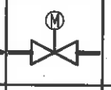
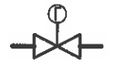
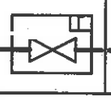
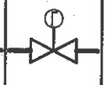
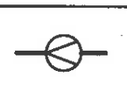
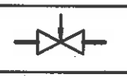
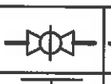
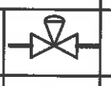
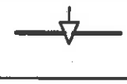
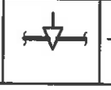
Наименование	На технологических схемах	На монтажных чертежах		
		в плане	сбоку	с торца
Смотровой фонарь проходной				
Смотровой фонарь угловой				
Компенсатор П-образный				
Компенсатор линзовый				
Компенсатор сальниковый				
Компенсатор волнистый				
Шланг гибкий				
Опора				
Клапан				
Клапан угловой				
Задвижка				
Кран				
Кран трехходовой				

г) с чертежей монтажной проработки переносятся все обвязочные трубопроводы и трубопроводы коммуникаций. Порядок вычерчивания обратный, т.е. вначале вычерчива-

ют локальную обвязку, а потом коммуникации. Такой прием помогает проверить правильность монтажной проработки.

Таблица 10.3 (продолжение)

Условные обозначения на чертежах

Наименование	На технологических схемах	На монтажных чертежах		
		в плане	сбоку	с торца
Клапан угловой предохранительный пружинный				
Клапан проходной предохранительный пружинный				
Клапан обратный				
Обратный клапан-захлопка				
Клапан дроссельный				
Клапан редукционный				
Задвижка с электроприводом				
Задвижка с гидроприводом				
Клапан с гидроприводом				
Клапан регулирующий				
Пробковый кран				

Чертежи расположения оборудования и трубопроводов выполняют в соответствии с монтажной схемой соединений с использованием общепринятых условных обозначений, приведенных в таблице 10.3

Связь между схемой и чертежами расположения оборудования и трубопроводов осуществляется путем маркировки трубопроводных участков и технологического оборудования с помощью буквенных, буквенно-цифровых и цифровых обозначений.

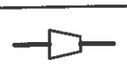
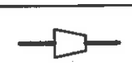
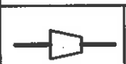
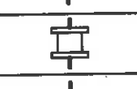
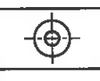
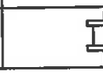
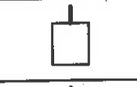
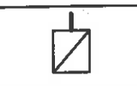
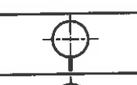
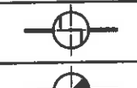
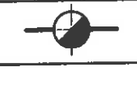
Эти обозначения помещают:

- для блоков - в контуре прямоугольника, означающего границы блока;

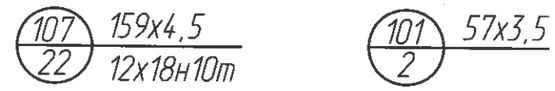
- для участков трубопроводов - на полках-выносках или над линией трубопровода;
- для точек присоединения трубопроводов - в контуре прямоугольника;
- для позиций оборудования по спецификации - на полках-выносках.

Таблица 10.3 (продолжение)

Условные обозначения на чертежах

Наименование	На технологических схемах	На монтажных чертежах		
		в плане	сбоку	с торца
Заглушка эллиптическая				
Переход концентрический				
Переход эксцентрический				
Бобышка прямая				
Бобышка скошенная				
Гидравлический затвор				
Сливная воронка				
Огнепреградитель				
Всасывающая сетка без клапана				
Всасывающая сетка с клапаном				
Маслоотделитель				
Фильтр				
Конденсатоотводчик				

Маркировка трубопроводных участков состоит из набора цифр и букв, означающих: номер продукта, транспортируемого по трубопроводу; номер участка; типоразмер $D_н$ x s (или условный диаметр), материал (для углеродистых сталей материал не указывается). Примеры маркировки приведены на рисунке 10.6.



а *б*

Рис. 10.6. Примеры маркировки трубопроводных линий

Маркировка на рисунке 10.6, *а* расшифровывается так: участок трубопровода 22, транспортирующий 107-й продукт, имеет наружный диаметр 159 *мм*, толщину стенки 4,5 *мм*, материал участка сталь 12Х18Н10Т. На рисунке 10.6, *б* приведена маркировка трубопровода из углеродистой стали: участок 2 транспортирует 101-й, продукт, с наружным диаметр 57 *мм* и толщиной стенки 3,5 *мм*.

Практикуются и другие способы маркировки, когда помимо номера участка и продукта дополнительно указывается номер технологического узла, типоразмер $D_н$ x s – заменяется условным диаметром *DN* , а вместо марки материала используется его сокращенное название (конкретная марка указывается в спецификации на линию). Например, 4.61.3 *DN* 150нж - участок трубопровода номер 3, принадлежащий к 4-му технологическому узлу, транспортирующий 61-й продукт, условный диаметр участка 150*мм*, материал - нержавеющая сталь. При маркировке, выполняемой не на полках-выносках, а непосредственно на трубопроводе, буквы, означающие условный диаметр, могут опускаться. Надпись тогда выполняется в виде дроби: 4.61.3 1/150.

Марки трубопроводной арматуры проставляются в соответствии с каталожным обозначением. Если арматура не имеет каталожного шифра, то на чертежах проставляется номер ее чертежа или принятое для нее в проекте условное обозначение, которое расшифровывается в общих данных или в схеме соединений (монтажной). В случае установки на линии единичной или повторяющейся арматуры одной марки, марку арматуры и ее материал допускается не указывать. В этом случае расшифровку производят по ведомости трубопроводов.

Для предохранительных клапанов маркировка содержит каталожную марку и давление начала открытия клапана ($P_{отк}$); для предохранительных клапанов, работающих со сбросом в закрытую систему или на факел, кроме того, указывается давление настройки ($P_н$). Например: 17с21нж, $P_{откр} = 3{,}2$ *МПа*.

Номера позиций приборов контроля и автоматики указываются в соответствии с проектом КиА. В спецификации для регулирующего клапана указывается марка по каталогу и условный диаметр, то же - для измерительной диафрагмы.

Переходы маркируются дробью, в которой числитель и знаменатель - суть условные диаметры в начале и конце перехода (например, 50/25). Маркировку креплений трубопроводов следует производить следующим образом:

- стандартизованных опор и подвесок - условным обозначением по стандарту;

- нестандартизованных - буквенным индексом и порядковым номером по данному проекту (например, К-10);

- опорных конструкций для трубопроводов - индексом КО и порядковым номером по данному проекту (например, КО-16).

Технологические аппараты маркируются номерами в соответствии с технологической схемой.

Показывают места всех креплений трубопроводов (преимущественно на планах), величину и направление уклонов, величины предварительной растяжки (сжатия) компенсаторов, направления потока на вводах, выводах и разветвлениях, а также номера чертежей, на которых линия трубопровода имеет продолжение.

Особое внимание уделяется простановке размеров. На монтажных чертежах в обязательном порядке даются:

а) привязки оборудования и трубопроводов к координационным осям зданий (сооружений) или к элементам строительных конструкций. Допускается взаимная привязка оборудования и трубопроводов;

б) привязки в планах и разрезах, определяющая расположение арматуры в пространстве. При группировке арматуры в отдельные узлы, собираемые из стандартизованных деталей без прямых участков, допускается указание одного из размеров, определяющих положение узла. Если в узле применено изделие не по каталогу, указывают его строительную длину и высоту;

в) привязки, определяющие места установки приборов контроля и автоматики непосредственно на трубопроводах, места врезки деталей для подключения импульсных линий КиА;

г) привязки мест установки креплений;

д) высотные отметки, вылеты и углы поворотов штуцеров аппаратов и машин с *DN* >50 *мм*. Эти данные указывают в соответствии с рабочими чертежами аппаратов и машин; в отсутствие таковых - по заданиям на их разработку (в последнем случае размеры предварительные, о чем делается соответствующее примечание). При отсутствии данных о вылетах и углах поворота штуцеров на чертеже даются соответствующие примечания.

На планах чертежей расположения оборудования и трубопроводов в местах маркировки линий разрезов должны быть указаны номера листов с чертежами разрезов.

Блоки на чертежах расположения должны идти в последовательности, указанной на схеме соединений, и примыкать друг к другу боковыми сторонами прямоугольников без интервала. В контуре каждого блока приводятся: буквенное обозначение блока; точки соединения трубопроводов по граням рядом расположенных блоков; обозначение основного аппарата и других составных частей, если они приведены на чертеже расположения; упрощенное изображение основного аппарата с указанием координат его главных осей.

В контуре блока на разрезах обозначаются места подключения с указанием высотных отметок, а также марки блоков, попадающих в разрез.

10.4 Стадии и этапы проектирования

При разработке проектно-сметной документации сложных объектов, к которым относится большинство химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, в зависимости от специфики поставленных задач разрабатываемые проекты можно разделить на два основных вида:

- проекты нового строительства;
- проекты реконструкции, расширения, технического перевооружения, модернизации.

До последнего времени выполнение каждого вида проекта делилось на четкие стадии, что имело свои положительные и отрицательные стороны. С одной стороны, обеспечивался достаточно высокий уровень выполнения каждой стадии, с другой - обязательность прохождения стадий со всеми утверждениями и согласованиями сильно затягивала сроки проектирования. В настоящее время действует новое «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (2008 г.), в котором не предусматривается стадийность проектирования, а вводятся понятия "проектная документация" и "рабочая документация".

Основным этапом разработки проектно-сметной документации является разработка «проектной документации», состоящей из текстовой и графической частей.

Текстовая часть содержит сведения в отношении объекта капитального строительства, описание принятых технических и иных решений, пояснения, ссылки на нормативные и (или) технические документы, используемые при подготовке проектной документации и результаты расчетов, обосновывающие принятые решения.

Графическая часть отображает принятые технические и иные решения и выполняется в виде чертежей, схем, планов и других документов в графической форме. Подготовка проектной документации должна осуществляться в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне.

«Проектная документация» направляется заказчиком на государственную экспертизу и, при наличии положительного заключения государственной экспертизы, утверждается им.

Объем «проектной документации», как правило, недостаточен для строительства объекта: в ней отсутствуют необходимые спецификации и требуемая степень детализации. «Проектная документация» содержит только основные технические решения, позволяющие оценить их безопасность, а также доказать техническую возможность (а в некоторых случаях - и экономическую целесообразность) реализации инвестиционного проекта.

Для реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений, заложенных в «проектной документации», разрабатывается «рабочая документация», состоящая из текстовых документов, рабочих чертежей и спецификаций оборудования и изделий. Поскольку единого документа, регламентирующего состав и содержание рабочей документации, не существует, при ее разработке руководствуются соответствующими стандартами СПДС. Объем, состав и содержание «рабочей документации» должны определяться заказчиком в зависимости от степени детализации решений, содержащихся в проектной документации, и указываться в задании на проектирование.

В связи с тем, что в «Положении» отсутствует требование разработки «рабочей документации» только после «проектной документации», этапы «проектная документация» и «рабочая документация» могут выполняться параллельно, но всё же разработка «рабочей документации» не может предшествовать разработке «проектной документации».

Отсюда можно дать следующие пояснения относительно стадийности проектирования. Раньше документ, разрабатываемый при одностадийном проектировании, именовался «рабочий проект» (РП) и состоял из утверждаемой части рабочего проекта и рабочей документации. Теперь эти две составляющие рабочего проекта соответствуют понятиям «проектная документация» и «рабочая документация», а одностадийное проектирование осуществляется при параллельной разработке «проектной документации» и «рабочей документации».

Двухстадийное проектирование осуществляется при последовательной разработке «проектной документации» и «рабочей документации». Ранее проектные документы, разрабатываемые при двустадийном проектировании, именовались «проект» или ТЭО (1-я стадия) и «рабочая документация» (2-я стадия). Эти два документа соответствуют принятым в настоящее время понятиям «проектная документация» и «рабочая документация».

Общий состав «проектной документации» регламентирован Градостроительным кодексом РФ и конкретизирован в упомянутом Положении. Согласно этим документам

«проектная документация» на объекты производственного и непроизводственного назначения (кроме линейных объектов) состоит в общем случае из 12 разделов:

- раздел 1 «Пояснительная записка»;
- раздел 2 «Схема планировочной организации земельного участка»;
- раздел 3 «Архитектурные решения»;
- раздел 4 «Конструктивные и объемно-планировочные решения»;
- раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений:
  - подраздел «Система электроснабжения»;
  - подраздел «Система водоснабжения»;
  - подраздел «Система водоотведения»;
  - подраздел «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети»;
  - подраздел «сети связи»;
  - подраздел «система газоснабжения»;
  - подраздел «технологические решения»;
- раздел 6 «Проект организации строительства»;
- раздел 7 «Проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства»;
- раздел 8 «Перечень мероприятий по охране окружающей среды»;
- раздел 9 «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности»;
- раздел 10 «Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов»;
- раздел 11 «Смета на строительство объектов капитального строительства»;
- раздел 12 «Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами».

Состав «рабочей документации» определяется стандартами СПДС и конкретизируется и дополняется указаниями заказчика в задании на проектирование.

В задании на проектирование заказчик передает проектировщику следующие исходные данные:

1) градостроительный план земельного участка;

2) результаты инженерных изысканий (как правило, состоят из результатов инженерно-геодезических изысканий, инженерно-геологических изысканий, инженерно-экологических изысканий);

3) технические условия на подключение к сетям инженерно-технического обеспечения;

4) утверждённое задание на проектирование;

5) утвержденное технологическое задание;

6) исполнительную документацию (для объектов реконструкции);

7) заключение по результатам обследования фундаментов и конструкций (по объектам окружающей застройки в стесненных условиях строительства и по объектам реконструкции);

8) исходные данные и требования по инженерно-техническим мероприятиям гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям.

На стадии «проектная документация» задачей монтажников является точное определение потребных габаритов зданий и сооружений, а также нагрузок от технологического оборудования, трубопроводов, стационарных подъемно-транспортных средств (краны, монорельсы). Для этого нужно более детально проработать компоновку оборудования. Придерживаться компоновки, полученной при разработке предпроектной документации, здесь не обязательно. Монтажную проработку можно начинать «с нуля», но при этом нельзя выходить за ограничения, установленные в предпроектной документации.

Как правило, для компоновки оборудования на стадии «проектная документация» требуется проработать локальные трубопроводные обвязки и трубопроводные коммуникации в объеме готовности чертежей расположения оборудования и трубопроводов примерно на 60%. Поскольку на стадии «проектная документация» выпускаются архитектурно-строительные чертежи (планы и разрезы) с нанесенным на них технологическим оборудованием, работа проектировщиков-монтажников ведется в тесном контакте с проектировщиками других специальностей: строителями, сантехниками, электриками, специалистами по контрольно-измерительным приборам и автоматике и др. Уточняется размещение оборудования на нулевой отметке, перекрытиях этажерок, постаментов и зданий, определяются размеры подсобно-вспомогательных помещений, их взаимное расположение с производственными помещениями, намечаются места прокладки вентиляционных воздуховодов, электрических кабелей, трасс КиА.

Взаимодействие с проектировщиками-смежниками осуществляется путем взаимной выдачи заданий. Проектировщики-монтажники передают смежникам чертежи компоновки оборудования, а специалисты смежных частей проекта разрабатывают и передают монтажникам принципиальные схемы теплоснабжения, водоснабжения, пожаротушения, предварительные планы прокладок электрических кабелей, трасс КиА, сетей водопровода и канализации. Проектировщики строительной специальности по выданной им компоновке разрабатывают и передают монтажникам архитектурно-строительные чертежи зданий и сооружений цеха.

После того как будут выполнены все необходимые монтажные проработки и получены решения смежников по всем инженерным коммуникациям, а также архитектурно-строительные чертежи, проектировщик-монтажник приступает к разработке уточненной компоновки цеха (установки). На данном этапе уточняются, дополняются и по возможности улучшаются ранее принятые компоновочные решения. На уточненную компоновку наносятся все здания, сооружения, оборудование и трубопроводные эстакады, приводятся их привязки к строительным осям.

Рекомендуется следующее распределение базовой цены проектных работ:

- «проектная документация» - 40%;
- «рабочая документация» - 60%.

Общая стоимость разработки проектной и рабочей документации определяется с помощью справочников базовых цен. В зависимости от конструктивных схем объектов строительства и степени проработки проектной и рабочей документации рекомендуемое распределение базовой цены может уточняться по согласованию между исполнителем и заказчиком.

Понятно, что прежде чем начинать полномасштабное проектирование, между проектной организацией и заказчиком должен пройти этап согласования задания, и рассмотрены предварительные проектные решения важнейших узлов. «Положением» эта стадия не оговаривается, но фактически исполнитель должен представить заказчику так называемую «предпроектную документацию», о которой прямо или косвенно говорится в ряде законодательных и иных нормативных актов Российской Федерации.

На стадии «предпроектная документация» ведется монтажная проработка с целью создания предварительной компоновки цеха (установки). Приступая к этой работе, проектировщик-монтажник сначала выделяет оборудование, которое следует устанавливать в отапливаемых зданиях (компрессоры, центрифуги, мешалки и т.п.). Затем определяет оборудование, размещаемое открыто на нулевой отметке, на этажерках и отдельных постаментах (т.е. на повышенных отметках). Для выделенного оборудования определяются приближенные габариты зданий и сооружений. Чаще всего постаменты и этажерки выполняют роль навесов для насосов, располагаемых под ними.

Габариты зданий определяются с учетом вспомогательных помещений: венткамер, электрощитовых и т.п. Остальная часть оборудования, устанавливаемая открыто, группируется по функциональному назначению (теплообменники, емкости), по высотным габаритам (колонны, реакторы) и по другим признакам.

Затем с привлечением соответствующих специалистов определяются приближенные габариты помещений и зданий центральной операторной, трансформаторной подстанции, противопожарной насосной станции и др.

Степень точности предварительной компоновки определяется недопустимостью последующего увеличения размеров территории цеха (установки), числа выбранных зданий, этажерок и постаментов.

Главная цель предпроектной документации - определить целесообразность строительства будущего цеха (производства). Для этого нужно оценить сырьевые, энергетические и материальные затраты на производство готовой продукции, определить ее себестоимость и т.д. Если в результате проработки доказывается целесообразность строительства объекта, предпроектная документация принимается и утверждается Заказчиком, и служит основанием для начала проектирования.

На стадии «рабочая документация» разрабатывается документация, непосредственно предназначенная для строительства. Отправным моментом для проектирования здесь служит объемно-планировочное решение, выполненное на стадии «проектная документация». Проектировщики-монтажники разрабатывают чертежи трубопроводных обвязок оборудования и трубопроводных коммуникаций, выявляют окончательные привязки оборудования, уточняют размещение и привязку трубопроводов, опор под трубопроводы и нагрузок на опоры, определяют размеры площадок для обслуживания оборудования, арматуры и приборов, состав технологических блоков и блоков коммуникаций. Всем смежникам выдаются окончательные задания.

Далее монтажное проектирование протекает параллельно строительному во взаимной увязке с ним. Готовые строительные чертежи проверяются на соответствие выданным заданиям и согласовываются.

Окончательная компоновка цеха (установки) разрабатывается после выдачи всех заданий, когда степень готовности смежных частей проекта достигает 50-60% . После завершения разработки чертежей расположения оборудования и трубопроводов составляются спецификации и ведомости объемов монтажных работ.

Приведенная схема проектирования в известной степени условна и на практике соблюдается далеко не всегда.

Технологические схемы могут постоянно совершенствоваться, а это влечет за собой и изменения в компоновке. Поэтому компоновка на стадии «проектная документация» может претерпеть существенные изменения при переходе к стадии «рабочей документации».

В процессе строительства в чертежи расположения приходится также вносить изменения в связи с заменой оборудования, материалов и рядом других причин.

Проектирование в одну стадию практикуется для хорошо изученных технологических процессов или для сравнительно простых объектов, не сильно насыщенных трубопроводами. Если же стадия «проектная документация» была выполнена ранее, и требует существенной корректировки, то разработку монтажных чертежей приходится начинать сначала, а не со степени их готовности на 50-60%, как это указывалось выше. Иногда эти работы приходится выделять в отдельную стадию, именуемую корректировкой проекта.

11 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНТАЖНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

11.1 Трехмерные компьютерные системы проектирования промышленных установок

Монтажное проектирование является достаточно трудоемким процессом. Наряду с творческими процедурами, связанными с компоновкой оборудования и конструированием трубопроводов в ограниченном пространстве проектируемого объекта, оно содержит значительный объем рутинных операций (чертежно-графические работы, выдача заданий проектировщикам смежных специальностей, составление спецификаций, и т.п.). В процессе монтажного проектирования перерабатывается огромный объем информации. Поэтому здесь сложно обойтись без ошибок – накладок и нестыковок, нередко выявляемых уже на строительной площадке.

Внедрение компьютерных технологий позволяет в значительной мере облегчить труд проектировщика – монтажника, давая ему реальную возможность сосредоточиться на творческой стороне процесса проектирования и сократить до минимума рутинные операции.

Графические возможности современных персональных компьютеров таковы, что можно создавать виртуальные макеты промышленных установок в трехмерном пространстве (так называемые 3D модели) с высокой степенью детализации трубопроводных трасс. Поскольку эти модели являются цифровыми, становится практически реальной последующая автоматическая генерация планов, разрезов, деталировочных чертежей трубопроводных линий («изометричек») со всеми необходимыми ведомостями и спецификациями (текстовые документы).

Современные трехмерные системы проектирования промышленных установок (в дальнейшем называемые сокращенно «3D системы») позволяют:

1. Организовать коллективную работу над проектом проектировщиков различных специальностей и даже различных компаний. 3D система, как правило, предоставляет для организации такой работы широкий набор инструментов, в частности:

- возможность одновременной работы специалистов с 3D моделью и базой данных проекта (в дальнейшем БД) с управлением доступом отдельных специалистов и групп к тем или иным частям и разделам проекта;
- работу на основе единых каталогов и классов («миникатологов»); своевременную передачу данных (в том числе и изменений) между участниками проекта;
- возможность удаленной и географически распределенной работы над проектом;
- и многое другое.

Все это позволяет улучшить организацию разработки проекта и, как следствие, повысить качество проекта и сократить сроки его выполнения.

2. Повысить качество выпускаемых проектов за счет следующих факторов.

- Обнаружение коллизий на стадии проектирования. Предусмотренные в 3D системе инструменты позволяют в процессе проектирования обнаружить и устранить недопустимые пересечения и сближения различных элементов проекта (оборудования, трубопроводов, строительных конструкций и др.). Это позволяет резко уменьшить количество подобных ошибок и тем самым снизить затраты на их последующее устранение в процессе строительства.
- Выпуск взаимно согласованной монтажной документации. Технология работы с 3D системой предполагает автоматическую или полуавтоматическую генерацию проектных документов (планов и разрезов, деталировочных чертежей трубопроводов, заказной спецификации, ведомости трубопроводов, других графических и текстовых документов) на основе единых трехмерной модели и информационной БД проекта. Тем самым все документы, сгенерированные из одного и того же варианта 3D модели и БД проекта, будут согласованы между собой. При этом 3D система может сама сравнивать время внесения соответствующих изменений в 3D модель и БД проекта со временем генерации выходной документации и указывать, какие именно выходные документы надо заменить (перегенерировать).
- Обеспечение соответствия монтажной документации монтажно-технологической схеме. 3D система, как правило, содержит инструменты, позволяющие сопоставить монтажно-технологическую схему и 3D модель установки и выявить несоответствия.
- Уменьшение количества проектных ошибок за счет выполнения программным обеспечением встроенных функций контроля. 3D система предусматривает различные виды проверок трехмерной модели, как в процессе ее построения, так и в законченном варианте компоновки. Проверяется наличие недопустимых перекосов и зазоров, соответствие стыкуемых элементов по способу соединения (например, соответствие соединительных поверхностей фланцев).

- Многовариантное проектирование, выбор оптимальных вариантов. Экономия времени на рутинных проектных операциях позволяет проектировщику больше внимания уделять творческой работе, вырабатывая наиболее эффективные и экономичные решения.

3. Сократить сроки выполнения проектов за счет нижеприведенных факторов.

- Быстрое выполнение рутинных операций. 3D система обеспечивает автоматизацию ряда рутинных технических операций – от поиска трассы трубопровода и выбора его элементов из класса (миникаталога) до автоматической генерации изометрических чертежей.
- Быстрое внесение изменений. Необходимые изменения вносятся только в единую трехмерную модель и БД проекта. После внесения изменений последние автоматически попадают в проектную документацию при ее генерации из трехмерной модели. При этом 3D система обычно поддерживает различные «умные» инструменты редактирования, обеспечивающие сохранение целостности модели и упрощающие внесение изменений. Например, при перемещении оборудования 3D система может самостоятельно менять трассу примыкающих трубопроводов, со всеми их элементами, включая арматуру.
- Использование проектов - аналогов. Благодаря простоте внесения изменений 3D система существенно упрощает проектирование не с нуля, а на основе готового прототипа проекта или его аналога.

4. Улучшить взаимодействие с заказчиком.

- Доступ заказчика к трехмерной модели и проектной информации на разных стадиях готовности проекта. 3D система позволяет обеспечить доступ заказчика ко всей информации по проекту, а также наглядную демонстрацию трехмерной модели заказчику, в том числе с использованием удаленного доступа. Это позволяет ускорить взаимодействие с заказчиком и лучше понять его потребности в процессе проектирования.
- Передача заказчику 3D модели и БД проекта. Созданные в процессе работы над проектом электронная 3D модель и базы данных (БД) проекта имеют самостоятельную ценность и могут быть переданы заказчику для использования, как в процессе строительства, так и в ходе эксплуатации (обслуживания и ремонта) установки.

Таким образом, использование современных 3D систем может дать проектной организации значительные конкурентные преимущества. При этом нужно иметь в виду, что такие преимущества не возникают сами по себе, они требуют изменения организации процесса проектирования. 3D система является инструментом коллективной разработки проекта и предполагает соответствующий уровень корпоративной культуры проектирова-

ния. Внедрение 3D системы невозможно без активной технической и информационной поддержки, в том числе без создания и ведения базы данных, создания и классов (миникаталогов) соответствующими подразделениями (отделом САПР, техническим отделом, отделом оборудования), а также работы по внутрифирменной стандартизации (разработки стандартов оформления документации и шаблонов). Без такой организации работы попытки внедрения 3D системы, как правило, заканчиваются ничем и приводят только к непроизводительным затратам.

11.2 Основные принципы проектирования с использованием 3D систем.

Хотя суть решаемых проектных задач при использовании 3D систем не меняется, их применение значительно меняет сам процесс проектирования. Характер процесса проектирования с использованием 3D систем показан на рисунке 11.1.

Проектирование с использованием 3D систем строится на основе следующих принципов:

- проектирование посредством моделирования;
- моделирование с использованием «умных» объектов;
- организация сквозного потока инженерной информации.

Проектирование посредством моделирования означает, что при работе с современными 3D системами проектировщик строит соответствующие компьютерные модели, из которых система автоматически (либо полуавтоматически) генерирует необходимые выходные графические и текстовые документы. Основная часть творческой работы в 3D системе ведется путем создания и редактирования интегрированной 3D модели установки, которая включает все части проекта – оборудование и трубопроводы, опоры трубопроводов, строительные конструкции, кабельные короба и оборудование систем контроля и автоматики (КиА), электроснабжения, трубопроводы систем отопления и вентиляции (ОВ).

Тем самым трехмерная модель получается в результате совместной работы над проектом команды проектировщиков разных специальностей. Задачи, не связанные с пространственным расположением (схемы соединений и т.п.), решаются путем создания двумерных моделей, которые являются составной частью проекта и проверяются системой на их соответствие трехмерной модели.

С помощью встроенного в систему специального программного обеспечения 3D модель проверяется на пересечения и соблюдение допустимых расстояний между объектами (так называемая «проверка на коллизии» (рис.11.2).

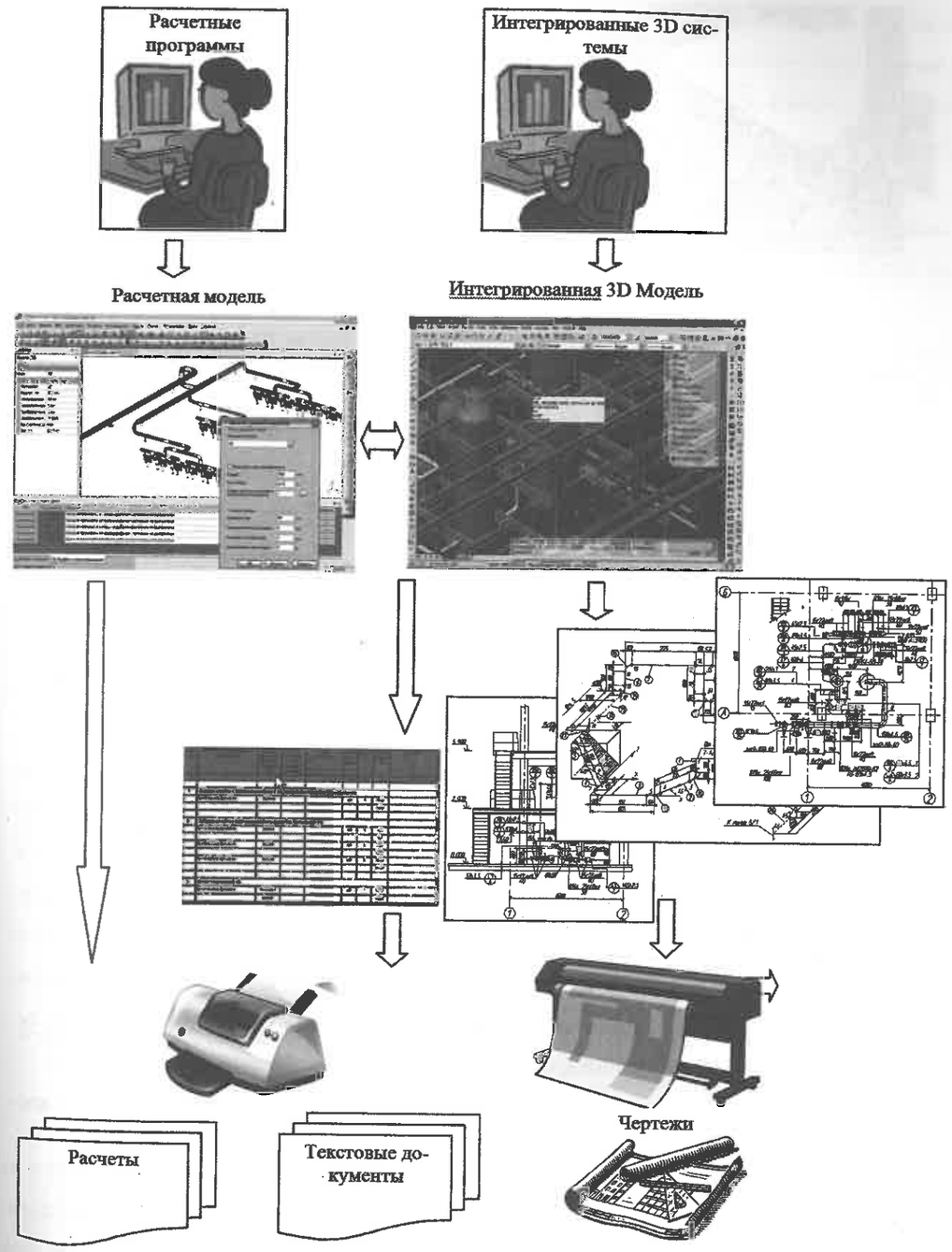
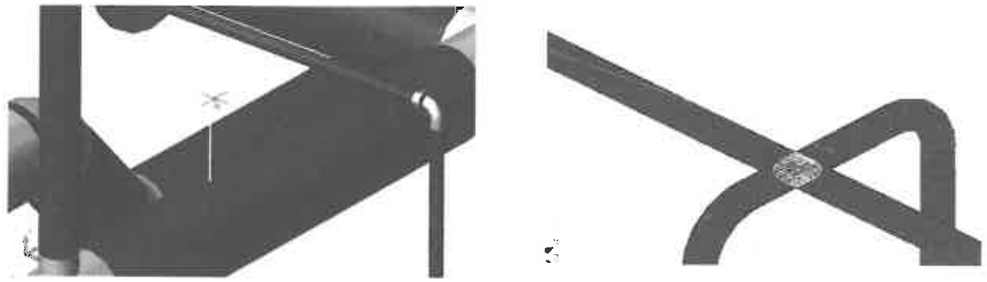


Рис. 11.1. Процесс проектирования с использованием 3D систем



а *б*

Рис. 11.2. Проверка коллизий в процессе построения 3D модели
а – наличие недопустимого зазора; *б* – пересечение («налезание» друг на друга) трубопроводов

3D модель служит единым и единственным источником информации для передачи данных в расчетные программы, а также для получения всех основных проектных документов – чертежей расположения оборудования и трубопроводов, деталировочных чертежей трубопроводов (так называемых «изометричек»), спецификаций и ведомостей трубопроводов, которые система позволяет получать автоматически либо полуавтоматически из 3D модели. Тем самым обеспечивается полная согласованность всех проектных документов. При необходимости внесения каких-либо изменений в проект они вносятся в 3D модель, а затем из нее получаются измененные проектные документы.

Работа с «умными» объектами означает, что при построении моделей проектировщик оперирует не графическими примитивами (линиями, дугами и т.п.) и даже не библиотеками готовых графических фрагментов, а именно объектами, изображающими элементы технологической установки – оборудование, трубы, детали трубопроводов, арматуру, детали строительных конструкций и т.д. Иначе говоря, программа знает, чем именно является каждый объект, как его следует отображать, а также подсказывает проектировщику, как именно можно его размещать, а как - нельзя. В итоге получаются «интеллектуальные» модели, состоящие из «умных» объектов.

При работе с такими объектами - элементами технологической установки современные 3D системы обеспечивают:

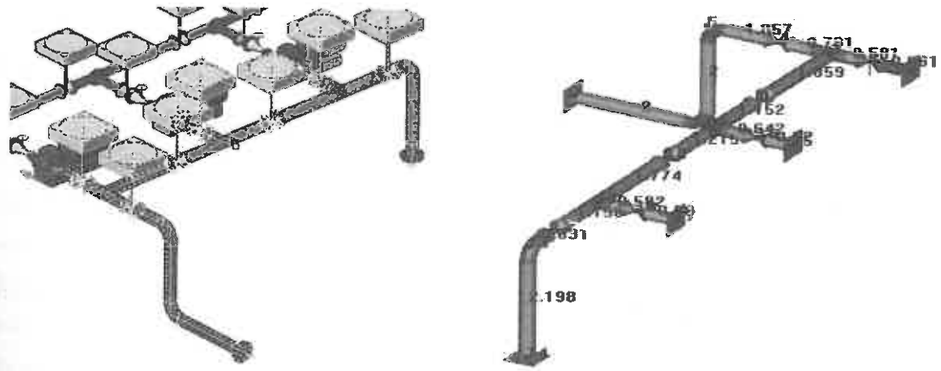
1) интеграцию данных и графики;
2) отслеживание взаимодействия объектов друг с другом;
3) множественность графического представления каждого объекта.

Интеграция данных и графики означает, что графическое изображение элемента строится на основе его данных (диаметра, строительных размеров и других параметров: марки, типоразмера, изготовителя и т.д.). Эти данные остаются доступными и могут быть извлечены для любого изображенного на чертеже элемента, в частности, для простановки

обозначений, составления спецификаций, передачи данных для формирования сводных текстовых документов. Первоначально сами данные хранятся в каталоге (базе данных) элементов, из которого программа извлекает их при выборе элемента. Выбор элементов трубопроводов производится на основе заранее подготовленных для каждого проекта номенклатурных перечней - классов («миникаталогов»). Их описание дано в параграфе 6.4.

Интеграция данных и графического представления объектов позволяет обеспечить правильность изображения объекта на чертеже и точное соответствие данных объекта на чертеже и в текстовых документах.

Поскольку программа оперирует объектами на основе данных, становится также возможной передача данных между чертежами и моделями, с которыми оперируют расчетные программы, как это показано на рис. 11.3. Это может существенно сократить время на ввод исходных данных при подготовке расчетных моделей.



а *б*

Рис. 11.3. Передача данных в расчетную модель
а - фрагмент трубопровода в 3D системе ModelStudio CS Трубопроводы; *б* - тот же фрагмент, автоматически экспортированный в программу прочностного расчета трубопроводов СТАРТ

Отслеживание программой взаимодействия объектов друг с другом выражается в том, что программа знает правила взаимодействия объектов (прежде всего их соединения) и самостоятельно выполняет их, либо предупреждает пользователя, когда он пытается эти правила нарушить. Она также «помнит» все соединения объектов и старается сохранить целостность и соединение объектов в ходе операций их изменения, перемещения и удаления. Вот несколько типичных примеров такого поведения:

- при соединении одного трубопроводного элемента с другим программа проверяет совпадение условного диаметра *DN* и совместимость по типу соединения. В частности, для фланцевого соединения программой проверяется совпадение условного давления *PN*

фланцев, совместимость уплотнительных поверхностей соединяемых элементов, выбирается и устанавливается требуемая прокладка и необходимый крепеж (в том числе рассчитывается длина шпилек или болтов);

- при вставке арматуры в трубу программа автоматически разрывает трубу, правильно учитывая строительную длину арматуры при вычислении длины участков магистрали до и после нее. При установке фланцевой арматуры программа самостоятельно выберет и установит ответные фланцы, прокладки и крепеж. Если *DN* арматуры отличается от *DN* трубы, вокруг арматуры автоматически устанавливаются переходы. При удалении арматуры вместе с ней удаляются и сопутствующие элементы и труба автоматически «воссоединяется»;

- при перемещении оборудования оно перемещается вместе со штуцерами, и программа (насколько это возможно) путем изменения длин труб не допускает разрыва подсоединенных к штуцерам трубопроводов.

Такое «интеллектуальное» поведение программы значительно ускоряет работу проектировщика и избавляет его от очевидных ошибок. При этом проектировщик должен понимать логику работы программы и действовать в соответствии с ней, иначе такая «интеллектуальность» будет вызывать раздражение («слишком умная программа!»).

Множественность графического представления объекта обеспечивает правильность его изображения в модели и на чертежах, а также возможность настройки программы для адаптации ее к требованиям заказчика. Имеется в виду использование различного графического представления на различных стадиях проектирования, при решении различных задач моделирования и расчета. Характерные примеры:

- программа должна рисовать отвод на чертеже по-разному в зависимости от его расположения (в плоскости чертежа и с выходом из плоскости чертежа);

- программа может рисовать элементы трубопровода как «в одну линию» (для малых *DN*), так и «в две линии» или «в объеме», причем значение величины *DN*, при которой происходит переключение, может задаваться пользователем;

- программа может отображать или не отображать тепловую изоляцию элементов и обогревающие спутники;

- программа может изображать положение штурвала задвижки в открытом и закрытом состоянии.

Современные 3D системы развиваются в направлении обеспечения **сквозного потока инженерной информации** на протяжении всего жизненного цикла предприятия. Это значит, что в идеале любая информация в процессе проектирования должна вводиться в интегрированную 3D модель только один раз, сохраняться и быть (в случае необходимости) доступной не только всем участникам процесса проектирования, но и использоваться

на последующих этапах жизненного цикла предприятия (включая проектирование, строительство, реконструкцию и эксплуатацию).

В частности, интегрированная 3D модель может использоваться на этапе строительства (так называемыми 4D системами, позволяющими наглядно показать на трехмерной модели ход строительства в зависимости от времени), а также на этапе технического обслуживания и ремонта (системами централизованного хранения и доступа ко всей инженерной информации о предприятии). Это значительно повышает ценность 3D модели для заказчика.

В последнее время большую долю проектных работ составляет реконструкция действующих предприятий. При этом часто у такого предприятия отсутствует полная и достоверная инженерная информация: трехмерные модели не делались, а чертежи после многочисленных изменений в процессе строительства и эксплуатации не вполне соответствуют реальной установке. Для решения этой задачи все более широкое применение находит технология наземного трехмерного лазерного сканирования. Сегодня практически все 3D системы дают возможность отображать и анализировать результаты лазерного сканирования реконструируемых установок (так называемые «облака точек») в трехмерной графической среде проектирования вместе с трехмерной моделью нового оборудования и трубопроводов. Тем самым обеспечивается эффективность применения 3D систем и в проектах реконструкции.

Основные разработчики современных 3D систем, предлагаемые ими решения и ссылки, по которым можно найти подробную информацию, приведены в Приложении 3. Авторство помещенных в данной главе рисунков, иллюстрирующих работу зарубежных 3D систем, принадлежит разработчикам этих систем.

11.3 Типовая структура, функции и возможности современных 3D систем

Рассмотрим подробнее, какие основные возможности и инструменты дает в руки проектировщику современная 3D система.

Функциональная схема современной 3D системы изображена на рисунке 11.4. Обычно соответствующее решение включает следующие элементы, представляющие собой функциональные модули или группы функциональных модулей, либо отдельные коммерческие продукты, интегрированные в состав единой 3D системы:

- графическое ядро системы;
- база данных (БД) проекта;
- модули двухмерного монтажно-технологического проектирования;
- модули трехмерного монтажного проектирования;

- модуль проверки на коллизии;
- модуль визуализации и «облета» трехмерной модели;
- модули выпуска проектных документов;
- модули управления материалами;
- модуль управления проектом;
- интерфейсы с различными расчетными программами;
- модули и/или программные средства для настройки и доработки системы под специфику пользователя.

3D система может также содержать дополнительные функции (модули):

- предварительной компоновки оборудования и трассировки трубопроводов;
- работы с «облаком точек», полученным в результате трехмерного лазерного сканирования существующей установки;
- просмотра проекта и доступа к нему через интернет, в том числе организации параллельной работы над проектом в нескольких пространственно удаленных офисах.

Рассмотрим подробнее типовые функции и возможности перечисленных выше компонентов 3D системы.

11.3.1 Ядро 3D системы.

В основе 3D системы **лежит графическое ядро (графическая платформа) и база данных (БД) проекта**, которые во многом определяют архитектуру и возможности системы.

Графическая платформа (ядро) обеспечивает графические функции всех модулей системы. В качестве графического ядра может использоваться как собственный программный продукт разработчика 3D системы, так и популярные графические платформы (AutoCAD, MicroStation). Существуют также «многоплатформенные» системы, которые умеют работать с использованием различных графических платформ.

В последнее время графические платформы 3D систем научились (благодаря соответствующим дополнительным программам или модулям) вместе с показом векторной графики отображать и результаты трехмерного лазерного сканирования (облака точек).

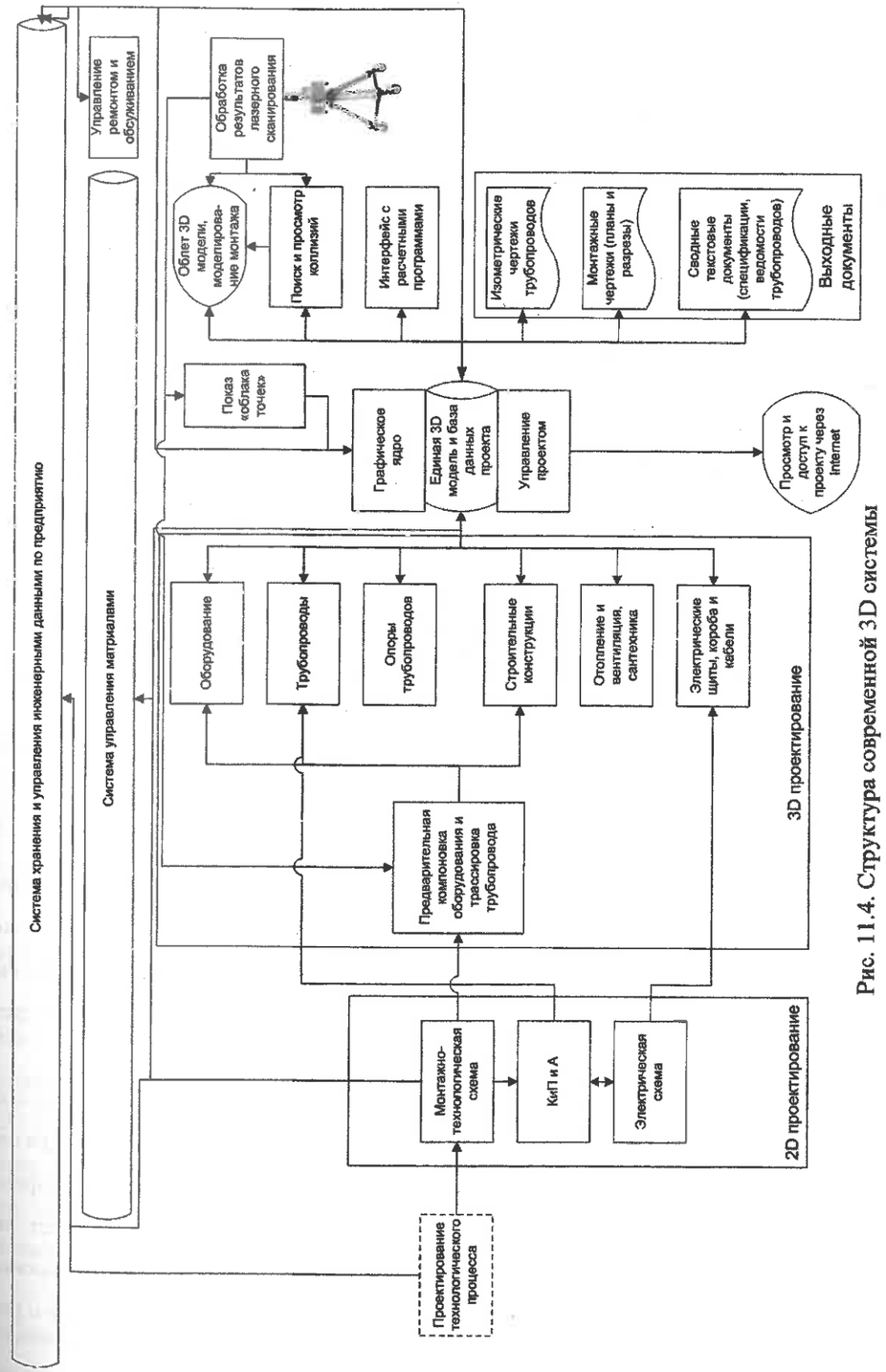


Рис. 11.4. Структура современной 3D системы

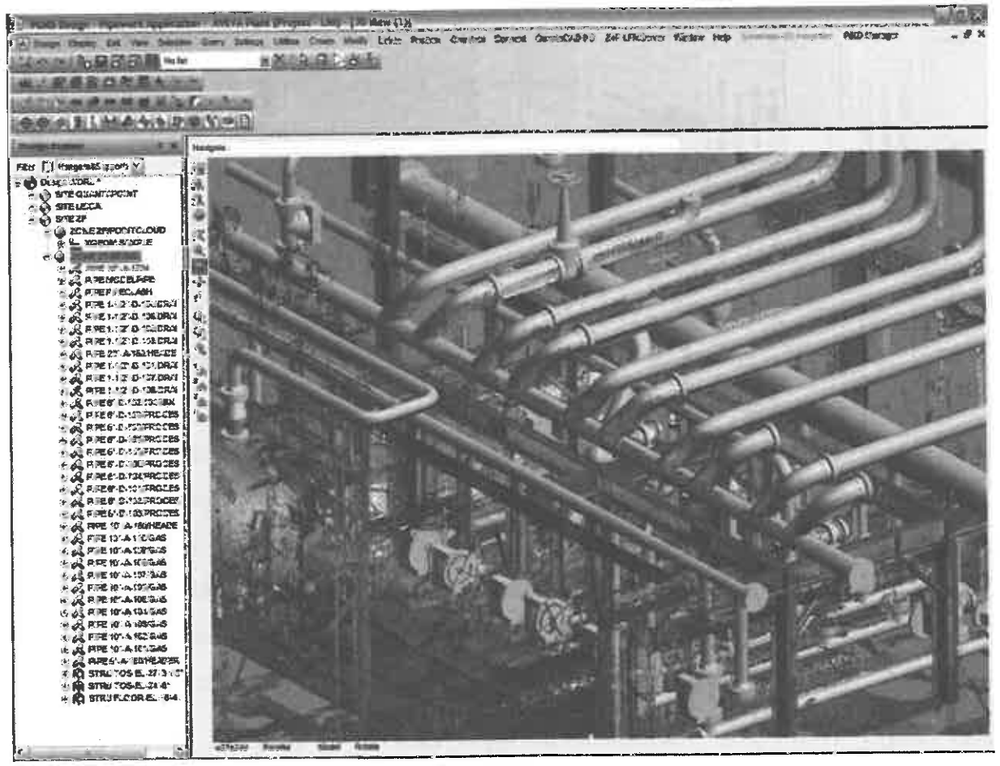


Рис. 11.5. Отображение проекта совместно с результатами сканирования существующей установки

Единая БД проекта определяет способ хранения и работы с данными по проекту, а также структуру и полноту самих данных.

В качестве системы управления базами данных (СУБД) для БД проекта в современных 3D системах используются, в основном такие популярные СУБД, как Microsoft SQL Server и Oracle. Для небольших проектов возможно использование Microsoft Access. Иногда используются собственные СУБД, специально оптимизированные под конкретную 3D систему.

Важнейшей характеристикой архитектуры конкретной 3D системы является способ хранения и организации работы с информацией по проекту – как графической (размеры и расположение объектов, составляющих проектируемую установку), так и неграфической (различные данные и характеристики объектов проекта). Именно он определяет, как обеспечивается интеграция данных и графики (параграф 11.2). Различают 3 основных способа организации системы: на основе данных (data-centric), на основе графики, и с раздельным хранением графики и данных.

В **системах, организованных на основе данных**, вся информация о проекте хранится поэлементно в единой БД проекта. Для каждого элемента проектируемого объекта в

БД хранятся все его параметры (размеры), расположение и ориентация в пространстве, а также все неграфические данные об элементе (изготовитель, материал, *DN*, *PN* и пр.). Графическое ядро при работе с такими системами каждый раз воссоздает интересующую проектировщика часть проекта по БД проекта и графически отображает ее для просмотра и редактирования. Данная архитектура считается наиболее современной и эффективной, поскольку дает разработчику 3D систем большие возможности для создания мощного программного продукта с большими возможностями настройки и адаптации под нужды пользователей. В частности, система на основе данных позволяет максимально гибко организовать коллективную работу с большими проектами. В таких системах вообще отсутствует понятие графического файла (либо они играют чисто вспомогательную роль). Управление правами доступа проектировщиков и распределение работы в таких системах можно осуществлять вплоть до отдельной трубы или задвижки.

Упрощается поиск и отбор нужных элементов: при работе с проектом можно использовать любые выборки и фильтры, в том числе на основе принадлежности объектов к тем или иным зонам проектирования, инженерным системам, видам транспортируемого продукта и т.п.

Для многих проектных операций графическая среда редактирования вообще не требуется, поскольку редактирование может выполняться с помощью текстовых средств работы с БД, а также в пакетном режиме.

В системах на основе данных сравнительно легко обеспечить множественность графического представления объектов. Поскольку данные о самом элементе в БД проекта не меняются, сохраняется целостность проекта, меняется только способ показа элементов.

Архитектура на основе данных реализована в самых мощных и соответственно дорогих 3D системах.

В **системах с раздельным хранением графики и данных**, графическое представление, размеры, положение и ориентация элементов постоянно хранится в соответствующих графических файлах, а неграфическая информация - в соответствующих записях БД проекта. Обычно элемент в графическом файле тем или иным образом ссылается на связанные с ним записи. Подобная компромиссная архитектура традиционна и характерна для многих систем, использующих в качестве графических платформ AutoCAD или MicroStation.

В **системах на основе графики**, не только графическая, но и неграфическая информация постоянно хранится внутри графических файлов (используя встроенные возможности графического формата). Подобные системы обычно просты в обращении, практически не требуют администрирования, сравнительно недороги, однако ориентированы на выполнение небольших проектов одним проектировщиком или маленькой группой.

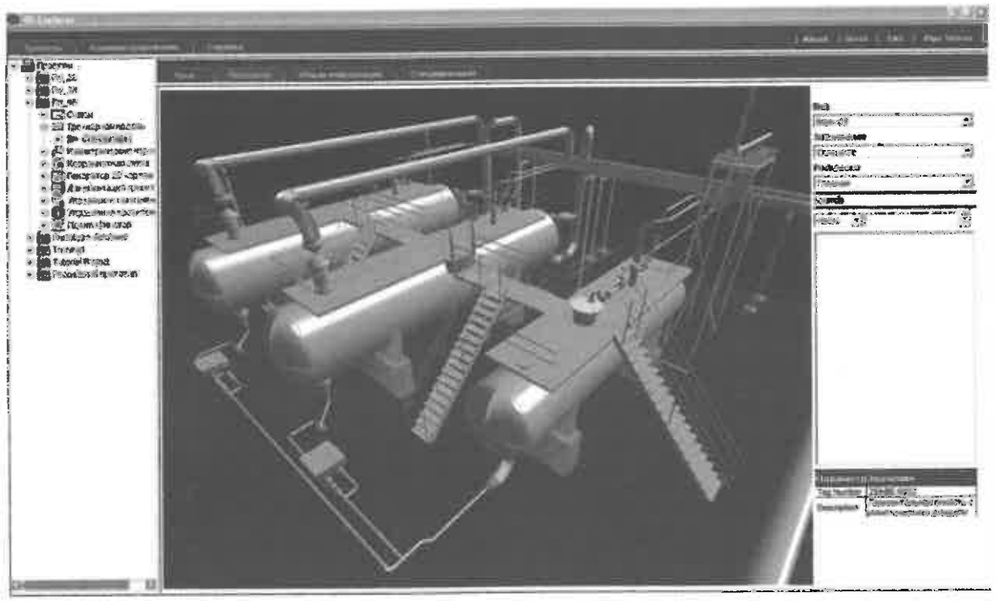


Рис. 11.6. Менеджер проекта в системе Plant4D

Разумеется, описанная выше классификация лишь самая общая и не отражает своеобразия конкретных 3D систем. Некоторые из них «умеют» функционировать в различных режимах работы на основе различных архитектур хранения данных, что позволяет использовать их в самых разных условиях.

Для работы пользователей и администраторов с проектом и 3D системой как единым целым обычно служит модуль управления проектом, который еще называют менеджером проекта (рис. 11.6). Данный модуль позволяет просматривать структуру проекта в целом, включая каталоги и классы (миникаталоги), графические файлы, файлы текстовых выходных документов и другую информацию, относящуюся к проекту. Из среды данного модуля можно запускать другие модули и программы 3D системы для работы с соответствующей информацией, моделями или файлами. Как правило, этот же модуль предоставляет администратору инструменты для управления правами пользователей, участвующих в разработке проекта.

11.3.2 Модули двухмерного монтажно-технологического проектирования.

Основной среди этих модулей – модуль разработки монтажно-технологической схемы (схемы соединений), или P&ID (Process and Instrumentation Diagram). На его базе строится все дальнейшее монтажное проектирование. Модуль разработки P&ID обязательно присутствует в любой претендующей «на полную функциональность» 3D системе.

Описание схемы соединений дано в параграфе 10.1, а пример оформления P&ID с помощью 3D системы - на рисунке 11.7.

Среди других модулей двухмерного проектирования, которые могут входить в состав 3D системы, – модули проектирования КиА и проектирования электрических схем.

Основные типы объектов при проектировании монтажно-технологических схем включают:

- оборудование,
- штуцеры оборудования,
- линии трубопроводов,
- арматуру и трубопроводные детали (фитинги),
- линии контуров управления и элементы КиА.

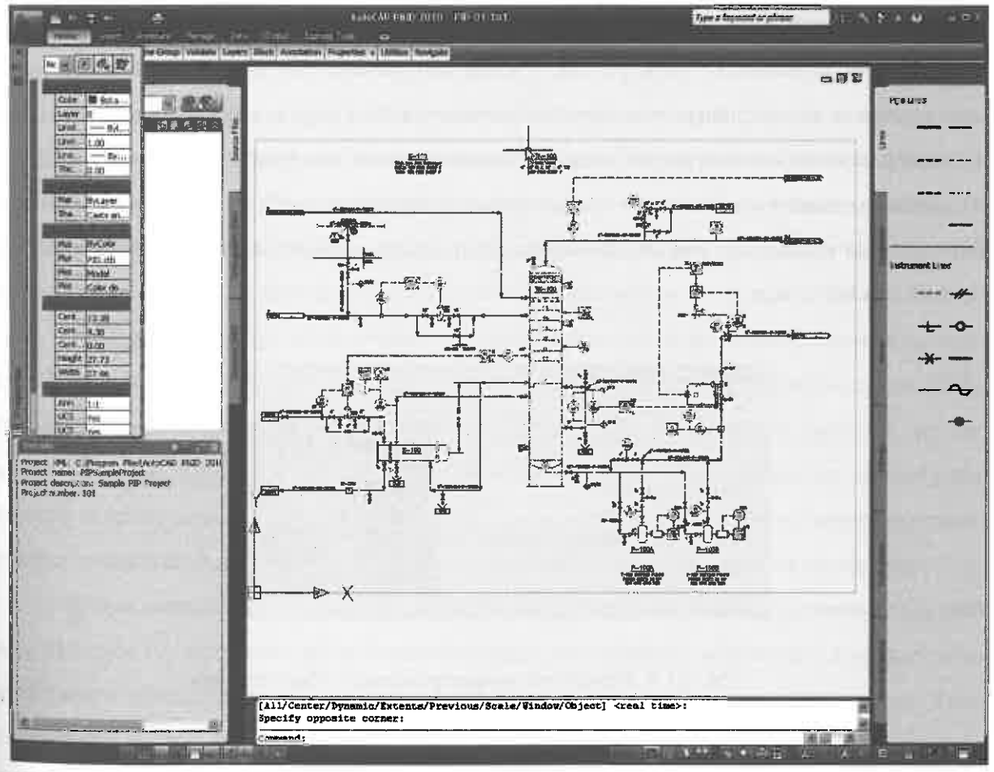


Рис. 11.7. Модуль P&ID в системе Plant 3D

В соответствие с изложенными в параграфе 11.2 принципами работы, объект каждого типа имеет свой набор данных (неграфических атрибутов), которые вводятся и хранятся вместе с объектом. Например, для оборудования к таким атрибутам могут относиться тип оборудования, изготовитель, а также технические характеристики, специфические для

различных типов оборудования; для трубопровода – транспортируемый продукт, условный проход, класс по материалу, вид и назначение изоляции и обогревающего спутника и т.д.

Модуль создания P&ID обычно поддерживает следующие основные операции:

- расстановка оборудования на технологической схеме;
- подключение штуцеров;
- соединение оборудования (штуцеров оборудования) трубопроводами;
- установка арматуры и деталей (фитингов) на линии трубопроводов;
- расстановка элементов и контуров КиА;
- расстановка обозначений элементов монтажно-технологической схемы;
- генерация отчетов.

Расстановка оборудования. Система позволяет выбрать условные изображения различных типов оборудования из готовых библиотек. Могут поддерживаться как изображения фиксированного размера, так и масштабируемые. Нестандартное оборудование можно собрать из отдельных стандартных элементов. Для отдельных типов оборудования (например, колонн) можно задать дополнительные детали внутреннего устройства (тарелки). Также можно нарисовать из графических примитивов изображение нестандартного оборудования в базовой графической среде системы и преобразовать его в объект оборудования нужного типа.

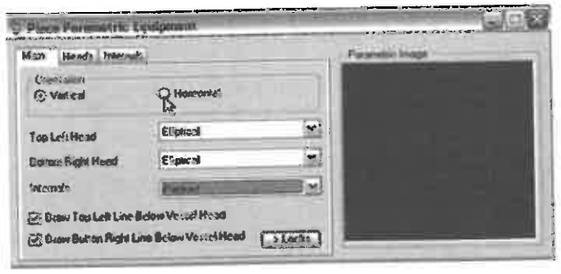


Рис. 11.8. Установка параметрического оборудования в программе Open Plant Power PD

Подключение штуцеров. Штуцера устанавливаются сразу в составе оборудования или отдельно на оборудование.

Соединение оборудования (штуцеров) трубопроводами. При указании концов трубопровода (штуцеров, примыкания к другой линии, выхода за пределы листа с продолжением на другом листе) система сама трассирует линию так, чтобы она шла только по горизонтали и вертикали, обходила уже размещенное оборудование. Пересечения на чертеже с

другими линиями автоматически прорисовываются. Символы направления потока автоматически изображаются в соответствии с требованиями стандартов оформления. Есть возможность указать или поменять направление потока. Система обеспечивает также простановку ссылок на другие листы, содержащие начало или продолжение линии.

Установка арматуры и фитингов. Элементы выбираются из стандартной библиотеки арматуры и трубопроводных деталей, автоматически устанавливаются в линию трубопровода и правильно ориентируются в ней, в том числе в соответствии с направлением потока. Часть параметров арматуры и деталей берется программой (наследуется) из параметров линии. Есть возможность выбрать и задать привод арматуры.

Расстановка элементов и контуров КиА. Обеспечивается размещение элементов КиА и стандартных типов линий контуров управления из готовых библиотек, с привязкой их к оборудованию, штуцерам, арматуре, определенным местам трубопроводов (до или после арматуры). Для оформления выходной документации служат функции простановки обозначений и генерации текстовых отчетов.

Расстановка обозначений. Содержание и вид обозначений формируются для каждого типа элемента (оборудования, участков трубопроводов, арматуры, КиА) по заданному шаблону из данных объекта. Могут формироваться в «ручном» режиме (указывается обозначаемый объект и место размещения обозначения) или автоматически[1]. При изменении данных объекта обозначения автоматически обновляются.

Генерация отчетов. Обеспечивается генерация отчетов различного вида (экспликации оборудования, продуктов, сводные экспликации участков, предохранительных клапанов; опросные листы оборудования, спецификации и т.д.) в текстовом формате, их экспорт в MS Word, MS Excel или MS Access. Генерация отчетов по отдельному чертежу и по проекту в целом (по нескольким листам). Должна быть предусмотрена возможность настройки содержания и вида отчетов, а также размещение таблицы отчета на чертеже.

Кроме операций размещения объектов, система, естественно, должна поддерживать функции их перемещения и редактирования как «умных» объектов - с сохранением целостности объектов, их соединений и всей относящейся к объектам информации. Такая целостность должна обеспечиваться не только для отдельных листов, но для проекта в целом. Обозначения объектов должны изменяться и перемещаться вместе с объектами.

Сервисные функции обычно включают возможности быстрого поиска элементов на технологической схеме, контроль возможных ошибок.

Должны быть предусмотрены инструменты настройки под стандарты пользователя, включая создание новых типов объектов и их графических изображений, корректиров-

[1] Качественная автоматическая простановка обозначений поддерживается не всеми системами

ки изображения и набора данных по существующим типам, редактирование шаблонов обозначений, шаблонов отчетов. С системой должны поставляться библиотеки обозначений по общепринятым международным стандартам (ISO, ANSI/ISA, PIP).

Очень полезна также предусмотренная в продвинутых системах функция работы со сборками. Она позволяет сохранить и многократно использовать некоторый стандартный узел (например, обвязку регулирующего клапана или насоса).

Еще одна важная «продвинутая» функция, предусмотренная в некоторых системах, – возможность распознавания элементов и конвертация схемы, созданной вне системы, в формат монтажно-технологической схемы данной системы.

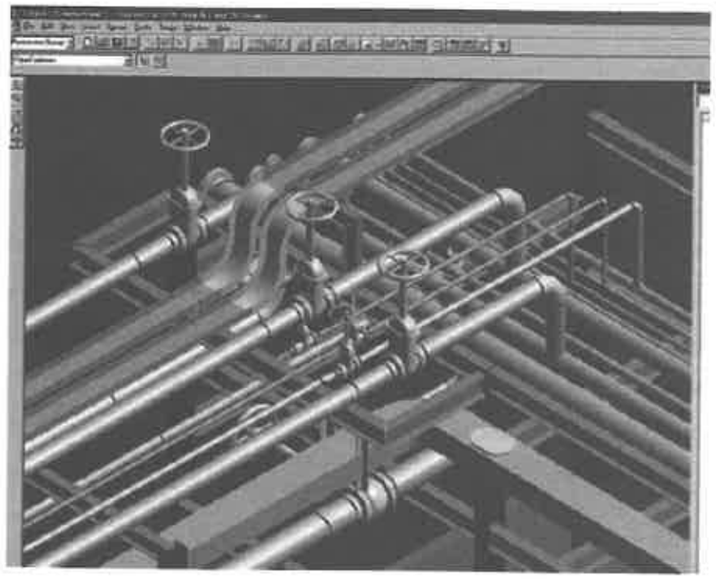


Рис.11.9. Фрагмент трехмерной модели в системе SmartPlant 3D

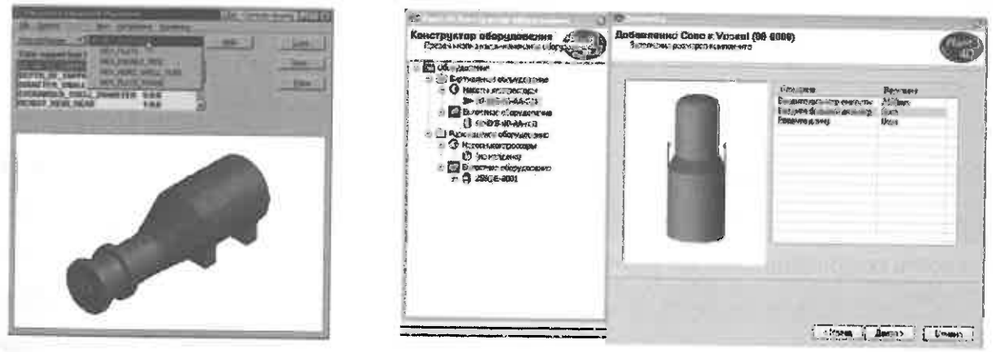
11.3.3 Модули трехмерного монтажного проектирования.

Не все из этих возможностей присутствуют во всех 3D системах. Минимальный набор – это моделирование оборудования и трубопроводов и базовые возможности моделирования строительных конструкций.

Моделирование и компоновка оборудования выполняется обычно с использованием библиотеки готовых параметрических моделей типового оборудования – горизонтальных и вертикальных емкостей, теплообменников, насосов (рис. 11.10). Наиболее продвинутые 3D системы позволяют создавать электронные библиотеки (каталоги) серийно выпускаемого оборудования (на основе стандартов или каталогов изготовителей), со всеми данными и размерами. Для установки такого оборудования в 3D модель достаточно выбрать марку и типоразмер из каталога и указать место установки.

Оборудование, для которого нет готовых параметрических моделей (колонны, компрессоры, нестандартное оборудование), создается с помощью соединяемых друг с другом типовых параметрических элементов (обечаек, днищ, опор, штуцеров). Также в большинстве 3D систем «умный» объект оборудования можно создать на базе нарисованного средствами графической платформы (или даже импортированной из других программ) трехмерного графического представления.

Особое внимание при моделировании оборудования уделяется штуцерам. Штуцер как элемент в 3D системах обычно является одновременно составной частью и оборудования, и примыкающего к нему трубопровода. Как «умный» объект, штуцер включает ту же информацию о требуемом положении и направлении присоединяемого элемента трубопровода и типе соединения, что и другие элементы трубопровода



а *б*

Рис. 11.10. Установка стандартного параметрического оборудования
а - в системе PlantSpace; *б* - в системе Plant3D

Для правильной трассировки трубопроводов положение и ориентация штуцеров крайне важны и должны быть заданы абсолютно точно, поэтому удобство моделирования штуцеров оборудования – важный признак качества 3D системы. Хорошие 3D системы поддерживают разнообразные варианты моделирования штуцеров:

- в составе готовых параметрических моделей стандартного оборудования;
- как дополнительные элементы, добавляемые к модели стандартного оборудования;
- как типовые элементы нестандартного параметрического оборудования, устанавливаемые на днища и обечайки.

И, разумеется, система должна отслеживать и сохранять соединение штуцеров с оборудованием и перемещать их вместе с последним при любых обстоятельствах. Так называемый «улет» штуцеров – типичный признак «сырой» 3D системы.

Моделирование и разводка трубопроводов.

Данный модуль, безусловно, является ключевым для любой 3D системы и задает уровень ее возможностей и качества.

3D системы обеспечивают моделирование элементов трубопроводов как «умных» параметрических объектов. При этом данные по каждому элементу (в том числе размеры и другие параметры) берутся системой из текущего класса (миникаталога) и, если необходимо, сводного каталога. Отдельные типы элементов (например, предохранительные клапаны) могут выбираться вне класса, непосредственно из сводного каталога. Для некоторых элементов (например, труб, гнутых отводов) некоторые размеры явно или неявно вводятся пользователем в момент установки.

Каждый моделируемый в 3D системе элемент трубопровода имеет один или несколько «присоединительных портов» (точек присоединения). Для каждого такого порта известно его точное расположение, направление в пространстве и тип соединения (приварной, фланцевый, цапковый, муфтовый и т.д.), а также дополнительные данные, описывающие соединение, например, *DN*, *PN*, тип соединительной поверхности фланца. В настройках системы заранее должны быть заданы допустимые сочетания параметров соединяемых элементов и необходимые для различных вариантов соединения дополнительные элементы (прокладки, крепеж). Это позволяет системе самостоятельно проверять правильность соединений, как по совместимости элементов, так и по их расположению, подбирать ответные присоединительные элементы (ответные фланцы к арматуре), автоматически добавлять прокладки и крепеж и рассчитывать его параметры, в том числе, как упоминалось ранее, длину болтов и шпилек.

Работа с трубопроводами в 3D системах обычно строится на 2-х уровнях – работа с отдельными элементами трубопровода и работа с «умными» трассами трубопроводов.

Для работы на уровне отдельных элементов система дает проектировщику набор инструментов для размещения и ориентации в пространстве нового элемента трубопровода по отношению к ранее размещенным объектам. Например, новый элемент можно присоединить к штуцеру или другому элементу трубопровода. При этом система прочтет параметры существующего элемента, выберет присоединяемый элемент с тем же диаметром, классом материалов и совместимым типом присоединения. Отвод можно установить на пересечении осей двух элементов, а затем соединить его с трубами – и т.д. Трубопровод при этом моделируется путем размещения, соединения и правки отдельных его элементов (перемещения и поворота).

При работе на уровне «умных» трубопроводных трасс система воспринимает трубопровод как целостный объект, обладающий некоторыми общими характеристиками, такими как номер линии, *DN*, класс по материалу и т.д. Механизм моделирования и графического представления такого объекта может сильно отличаться в разных 3D системах –

это может быть и «умная» осевая линия, и осевая линия с показом занимаемого трубопроводом объема, и совокупность труб и отводов, управляемая как единое целое. Однако основные возможности работы с трассой у разных систем похожи.

Все 3D системы содержат функции трассировки неразветвленных трубопроводов. Пользователю предлагается на выбор варианты соединения двух указанных им элементов, например, двух штуцеров или ответвления от одного трубопровода к штуцеру (рис. 11.11). При построении трассы система сама учитывает геометрические ограничения, налагаемые номенклатурным перечнем (классом, миникаталогом), а именно: радиусы отводов для данного *DN*, строительные длины ответных фланцев.

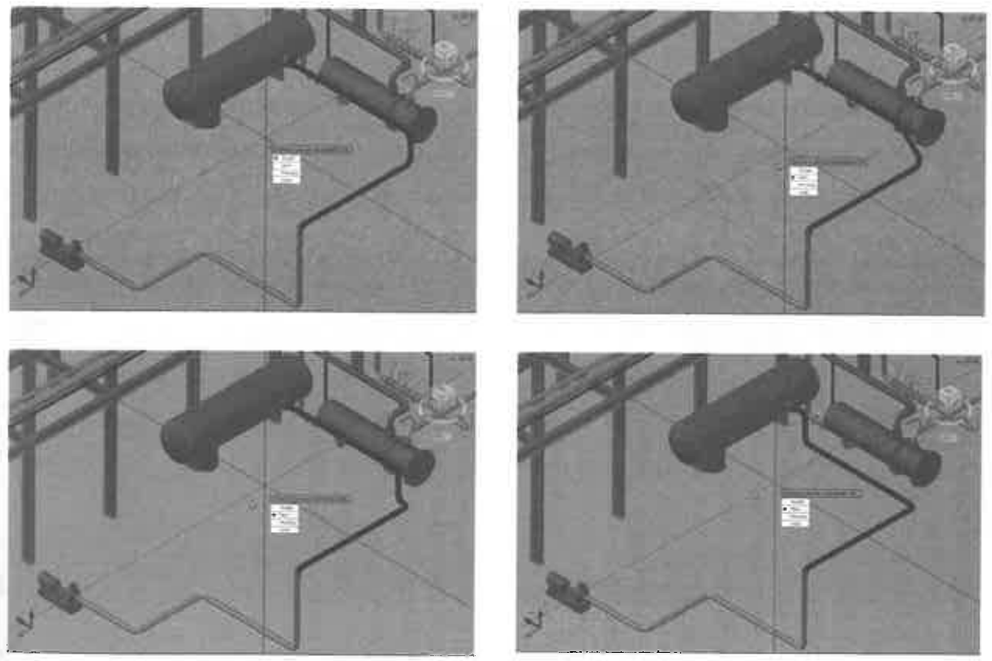


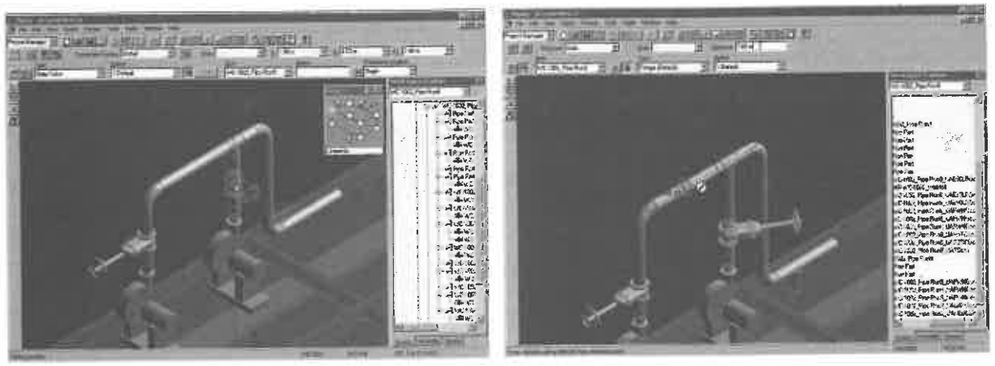
Рис. 11.11. Система Plant3D предлагает пользователю ряд вариантов трассировки.

Также должен учитываться требуемый уклон горизонтальных участков трубопровода. Из предложенных трасс пользователь выбирает ту, которую считает наиболее оптимальной. Система предоставляет пользователю и средства редактирования геометрии и параметров созданной трассы (рис. 11.12).

а *б*

Рис. 11.12. Трассировка трубопровода в системе SmartPlant 3D
а - автоматическое заполнение трубопровода элементами; *б* - редактирование трассы

Некоторые 3D системы поддерживают работу и с более сложными (в том числе разветвленными) трассами, содержащими участки (ветви) с разными параметрами: *DN*, классами.



а *б*

Рис. 11.13. Автоматический разрыв с последующим соединением трассы в системе SmartPlant 3D
а – вставка задвижки; *б* – вставка фланцевого соединения

Созданная трасса может быть «укомплектована» соответствующими трубопроводными элементами - в ручном, автоматическом или полуавтоматическом режиме. При установке на трассу вручную отдельных элементов программа сама принимает для них параметры трассы и правильно их ориентирует, т.е. обеспечивает автоматический разрыв трассы с последующим присоединением к вставленному элементу (рис.11.13).

При редактировании трасс с уже установленными элементами последние должны перемещаться вместе с трассой. Наиболее «продвинутые» 3D системы в случаях изменения параметров трассы и ее геометрии обеспечивают автоматическую переустановку всех элементов с выбором их из класса (миникаталога) в соответствии с изменившимися параметрами.

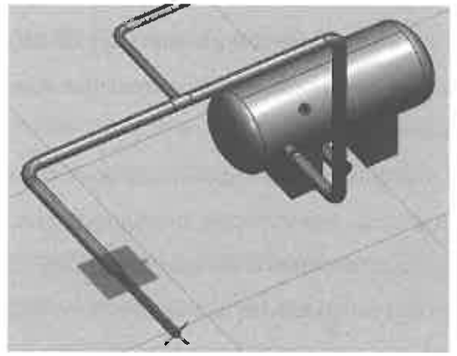


Рис. 11.14. Трассировка трубопровода с заполнением элементами «на лету» в системе OpenPlant Modeler

Как и для монтажно-технологической схемы, при 3D моделировании трубопроводов бывает очень полезна обеспечиваемая многими 3D системами возможность сохранять и повторно использовать стандартные узлы обвязки.

Для качества проекта важно, чтобы при создании 3D модели оборудования и трубопроводов было обеспечено полное ее соответствие монтажно-технологической схеме. Для этого 3D системы предлагают два типа инструментов.

1) Создание 3D модели на основе данных монтажно-технологической схемы. При установке объекта в 3D модели он выбирается пользователем на монтажно-технологической схеме, программа считывает данные по нему из схемы и использует их в 3D модели;

2) Проверка соответствия уже созданной 3D модели монтажно-технологической схеме. Система проводит соответствующую проверку и формирует список несоответствий: объекты монтажно-технологической схемы, отсутствующие в 3D модели, либо наоборот, а также объекты, данные по которым в 3D модели и на схеме различаются. Просматривая список и, одновременно выделяя проблемные объекты на схеме и в 3D модели, пользователь вносит соответствующие изменения.

Функции трехмерного моделирования трубопроводов ОВ и кабельных лотков (полок) в тех 3D системах, где они присутствуют, обычно мало отличаются от моделирова-

ния технологических трубопроводов (отличия только в форме сечения элементов). Отметим, однако, что такая важная для электриков и специалистов по КиА задача, как раскладка кабелей по кабельным лоткам, решается лишь в очень немногих 3D системах. Для ее решения можно использовать также специализированные программы.

Трехмерное моделирование строительных конструкций в 3D системах прежде всего необходимо для правильной пространственной привязки оборудования и трубопроводов к строительным конструкциям и проверки отсутствия соответствующих пересечений (коллизий). Эту задачу в той или степени решают все 3D системы. Однако в целом функциональные возможности проектирования строительных конструкций в разных 3D системах очень сильно различаются.

Вообще говоря, проектирование промышленных строительных конструкций – самостоятельная сложная задача, для которой доступно большое количество высококачественных специализированных программ трехмерного проектирования, и для ее решения нет необходимости «изобретать велосипед». Поэтому те разработчики 3D систем проектирования промышленных предприятий, которые пожелали обеспечить в рамках своих систем возможность полноценного проектирования строительных конструкций, успешно сделали это путем интеграции в свои системы такого рода отдельных специализированных программ (собственных или разработанных третьими фирмами).

Функциональные возможности программ проектирования строительных конструкций – отдельная большая тема. Здесь отметим только, что в рамках 3D системы должна обеспечиваться возможность трехмерного проектирования всех видов железобетонных и металлоконструкций, описанных в Главе 2, с автоматизированным выпуском чертежей марок КМ и КЖ и передачей данных на расчет в программы прочностного расчета строительных конструкций. Для проработки деталировок и выпуска деталировочных чертежей марок КМД, КЖД (если требуется) обычно привлекают дополнительные специализированные программы.

Отдельные модули расстановки и проектирования опор трубопроводов появились в составе 3D систем сравнительно недавно. Заметим, что установка на 3D модели опор трубопроводов - в виде так называемых «логических» опор, то есть в виде наглядной, но упрощенной трехмерной модели, без деталировки – изначально поддерживалась 3D системами в рамках модуля моделирования трубопроводов. Такого моделирования, как правило, достаточно для монтажных и деталировочных чертежей трубопроводов, но недостаточно для полноценного конструирования опор (включая, например, расчет длин тяг подвесок). Именно задачу детального конструирования и моделирования опор и решают появившиеся новые модули.

Конструирование опор производится таким модулем автоматически на основе библиотеки стандартных конструкций опор. Проектировщик должен указать точки привязки опоры к трубопроводу и строительным конструкциям (программа также сама может найти точку пересечения в плане осей трубопровода и элементов металлоконструкций). Программа, основываясь на параметрах трубы, металлоконструкции, данных о предполагаемых нагрузках на опору, сама выберет все детали выбранного типа опоры, рассчитает их параметры (длины тяг, количество пружин и т.д.), и разместит (если требуется) детальную трехмерную модель опоры, и сформирует комплект чертежей и спецификаций для ее изготовления.

Разумеется, чтобы использовать столь мощный инструмент, требует сначала настроить библиотеку стандартных конструкций опор на типовые конструкции, используемые проектной организацией.

При использовании стандартных опор известных производителей возможен другой подход. Ведущие мировые изготовители опор трубопроводов теперь поставляют собственные бесплатные программы выбора, моделирования и заказа поставляемых ими опор, которые могут работать совместно с ведущими 3D системами.

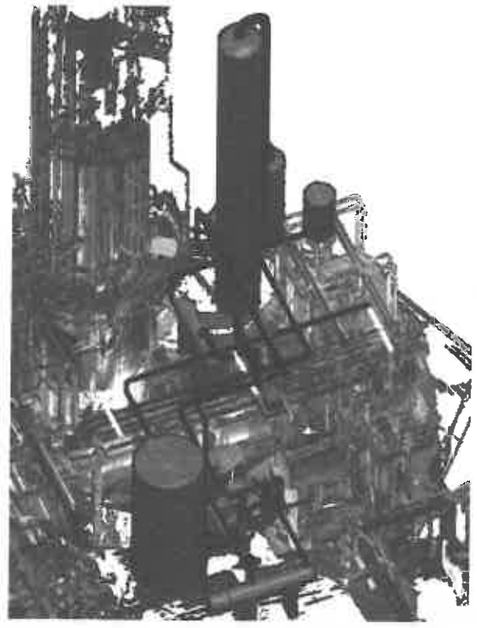


Рис. 11.15. Автоматическая трассировка трубопроводов с обходом «облака точек» существующей установки в системе Bently Plant Wise

При этом программа сама обходит препятствия, в том числе и представленные облаком точек по результатам лазерного сканирования (рис. 11.15), учитывает заданные пользователем предпочтительные области прокладки трубопроводов (трубопроводные эс-

такады), следует настраиваемым правилам прокладки и ищет вариант, оптимальный по стоимости. Полученная эскизная трехмерная модель становится основой для последующего детального монтажного проектирования.

Функции предварительной автоматизированной компоновки и трассировки трубопроводов дополняют функциональность модулей трехмерного проектирования и дают возможность быстро создавать предварительные варианты трехмерной компоновки и трассировки проектируемой установки на ранних стадиях проектирования. На основе данных монтажно-технологической схемы осуществляется автоматическая трассировка всех основных трубопроводов.

Функциональность такого уровня в рамках своих решений предлагают лишь немногие разработчики 3D систем. Кроме того, существуют самостоятельные пакеты программ, которые могут работать совместно с различными 3D системами и включают не только инструменты предварительной компоновки оборудования и автоматической трассировки трубопроводов, но и выбора места установки и типа трубопроводных опор.

При разработке крупных проектов работа над ними может вестись одновременно в нескольких удаленных друг от друга офисах. В этой ситуации наиболее «продвинутые» 3D системы позволяют организовать параллельную работу в этих офисах с единой 3D моделью проекта, обеспечивая синхронизацию и репликацию информации по проекту.

Проверка 3D модели на коллизии – важнейший элемент трехмерного проектирования, обеспечивающий качество проекта. Некоторым проектировщикам кажется, что наличие такой функции в самой 3D системе не так уж и важно – зачем она, если на 3D модели и так все видно, особенно если ее можно осматривать с разных сторон? Авторам пришлось на собственном опыте убедиться, насколько подобное представление не соответствует реальности. Нередки случаи, когда автоматическая проверка даже небольшой 3D модели проекта немедленно обнаруживает в ней грубые ошибки - незамеченные наложения элементов трубопроводов на строительные конструкции - хотя до того каждая модель визуально просматривалась со всех сторон в течение нескольких дней!

При поиске коллизий различают так называемые hard и soft коллизии. Первые – это недопустимые физические пересечения элементов. Под вторыми понимают нарушение допустимых расстояний между элементами, наложение областей, занимаемых тепловой изоляцией и обогревающими спутниками, пересечение элементами зарезервированных зон обслуживания и т.п. Обнаружение hard-коллизий поддерживают в том или ином виде практически все 3D системы; качественный поиск soft-коллизий поддерживают только «продвинутые» системы, обеспечивающие задание и графическое отображение изоляции и зон обслуживания объектов, а также настройку допустимых минимальных расстояний между различными типами объектов.

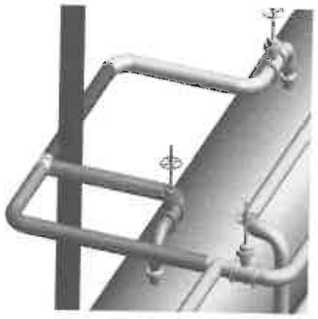


Рис. 11.16. Обнаруженная «на лету» коллизия в Plant3D

Поиск коллизий может проводиться в двух режимах: «на лету» и в «пакетном» режиме. Проверка коллизий «на лету» (рис. 11.16) проводится непосредственно в процессе создания и редактирования трехмерной модели – при установке или изменении любого элемента система сразу проверяет, не возникают ли коллизии (пересечения или недопустимые сближения) данного элемента с другими и (если возникают) указывает на них проектировщику. Такой режим, безусловно, очень удобен и нагляден. Однако он поддерживается только в наиболее современных и мощных 3D системах, требует существенных вычислительных ресурсов и для большеразмерных моделей может сильно замедлять работу с программой. В последнем случае функцию проверки коллизий часто просто отключают.

Кроме того, даже если коллизия обнаружилась, может оказаться, что для ее устранения нужны действия другого проектировщика, который временно отсутствует или занят. В этом случае устранение коллизии откладывается, и возникает опасность, что о ней вообще забудут. Поэтому основным режимом проверки на коллизии является все же пакетный режим.

Проверка на коллизии в пакетном режиме выполняется системой для всей модели в целом, запускается администратором проекта и не требует присутствия проектировщиков. Рекомендуется проводить такие проверки регулярно, по достижении проектом определенных этапов (например, при 30%, 50%, 70% и 100% готовности проекта). Результаты такой проверки записываются системой для последующего анализа проектировщиками. Система должна поддерживать функции просмотра, документирования и отслеживания статуса каждой обнаруженной коллизии (рис. 11.17). Просмотр каждой коллизии выполняется, как правило, в рамках модулей трехмерного проектирования. Система находит и выделяет элементы, вызвавшие коллизию, позволяет сформировать и вывести на печать отчет с детальными чертежами места коллизии и данными по элементам, а также позволяет упол-

номоченным участникам проекта по мере устранения коллизии менять ее статус и связанную с ней информацию. При проверке на коллизии также важно, чтобы система умела принимать для обработки не только созданные в ней объекты, но и 3D графику частей проекта, разработанных в других системах (например, архитектурную или строительную часть проекта).

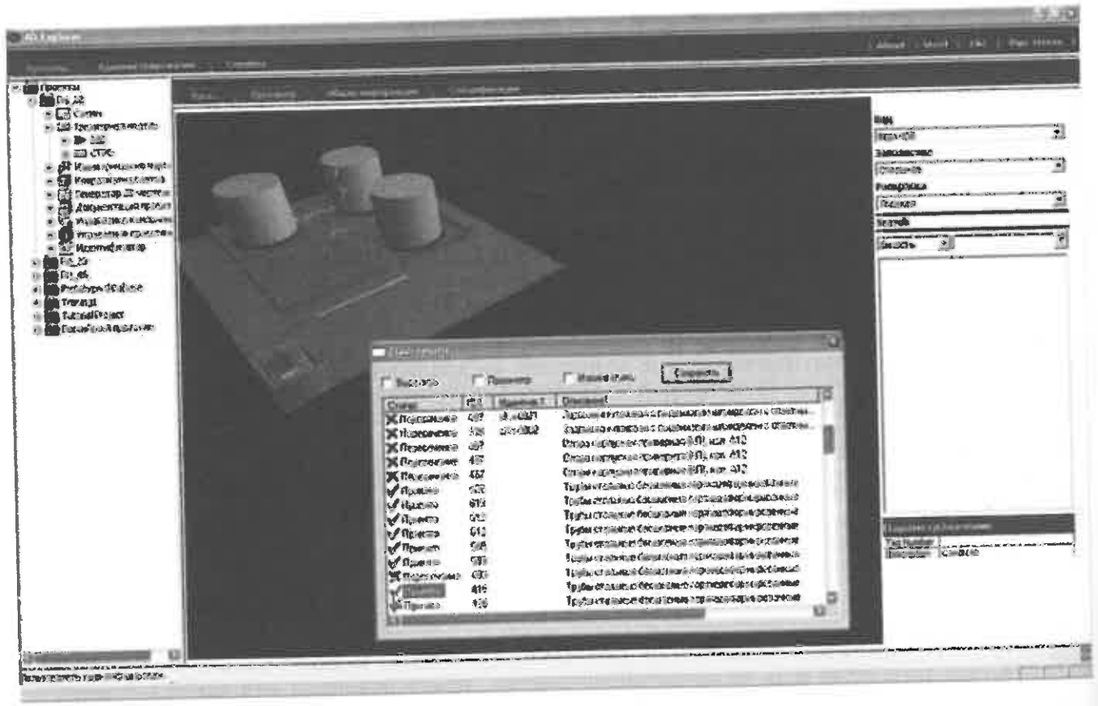


Рис. 11.17. Менеджер просмотра и учета коллизий в системе Plant4D

Некоторые разработчики 3D систем для поиска и отображения коллизий используют возможности интегрированных в систему универсальных программ третьих фирм для облета и просмотра 3D моделей. Такой подход позволяет легко обеспечить взаимную проверку на коллизии частей модели, выполненных в разных программах, однако может ограничить возможности поиска soft-коллизий.

Модули выпуска выходных проектных документов из 3D модели.

Это еще один ключевой элемент 3D системы. Можно иметь великолепные инструменты построения и редактирования 3D модели, но если создание на ее основе выходной документации требует слишком больших затрат, использование системы становится бессмысленным.

На сегодня существуют специализированные программы, которые позволяют генерировать деталировочные чертежи трубопроводов из трехмерной модели полностью автоматически, при необходимости самостоятельно разбивая их на листы, а по уровню качества эти чертежи не требуют практически никакой ручной доводки (рис. 11.18).

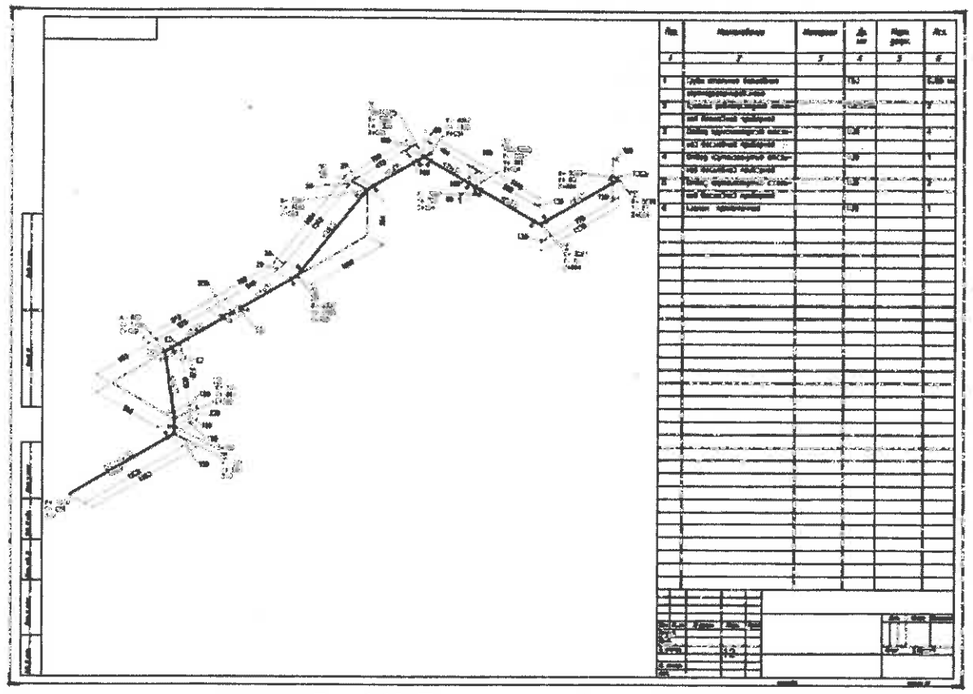


Рис. 1.18. Деталировочный чертеж,
сгенерированный программой ISOGEN

С генерацией из трехмерных моделей чертежей размещения оборудования и трубопроводов (планов, разрезов, сечений), а также чертежей строительных конструкций дело обстоит не столь однозначно. Все перечисленные выше системы позволяют автоматически генерировать такие чертежи, однако степень их готовности может быть различной. Некоторые системы не поддерживают в полном объеме «пакетную» автоматическую простановку размеров, высотных отметок, аннотирование оборудования, линий и других элементов на получаемых чертежах, так что эти операции приходится выполнять в «ручном» режиме, выбирая элементы по одному и/или дополнительно устраняя вручную наложения текстов. Это работа может занимать много времени, особенно если ее приходится повторять при частых корректировках 3D модели.

В последнее время разработчики стали уделять этой проблеме больше внимания. Существуют также специализированные программные продукты для полностью автоматической генерации таких чертежей из трехмерных моделей. Тем не менее, получаемые чертежи по своему оформлению могут не вполне соответствовать СПДС, поэтому во из-

бежание дополнительной ручной работы по их доводке рекомендуется заранее согласовывать вид монтажных чертежей с заказчиком.

3D системы позволяются обеспечить автоматическую генерацию различного рода текстовых документов (спецификаций, ведомостей трубопроводов), вывод их в MS Excel или Access, и имеют достаточно гибкие средства для настройки содержания данных документов. Однако форма этих документов обычно не соответствует СПДС, и потому для многих 3D систем российские пользователи разработали дополнительные генераторы отчетов, обеспечивающие их оформление по российским стандартам.

Модуль визуализации и облета трехмерной модели дает возможность наглядно представить 3D модель проекта заказчикам и подрядчикам. Возможности фотореалистической визуализации, поддерживаемые в современных 3D системах, позволяют проектировщикам презентовать проектируемую ими установку «во всей красе». Одновременно обеспечивается доступ и просмотр всей неграфической информации по объектам модели. Также в большинстве современных 3D систем этот модуль попутно отображает результаты лазерного сканирования существующей установки (облако точек), что важно для проектов реконструкции. Модуль позволяет показать найденные системой коллизии, а в ряде случаев поддерживает функции поиска коллизий. Функции удаленного просмотра 3D модели позволяют обеспечить доступ к данным по проекту на рабочем месте заказчиков и подрядчиков.

На базе данного модуля обеспечивается возможность моделировать процесс строительства. При этом можно наглядно показать, как меняется вид строящегося объекта с течением времени (так называемые «4D системы»), а также смоделировать перемещение транспортных средств с оборудованием и блоками трубопроводов и процесс монтажа, чтобы заранее правильно его спланировать и увидеть возможные проблемы.

Интеграция с расчетными программами. Современные 3D системы, как правило, не содержат расчетных программ, однако обеспечивают возможность передачи данных из модели в программы расчета на прочность трубопроводов (рис. 11.3) и строительных конструкций, а также гидравлического и теплового расчета трубопроводов и проектирования тепловой изоляции.

11.3.4 Управление материалами в 3D системах

На всех этапах жизненного цикла промышленного предприятия мы имеем дело с огромным количеством серийно выпускаемых элементов (труб, трубопроводных деталей, арматуры, оборудования, элементов строительных конструкций). Именно они моделируются 3D системами в процессе проектирования, заказываются и монтируются на этапе строительства, обслуживаются и ремонтируются в процессе эксплуатации. Сбор, передача

и хранение максимально точной информации об этих элементах должны быть обеспечены на всех этапах жизненного цикла предприятия. Для этого служат системы управления материалами.

Рис. 11.19. Работа системы управления материалами

Обобщенная схема системы управления материалами приведена на рисунке 11.19.

Полнофункциональная система управления материалами может включать решение 4-х основных задач, перечисленных ниже.

1) Обеспечение проектировщиков перечнями материалов и изделий, применяемых в проекте и их параметрами. Это наиболее важная функция, поддерживаемая в том или ином виде всеми 3D системами. Для ее реализации в них используются используется сводный каталог и специальная программа – «генератор классов (миникаталогов)», позволяющий в соответствии с техническими условиями производить выборку конкретных материалов из каталога для дальнейшего использования. В идеале миникаталог должен содержать лишь по одному элементу (материалу) каждого типа, который применяется в данных условиях, что позволяет проектировщику осуществлять автоматический выбор конкретного элемента, указав лишь его вид (например, труба с заданным условным диаметром D_N).

2) Создание БД проекта по информации из сформированных классов, получение из нее сведений о применяемых в проекте материалах и построение отчетов в виде ведомостей материалов и спецификаций с передачей их для составления смет, заказа материалов и т.д. Эта часть обеспечивается автоматически в процессе трехмерного моделирования и выпуска отчетов в 3D системе.

3) Планирование и управление закупками – контроль и управление заказами, тендерными предложениями, календарное планирование и отслеживание поставок, взаимоотношения с подрядчиками и субподрядчиками и т.п.

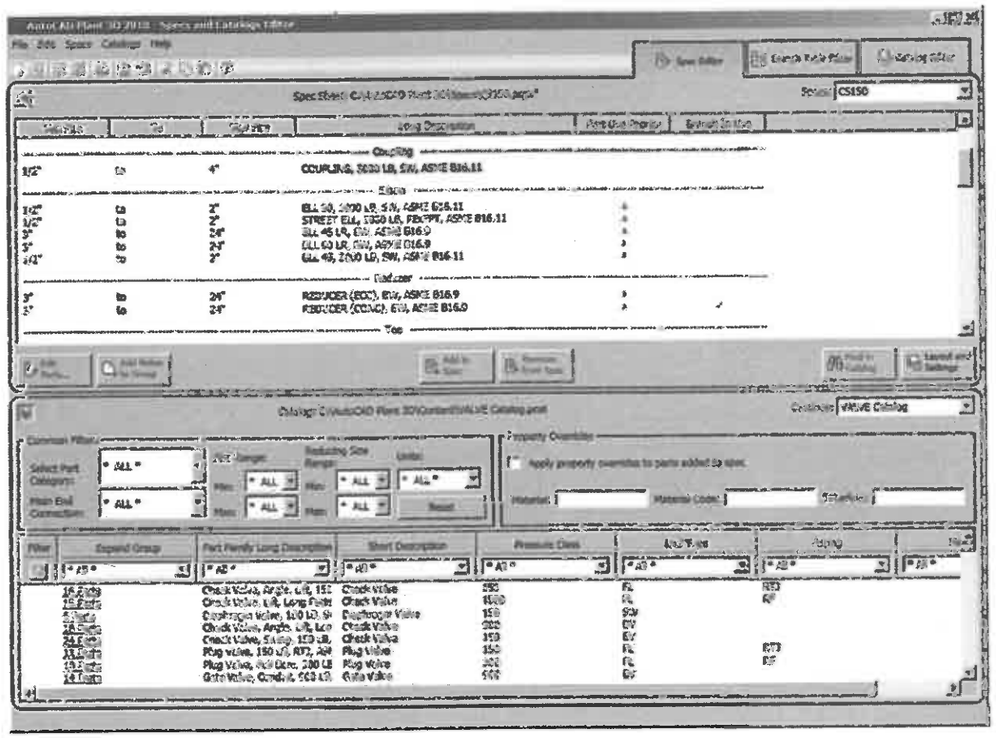


Рис. 11.20. Генератор классов (миникаталогов) в системе Plant3D.

4) Складской учет и распределение. Эта функция нередко осуществляется при помощи интерфейса с системами планирования строительства (например, MS Project, Primavera P3e). Наличие встроенных средств визуализации процесса строительства значительно упрощает работу.

Важной функцией (относящейся к задаче 2) является синхронизация 3D модели и БД проекта с классами по материалу, если в ходе проектирования приходится вносить изменения в используемые в проекте изделия – например трубопроводную арматуру. В этом случае система может обеспечить автоматический поиск в модели и замену соответствующих изделий. Возможно также использование на начальном этапе проектирования (пока получена не вся информация об изделиях) так называемых «обобщенных элементов», которые характеризуют только тип элемента и затем могут быть заменены.

Задачи 3 и 4 в большинстве 3D систем не решаются. Однако существуют полнофункциональные системы управления материалами, интегрируемые с 3D системами, ко-

торые охватывают весь диапазон задач управления материалами, включая управление закупками и складской учет.

Отметим, что средства управления материалами, имеющиеся в составе современных 3D систем, например, редактор сводного каталога, генератор классов («миникаталогов»), обычно недостаточно удобны и ориентируются в значительной мере на редактирование и выбор элементов в «ручном» режиме (рис. 11.20).

Как показал отечественный опыт, автоматизированные системы управления материалами более эффективны, поскольку не требуют от проектировщика-монтажника специальной подготовки. Подобная отечественная система «СУБД-Проект» разработана ООО «НТП Трубопровод» [40], ее структура показана на рисунке 11.21.

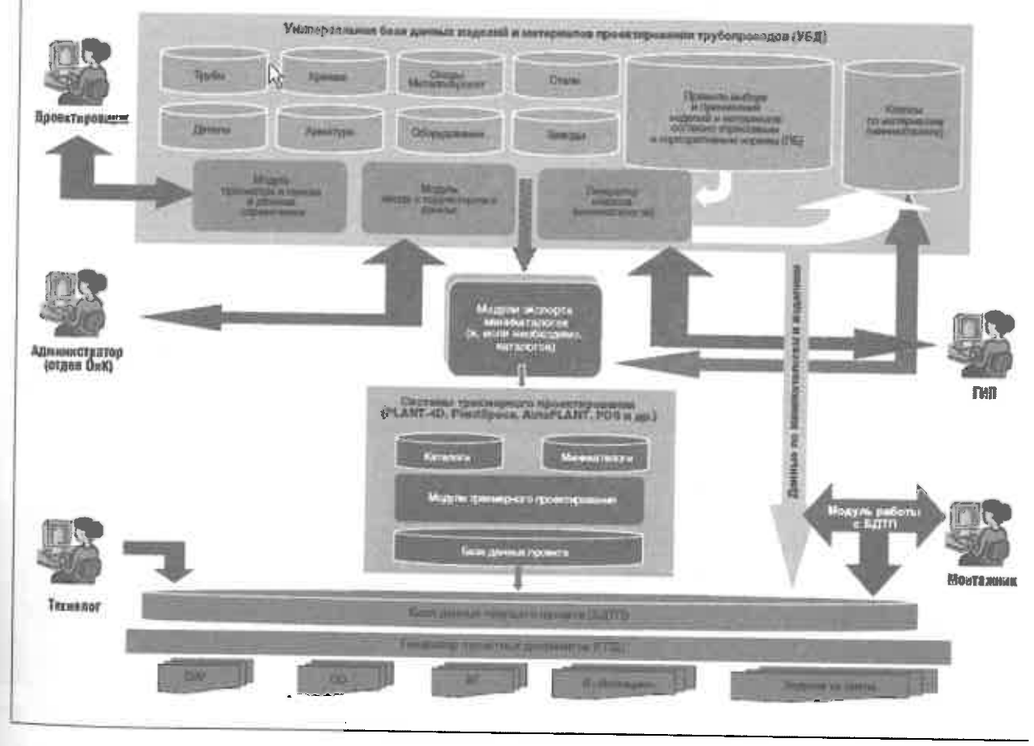


Рис. 11.21. Структура системы СУБД Проект

Система состоит из нескольких программных модулей: Универсальной Базы Данных (УБД), Генератора классов (ГК), Базы Данных Текущего Проекта (БДТП) и Генератора Проектных Документов (ГПД). «СУБД-Проект» сможет работать как автономно, когда чертежи разрабатываются традиционным способом (вручную или с помощью инструментальных графических средств), так и во взаимодействии с 3D системами. В последнем случае дополнительно разрабатываются соответствующие интерфейсы для передачи дан-

ных из УБД в сводные каталоги и классы 3D систем, а из баз данных проектов 3D систем – в БДТП. «СУБД-Проект» сможет поддерживать также смешанный режим работы, когда часть проекта выполняется с использованием систем трехмерного проектирования, а другая часть (например, переданная для проектирования подрядчикам) – традиционным способом.

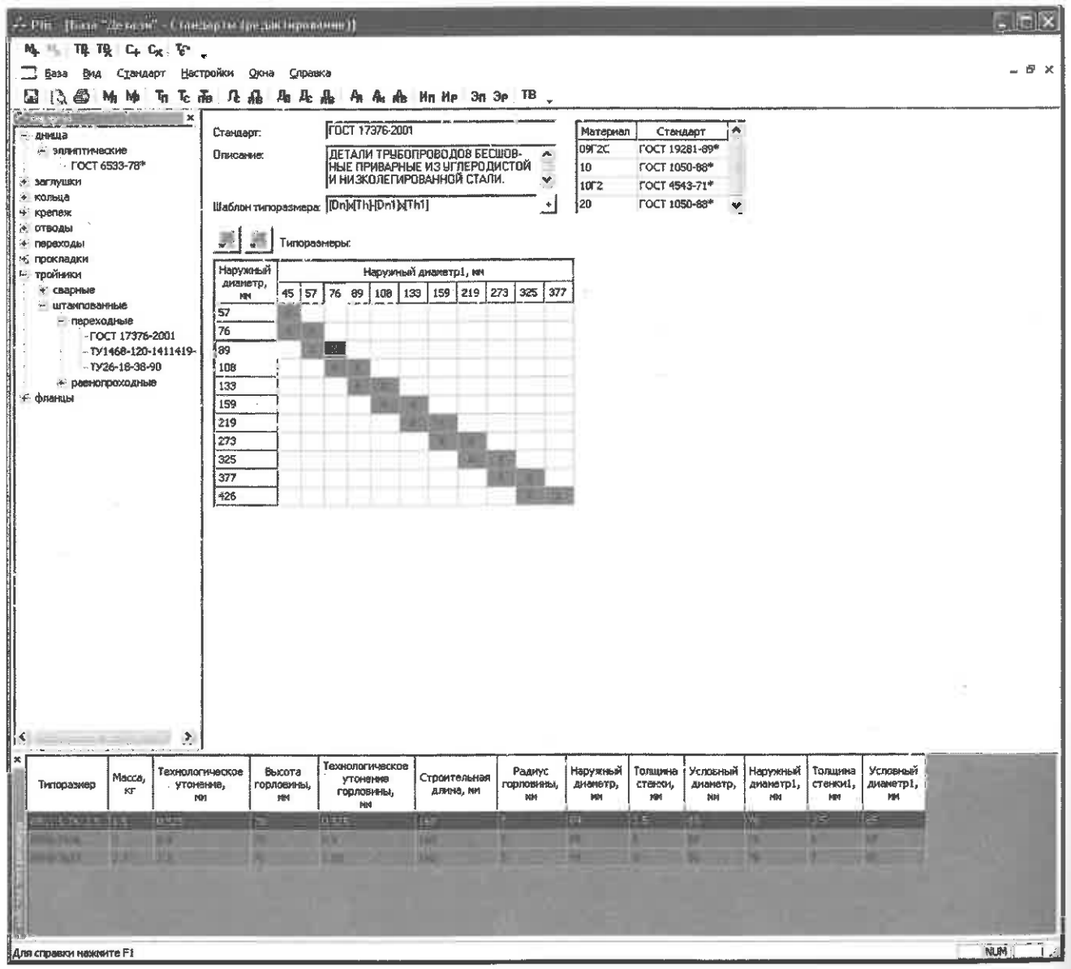


Рис. 11.22. Редактор деталей в УБД

Система применима в любых российских проектных организациях – малых, средних и крупных. При создании УБД основная задача состояла в том, чтобы с одной стороны, база была универсальной (то есть не привязанной к каким-либо жестким форматам занесения и хранения данных, как того требуют многие 3D системы), а с другой – удобной для пользователя, не имеющего специальной подготовки и опыта работы с системами управления базами данных.

УБД включает:

- номенклатурные данные по трубам, деталям, трубопроводной арматуре и материалам, применяемым при изготовлении этих изделий;
- средства создания, ведения и просмотра номенклатурных данных.

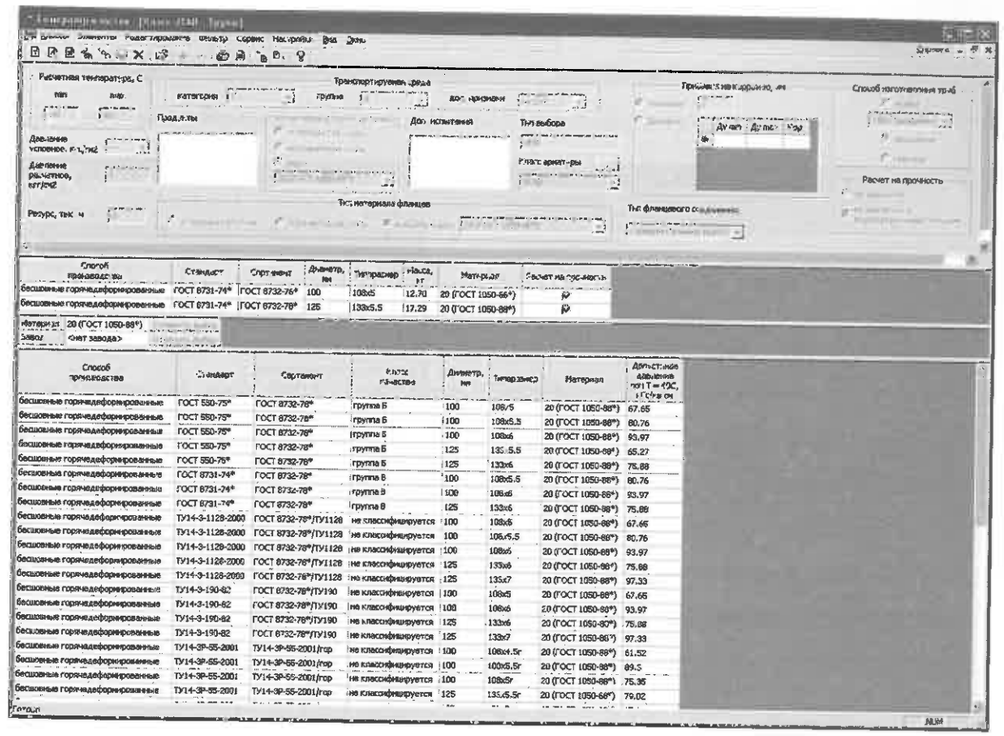


Рис. 11.23. Вид генератора классов системы СУБД Проект

Составной частью УБД являются классы (миникаталоги). Генератор классов (ГК) делает своеобразную «выжимку» для текущего проекта из общей базы данных. Класс представляет собой номенклатурный перечень труб, деталей и арматуры, которые надлежит использовать при конструировании конкретных трубопроводных линий. Правила формирования классов для трубопроводов различного назначения могут довольно сильно отличаться. В первой версии ГК реализованы правила для технологических трубопроводов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности в соответствии с ПБ 03-585-03 и трубопроводов пара и горячей воды согласно ПБ 10-573-03.

Генератор классов обладает высокой степенью интеллектуальности: при выборе труб и деталей для конкретных условий ведения технологического процесса в миникаталог попадают только те типоразмеры труб и деталей, которые отвечают условиям прочности. При работе генератора классов для труб и фасонных деталей выполняются расчеты прочности на давление. Программа выдает минимально допустимую толщину стенки изделия с

учетом коррозии, приведенной в характеристике класса, и технологического утонения, заданного в стандарте. Кроме того, показываются две следующие толщины из стандарта и допустимые давления для всех толщин, позволяющие оценить запас по толщине стенки (рис. 11.23).

Генератором проектных документов на основе длин труб и количества деталей в БДТП (рис. 11.24) автоматически генерируются проектные документы: сводная экспликация участков, ведомость трубопроводов по линиям, спецификация и другие проектные документы.

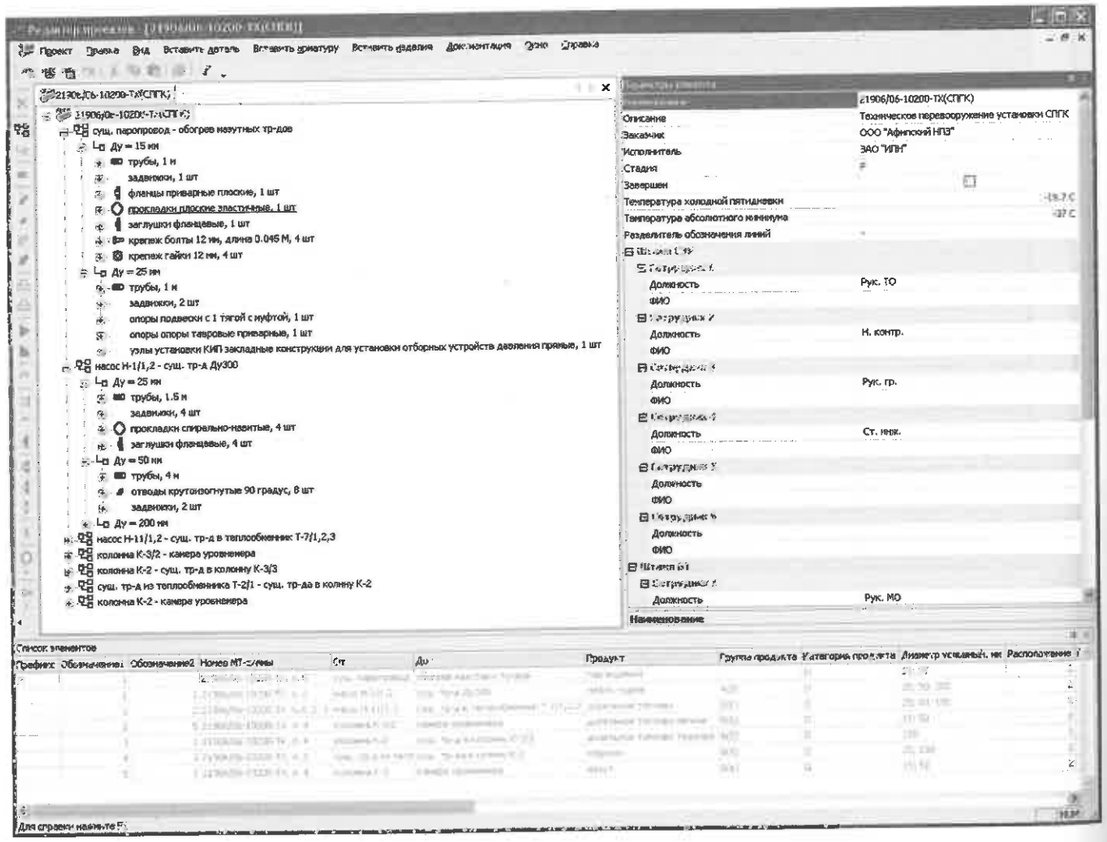


Рис. 11.24. Вид пользовательского интерфейса БДТП.

11.3.5 Открытость 3D систем и их настройка под стандарты организации

Одной из важнейших характеристик 3D систем является степень их готовности к расширению, адаптации и настройке под стандарты и нужды пользователей, причем (в основном) силами самих пользователей. Учитывая все многообразие областей применения 3D систем проектирования промышленных предприятий, разнообразие номенклатуры арматуры и оборудования, элементов трубопроводов и строительных конструкций, 3D

система в виде «закрытого» коробочного продукта, разработчики которого якобы уже «все сами предусмотрели», вряд ли может рассчитывать на широкое использование.

Хорошая 3D система должна представлять собой не «коробочный продукт», а скорее хорошо продуманную программную архитектуру, на основе которой пользователь с помощью предусмотренных в системе инструментов сможет создать адаптированное к собственным нуждам решение. Это тем более актуально в условиях России, чьи стандарты отличаются от западных и налагают меньше ограничений на используемую номенклатуру элементов трубопроводов. Большинство 3D систем следуют такому подходу.

Открытая 3D система должна, прежде всего, предоставлять пользователю удобные и хорошо описанные инструменты создания нужных ему новых **типов** «умных» объектов для всех охваченных системой частей проекта: оборудования, элементов трубопроводов (включая короба ОиВ и кабельные лотки), трубопроводных опор, строительных конструкций. При этом должны описываться все аспекты структуры, графического представления и информационных потоков для нового типа объекта на всех стадиях работы с ним в 3D системе и всех моделей, файлов и документов, где он может присутствовать.

Графическое представление нового типа объекта обычно строится из первичных параметрических объектов (графических примитивов различного типа; элементов, получающихся из примитивов путем определенных графических операций, а также точек присоединения к другим элементам с их характеристиками – положением, направлением, типом и параметрами соединения), определенным образом соединенных или расположенных друг относительно друга. Управляющими параметрами первичных параметрических объектов и их расположения служат размеры и другие данные конкретного типоразмера объекта нового типа, а также построенные из них соотношения (формулы). Параметры типоразмера могут храниться в сводном каталоге или классе по материалу (для элемента трубопровода), либо вводится пользователем в момент размещения объекта. Соответственно при определении нового типа объекта должна быть обеспечена возможность задать способ хранения и источник информации всех данных для объекта нового типа. Система должна также давать возможность в определенных рамках модифицировать структуру сводного каталога или класса по материалу (миникаталога) для хранения данных новых типов объектов (например, добавить нужные поля).

Далее, система должна содержать инструменты описания элементов пользовательского интерфейса для размещения и редактирования нового типа объектов – новых пиктограмм, палитр и меню для их вызова, а также диалоговых окон (когда они требуются) для задания и редактирования пользователем данных по объекту.

Если система поддерживает множественность графического представления объекта, соответствующие инструменты должны предусматривать возможность описания раз-

личных его графических представлений. Должна быть возможность описать вид объекта на монтажно-технологической схеме, в 3D модели, на монтажных чертежах, на деталировочных чертежах; а также с учетом и показом тепловой изоляции, зоны обслуживания; с отображением в объеме, в 2 линии, в 1 линию и т.д.

Должен быть предусмотрен механизм добавления новых типов соединений элементов, их характеристик, описания для них правил совместимости и правил выбора вспомогательных элементов для новых типов соединений (например, прокладок и крепежа). Например, должна быть возможность описать исполнения соединительных поверхностей фланцев по ГОСТ 12815-80 (в том числе исполнение 6 под линзовую прокладку, которое не имеет точного аналога в зарубежных стандартах), а также фланцы свободные на приварном кольце по ГОСТ 12822-80, которые несколько отличаются от своего западного аналога – "lap-joint flanges".

Применительно к строительным конструкциям должен быть предусмотрен инструмент создания новых типов профилей металлопроката или железобетонных элементов. Также очень полезно наличие возможности создавать и использовать различные типовые параметрические конструкции из стандартных строительных элементов – этажерки, эстакады, лестницы, площадки обслуживания, и т.п.

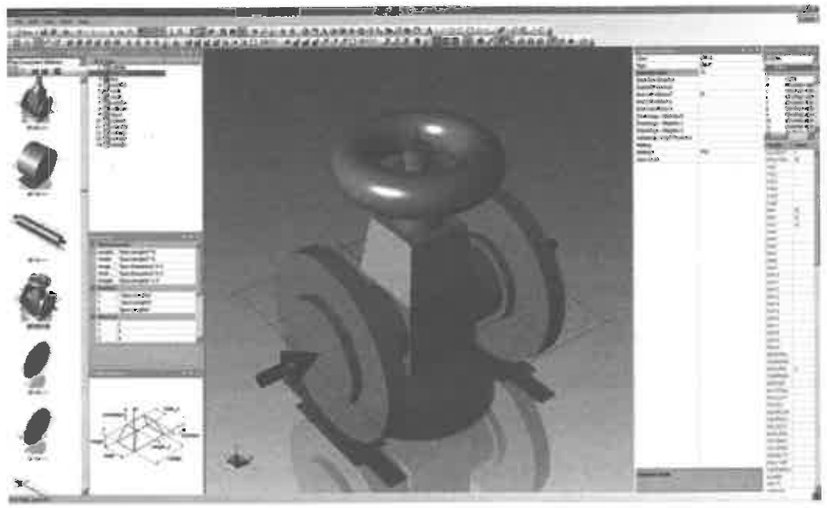


Рис. 11. 25. Визуальный конструктор параметрических моделей системы Plant4D

Большинство современных 3D систем включают возможность добавления разнообразных новых типов «умных» объектов во всей полноте описанных выше функций. Для этого в них может использоваться два основных метода:

1) пользовательский инструментарий в виде визуальных конструкторов параметрических моделей, окон и т.д. (рис. 11.25);

2) специальный встроенный язык программирования, позволяющий запрограммировать поведение новых типов объектов (обычно поставляемый с системой набор готовых объектов реализован на том же языке программирования).

Первый метод проще и нагляднее для использования конечным пользователем, в то время как второй требует участия квалифицированного специалиста отдела САПР, зато, как правило, предоставляет намного больше возможностей.

Говоря о графическом представлении объектов в 3D системах, необходимо сделать одно методическое отступление.

С одной стороны, графические возможности системы для 3D моделирования должны быть достаточными, чтобы точно и аккуратно моделировать объекты любой сложной геометрии. К сожалению, не у всех систем это получается. Примером объекта, на котором «спотыкаются» многие 3D системы, является секционный сварной отвод. Аккуратно моделировать стыки секций зачастую не удается, в результате чего при внимательном рассмотрении в модели и на чертежах видна «грязь».

С другой стороны, стремление разработчиков 3D систем проектирования ограничиться наиболее простым набором графических средств в целом оправданно, ибо такое решение - своеобразное средство борьбы с «детской болезнью» избыточной детальности. Эта «болезнь» характерна для проектировщиков, которые только ознакомились с возможностями трехмерного проектирования (особенно на примере систем, применяемых в машиностроении). Они бывают настолько «очарованы» реалистичным видом трехмерных моделей, что стремятся моделировать оборудование и трубопроводы с мельчайшими деталями, буквально «до последнего болтика». Возможно, при проектировании уникального машиностроительного оборудования это и имеет смысл, но при проектировании промышленных установок не только бессмысленно, но и вредно! В самом деле, промышленные установки состоят из сотен и тысяч стандартных, серийно изготавливаемых деталей, и излишняя подробность изображения этих деталей не только не даст никакой новой информации, но перегрузит модель несущественными деталями и замедлит работу программы. Поэтому при графическом моделировании элементов промышленных установок необходимо следовать принципу – все необходимое, но никаких лишних подробностей! Требования к изображению отдельной детали сводятся к следующему:

1) вид детали должен быть таким, чтобы ее можно было легко распознавать;

2) получаемые изображения детали на всех чертежах должны соответствовать принятым стандартам;

3) все точки присоединения необходимо отображать точно и ясно;

4) габаритные размеры нужно отображать корректно для правильной и надежной проверки на коллизии.

Некоторые объекты, например, комплекты крепежа фланцевых соединений, для которых точный пространственный вид вообще не имеет значения, в 3D модели (как и на чертежах) только условно обозначаются, хотя в БД проекта о них заносится полная информация.

Среди других очевидных требований к 3D системам – возможность настройки формы и содержания выходных документов. Должны быть доступны инструменты редактирования шаблонов выходных документов (включая формат, оформление основной надписи, используемые шрифты и стили и т.п.), а также шаблонов, правил или настроек, по которым формируются различные элементы выходных чертежей (обозначения, надписи, размеры и т.д.).

Отдельным вопросом для России является поддержка 3D системой русского языка. Система должна поддерживать работу в среде русскоязычной версии соответствующей операционной системы, быть совместима с русской версией офисного пакета (обычно MS Office), обеспечивать корректный ввод, хранение (в моделях и базах данных, каталогах и классах по материалу), редактирование и графическое отображение (на модели и в чертежах) русскоязычных текстов. А вот перевод на русский язык пользовательского интерфейса и документации системы не всегда является приоритетной задачей. Для очень дорогой 3D системы практичнее и дешевле бывает обучение английскому языку в том объеме, который нужен для работы с системой – тем более что пользователям систем такого уровня так или иначе придется общаться со своими иностранными партнерами и коллегами.

Для дополнительной настройки и адаптации, а также для реализации в рамках 3D системы собственных улучшений современные системы предоставляют пользователю соответствующие средства программирования и программные интерфейсы. Это может быть программирование на специальных встроенных в программу языках, а также программные интерфейсы для организации взаимодействия между 3D системой и самостоятельными программами пользователя или третьих фирм. При этом должен обеспечиваться доступ программ к информации в БД проекта. Тем самым 3D системы могут быть дополнены возможностями экспорта и импорта в другие программы, модулями расчетов, другими дополнительными функциями.

В последнее время все большее значение приобретает обеспечение передачи без потерь и накопления информации между абсолютно разными программными системами (в том числе системами 3D проектирования), используемыми различными участниками процесса проектирования, строительства и эксплуатации промышленных предприятий. Эта задача, эффективное решение которой еще недавно казалось практически невозможным,

теперь может быть решена благодаря приобретающему всю большую популярность международному стандарту ISO 15926 [41], описывающему структуру и формы представления информации о технологических установках и их элементах. Ведущие поставщики программных решений уже использовали данный стандарт для создания современных систем сбора и хранения всей инженерной информации о проектируемом предприятии и организации доступа к ней.

12 ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектура и строительные конструкции. По ред. В.Ф. Промыслова. М.: Высшая школа, 1983.
2. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976.
3. Гринберг Я.Н. Проектирование химических производств. М.: Химия, 1970.
4. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1981.
5. Зверьков Б.В., Костовецкий Д.Я., Кац Ш.Н., Бояджи К.И. Расчет и конструирование трубопроводов. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1979.
6. Инструкция по проектированию технологических стальных трубопроводов *Ру* до 10 *МПа*. СН 527-80. М.: Стройиздат, 1981.
7. Котелевский Ю.М., Мамонтов Г.В., Нисман Л.Н., Фукс И.Г., Экслер Л.И. Современные конструкции трубопроводной арматуры для нефти и газа. М.: Недра, 1976.
8. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Орловский Б.Я., Абрамов В.К., Сербинович П.П. Архитектурное проектирование промышленных зданий. М.: Высшая школа, 1982.
10. Расчет и проектирование систем трубопроводов. Справочная книга (перевод с английского под ред. Камерштейна А.Г. и Рождественского В.В.). М.: Гостоптехиздат, 1961.
11. Рейз Г. Монтажное проектирование химических производств в США. М.-Л.: Стройиздат, 1966.
12. Рудин М.Г., Смирнов Г.Ф. Проектирование нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Л.: Химия, 1984
13. Рудомино Б.В., Ремжин Ю.И. Проектирование трубопроводов тепловых электростанций. Л.: Энергия, 1970.

14. Севостьянов М.И. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. М.: Химия, 1972.
15. Тавастшерна Р.Н. Монтаж технологических трубопроводов. М.: Высшая школа, 1980.
16. Фолиянц А.Е., Мартынов Н.В., Серебряный В.Б., Самохин Ю.Н. Эксплуатация и ремонт технологических трубопроводов под давлением до 10 МПа (100 кгс/см2). РД 38.13.004-84. М.: Химия, 1988.
17. СА 03-005-07 Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности. Требования к устройству и эксплуатации. Ростехэкспертиза, 2007 г.
18. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. МЧС России, 2003.
19. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. М. Госгортехнадзор России, 2003.
20. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М. Госгортехнадзор России, 2003.
21. ПБ 03-583-03 Правила разработки, изготовления и применения мембранных предохранительных устройств. М. Госгортехнадзор России, 2003.
22. ПБ 03-585-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. М. Госгортехнадзор России, 2003.
23. ПУЭ Правила устройства электроустановок. Издание 7.М. Минэнерго, 1999.
24. ГОСТ 2.114-95 ЕСКД. Технические условия.
25. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
26. ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
27. ГОСТ 5762-2002 Задвижки на номинальное давление не более PN 250. Общие технические условия.
28. ГОСТ 8733-74 Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные и теплодеформированные. Технические требования.
29. ГОСТ 9544-2005 Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов.
30. ГОСТ 10705-80 Трубы стальные электросварные. Технические условия.

31. ГОСТ 12815-80 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на *Ру* от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/см^2). Типы. Присоединительные размеры и размеры уплотнительных поверхностей.
32. ГОСТ 12822-80 Фланцы стальные свободные на приварном кольце на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см2). Конструкция и размеры.
33. ГОСТ 12893-2005 Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные.
34. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
35. ГОСТ 15150-69 Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
36. ГОСТ Р 51330.11-99 Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 12. Классификация смесей газов и паров с воздухом по безопасным экспериментальным максимальным зазорам и минимальным воспламеняющим токам.
37. ГОСТ Р 52720-2007 Арматура трубопроводная. Термины и определения.
38. Орельяна У. И., Model Studio CS Трубопроводы, CAD Master №10, 2008.
39. Орельяна У. И., Model Studio CS Трубопроводы, САПР и Графика №3, 2008.
40. В.Я. Магалиф, Л.Б. Корельштейн, Е.Е. Шапиро"СУБД-Проект". Новая разработка ООО "НТП Трубопровод", CAD Master № 2006.
41. ISO 15926 – Lifecycle Data for Process Plant, 2008.
42. АТК 26-18-6-93 Альбом типовых конструкций ЦКБН «Прокладки овального и восьмиугольного сечения стальные для фланцев арматуры. Конструкция, размеры, технические требования».
43. ГОСТ 356-80 Арматура и детали трубопроводов. Давления условные, пробные и рабочие. Ряды

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Классификатор строительных норм и правил

Классификатор устанавливает разделение строительных норм и правил на 5 частей, каждая из которых делится на группы. Классификатор предназначен для установления состава и обозначения (шифра) строительных норм и правил.

Шифр должен состоять из букв "СНиП", номера части (одна цифра), номера группы (две цифры) и номера документа (две цифры), отделенных друг от друга точками; две

последних цифры, присоединяемые через тире, обозначают год утверждения документа. Например, СНиП 2.03.05-82.

Номера документам присваиваются в порядке регистрации сквозные в пределах каждой группы или в соответствии с разработанным перечнем документов данной группы.

1. Организация, управление, экономика	
Группы	
01	Система нормативных документов в строительстве
02	организация, методология и экономика проектирования и инженерных изысканий
03	Организация строительства. Управление строительством
04	Нормы продолжительности проектирования и строительства
05	Экономика строительства
06	Положения об организациях и должностных лицах
2. Нормы проектирования	
Группы	
01	Общие нормы проектирования
02	Основания и фундаменты
03	Строительные конструкции
04	Инженерное оборудование зданий и сооружений. Внешние сети
05	Сооружения транспорта
06	Гидротехнические и энергетические сооружения, мелиоративные системы и сооружения
07	Планировка и застройка населенных пунктов
08	Жилые и общественные здания
09	Промышленные предприятия, производственные здания и сооружения, вспомогательные здания. Инвентарные здания
10	Сельскохозяйственные предприятия, здания и сооружения
11	Склады
12	Нормы отвода земель
3. Организация, производство и приемка работ	
Группы	
01	Общие правила строительного производства
02	Основания и фундаменты
03	Строительные конструкции

04	Защитные, изоляционные и отделочные покрытия
05	Инженерное и технологическое оборудование и сети
06	Сооружения транспорта
07	Гидротехнические и энергетические сооружения, мелиоративные системы и сооружения
08	Механизация строительного производства
09	Производство строительных конструкций, изделий и материалов

Приложение 2. Выдержки из ГОСТ 21.001-93 «Система проектной документации для строительства»

Общие положения

Основное назначение стандартов СПДС заключается в установлении единых правил выполнения проектной документации для строительства, обеспечивающих:

- унификацию состава, правил оформления и обращения документации с учетом назначения проектных документов;
- комплектность выдаваемой заказчику документации с учетом специализации подрядчика, вида и назначения используемых им документов;
- максимально необходимый объем документации для производства строительно-монтажных работ;
- общие правила выполнения чертежей и текстовых документов независимо от назначения проектируемого объекта и вида проектных решений;
- унификацию форм проектных документов и графических изображений с исключением не требующейся потребителю информации;
- унификацию терминов и понятий, применяемых в СПДС;
- применение проектной документации в автоматизированных системах проектирования и управления строительным производством;
- возможность качественного выпуска проектной продукции и ее репрографии.

Кроме того, требования стандартов СПДС должны быть взаимоувязаны с требованиями стандартов соответствующих унифицированных систем документации, в т.ч. государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), стандартов системы репрографии и СФД, международных стандартов ИСО и МЭК, а также с другими взаимосвязанными нормативными документами.

Классификация и обозначения

Стандарты СПДС распределяются по классификационным группам, приведенным в таблице П2.1

Обозначения стандартов СПДС строятся по классификационному признаку и составляются из:

- сокращенного наименования категории нормативного документа;
- двузначного цифрового кода СПДС по классификатору;
- порядкового номера стандарта (после точки) в данной системе;
- двух последних цифр (после тире), указывающих год принятия стандарта.

Обозначения стандартов СПДС строятся по классификационному признаку и составляются из

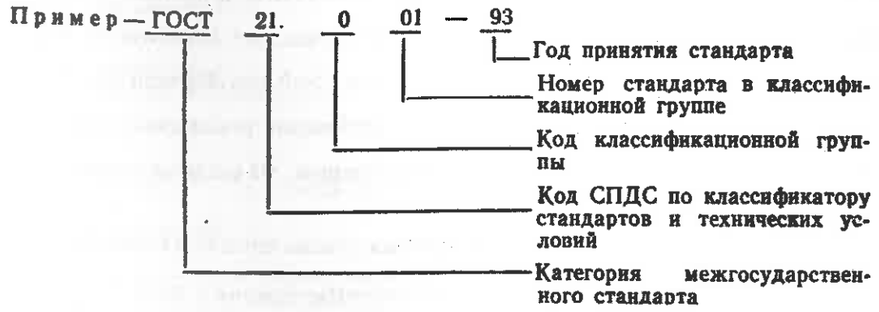
- сокращенного наименования категории нормативного документа (ГОСТ или ГОСТ Р);
- двузначного цифрового кода СПДС по классификатору;
- порядкового номера стандарта (после точки) в данной системе;
- двух последних цифр (после тире), указывающих год принятия стандарта.

Таблица П2.1

Стандарты СПДС

Код классификационной группы	Наименование классификационной группы
0	Общие положения
1	Общие правила выполнения чертежей и текстовых документов
2	Условные обозначения и изображения на чертежах и схемах
3	Правила выполнения документации инженерных изысканий
4	Правила выполнения технологической проектной документации
5	Правила выполнения архитектурно-строительной проектной документации
6	Правила выполнения проектной документации инженерного обеспечения зданий и сооружений
7	Правила выполнения проектной документации инженерных сооружений, наружных сетей и коммуникаций
8	Правила выполнения планировочной и градостроительной проектной документации
9	Прочие стандарты

Ниже приведен пример обозначения государственного стандарта согласно изложенным правилам.



Приложение 3. Современные разработчики 3D систем и их решения

Основные разработчики современных 3D систем, предлагаемые ими решения и ссылки, по которым можно найти подробную информацию, сведены в таблицу П3.1.

Таблица П3.1

Основные разработчики современных 3D систем

Разработчик	Система трехмерного проектирования	Комплексное решение в целом	Представительство в России
AEC Design Group, США http://www.cadpipe.com	CADPIPE	CADPIPE	В настоящее время нет
AVEVA, Великобритания http://www.aveva.com	PDMS	AVEVA Plant	Офис в России http://www.aveva.ru
Autodesk, США http://www.autodesk.com	Plant3D	Autodesk Plant	Офис в России http://www.autodesk.ru
Bentley Systems, США http://www.bentley.com	OpenPlant Modeler	OpenPlant	Офис в России http://www.bentley.com/ru-RU/
	PlantSpace Design Series	PlantSpace	
	AutoPlant 3D	AutoPlant	
Cadmatic, Финляндия http://www.cadmatic.com	Cadmatic	Cadmatic	Дилер: Delcam Спб http://www.delcam.spb.ru
CEA Technology, Нидерланды http://www.cea-int.com	Plant-4D	Plant-4D	Дилер: Consistent Software Distribution http://www.consistent.ru
COADE, США http://www.coade.com	CADWorx Plant	CADWorx	Дилер: EMT R http://www.emt.ru
Intergraph, США http://www.intergraph.com	SmartPlant 3D	SmartPlant	Офис в России http://www.intergraph.ru
	PDS	SmartPlant	
	TRICAD MS	TRICAD MS	
	CADISON	CADISON	
PROCAD, Канада http://www.procad.com	3DSMART	xD Power Plant	Дилер: Softline http://www.softline.ru
RELSOFT, Аргентина http://www.e-eplant.com	EPLANT	EPLANT	В настоящее время нет
TBFA, Германия http://www.x-plant.com	x-plant	x-plant	В настоящее время нет

Как следует из таблицы, в России активно внедряются и используются многие зарубежные 3D системы. Из отечественных разработок следует отметить не вошедшую в таблицу «ModelStudio CS Трубопроводы» компании CSoft Development [38],[39]. В отличие от зарубежных, эта 3D система учитывает требования российских стандартов, а по функциональным возможностям не уступает зарубежным 3D системам среднего уровня.

Таблица П3.2

Специализированное программное обеспечение к 3D системам

Разработчик	Программное обеспечение	Интеграция с 3D системами	Примечание
Трехмерное проектирование кабельных лотков (включая раскладку кабелей по лоткам)			
GSN Technologies, США http://www.gsntechnologies.com	CableMatic Plus, TrayMatic	PDS, PDMS, PlantSpace, AutoPlant, Plant4D, CADWorx	
CSoft Development, Россия http://www.csoft.ru	ElectriCS 3D	PDMS, Plant4D	
Выбор и трехмерное проектирование опор трубопроводов			
LISEGA http://www.lisega.de http://www.lisega.su	LICAD Plus	PDS, PDMS, PlantSpace	Ведущий мировой изготовитель опор
Pipe Supports Group, Великобритания http://www.pipesupports.com	PSDesigner	PDS, PDMS	
Предварительная автоматизированная компоновка оборудования и трассировка трубопроводов			
Intergraph, США http://www.intergraph.com	SmartPlant Layout	SmartPlant 3D	Входит в семейство SmartPlant
AVEVA, Великобритания http://www.aveva.com	Automated Pipe Routing	PDMS	В составе PDMS
Bentley Systems, США http://www.bentley.com	Bentley PlantWise	AutoPlant, PlantSpace, OpenPlant, PDS	Учитывает существующие объекты, представленные облаками точек
Облет и просмотр 3D моделей			
Autodesk, США http://www.autodesk.com	NavisWorks	Plant3D, AutoPlant, CADWorx, PDMS, PDS, Cadison, TRICAD MS, Plant4D, 3DSMART, x-Plant, CADPIPE; 3D модели множества форматов	Есть модуль поиска коллизий; Отображает результаты лазерного сканирования

VRcontext International, Бельгия http://www.vrcontext.com	WalkInside	PDS, PDMS; 3D модели в AutoCAD и Microstation	Отображает результаты лазерного сканирования
ООО «Проект-сервис», Россия http://www.project-srv.ru	P3DB/Navigator	PDS, PDMS, AutoPlant, PlantSpace, Plant4D; 3D модели в AutoCAD и Microstation	
Автоматическая генерация деталировочных чертежей трубопроводов («изометричек»)			
Alias ltd, Великобритания http://www.alias.ltd.uk	ISOGEN	Большинство систем	С 2006 г. в составе Intergraph
Автоматическая генерация монтажных чертежей			
3DS, США http://www.3ds.net	OrthoGEN	PDS, SmartPlant 3D, PDMS	
9SQ, Корея http://www.9sq.co.kr	PlantWAVE	AutoPlant, PDS, PDMS, CADWorx	С октября 2009 г. в составе Bentley Systems
TechServer, Корея http://www.techserver.co.kr	e-Draw PDS Ortho Draw	PDS, PDMS, PlantSpace	С мая 2008 г. в составе Intergraph
Полнофукциональные системы управления материалами			
Intergraph, США http://www.intergraph.com	SmartPlant Materials	SmartPlant 3D, PDS, PDMS	
AVEVA, Великобритания http://www.aveva.com	VPRM	PDMS, PDS	
Системы хранения инженерной информации			
Intergraph, США http://www.intergraph.com	SmartPlant Foundation	SmartPlant 3D, PDS	Интеграция с другими продуктами SmartPlant
AVEVA, Великобритания http://www.aveva.com	AVEVA NET	PDMS	Интеграция с другими продуктами AVEVA
Bentley Systems, США http://www.bentley.com	Projectwise Lifecycle Server	AutoPlant, PlantSpace, OpenPlant	

В таблице П3.2 приведено специальное программное обеспечение, дополняющее возможности 3D систем и работающее совместно с ними.

Приложение 4. Прикладное программное обеспечение ООО «НТП Трубопровод», используемое в монтажном проектировании

1. Прочностные расчеты

- **СТАРТ:** программы семейства СТАРТ *предназначены* для расчета прочности и жесткости трубопроводов различного назначения, имеющих произвольную конфигурацию в пространстве, при статическом и циклическом нагружении.

Программа выпускается *в четырех модификациях*, различающихся по цене и возможностям:

– *СТАРТ* - для массового пользователя;

– *СТАРТ-Проф* - для профессионалов, решающих большеразмерные задачи, а также для расчета длинных трубопроводов, защемленных в грунте;

– *СТАРТ-Лайт* - облегченный вариант программы, предназначенный для учебных целей;

– *СТАРТ-Экспресс* - недорогой продукт, предназначенный для расчетов типовых элементов и узлов на стадии конструирования трубопровода.

- **Ресурс:** программа *предназначена* для расчета остаточного ресурса элементов технологических, нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов тепловых сетей под действием коррозионно-эрозионного воздействия. Использование программы позволяет повысить безопасность эксплуатации трубопроводов при сокращении трудозатрат на этапе анализа результатов диагностики (измерений толщины).

- **ПАССАТ:** программа *предназначена* для расчета прочности и устойчивости сосудов, аппаратов и их элементов с целью оценки несущей способности в рабочих условиях, в условиях испытаний и монтажа. Программа рассчитана на применение при проектировании, реконструкции и диагностике сосудов и аппаратов, а также при проведении поверочных расчетов объектов нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической, газовой, нефтяной и других смежных отраслях промышленности.

Программа состоит из *следующих модулей:*

– *Базовый модуль "ПАССАТ"* - расчет прочности и устойчивости горизонтальных и вертикальных сосудов и аппаратов по Российским нормативным документам. *модуль «ПАССАТ-Колонны»* - расчет на прочность и устойчивость аппаратов колонного типа с учетом ветровых нагрузок и сейсмических воздействий;

– *модуль «ПАССАТ-Теплообменники»* - расчет на прочность и устойчивость теплообменных аппаратов кожухотрубчатого типа;

– *модуль "ПАССАТ-Штуцер"* - расчет врезки штуцера в обечайки и выпуклые днища, а также арматурных фланцев от воздействия давления и внешних нагрузок. **Штуцер-МКЭ:** первая специализированная отечественная программа для расчета прочности и жесткости места соединения штуцера с сосудом (аппаратом) с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

2. Гидравлические и тепловые расчеты

- **Гидросистема:** программа *предназначена* для проведения тепловых и гидравлических расчетов, а также выбора диаметров трубопроводов, перекачивающих жидкие или газообразные продукты. Программа производит три основных типа расчета:

– гидравлический расчет изотермического течения (без расчета изменения температуры продукта),

– проектный расчет (выбор диаметров),

– теплогидравлический расчет (с расчетом изменения температуры продукта и теплопотерь в окружающую среду).

- **Предклапан:** в соответствии с ГОСТ 12.2.085-2002 программа определяет необходимые свойства продукта по заданному составу; рассчитывает требуемое проходное сечение предохранительного клапана; подбирает марку и число клапанов; выбирает и проверяет диаметры подводящего и отводящего трубопроводов; проводит гидравлический расчет подводящего и отводящего трубопроводов; автоматически формирует проектную документацию, а также подробный протокол расчета.

- **СТАРС:** программа рассчитывает теплофизические свойства и фазовое состояние индивидуальных веществ, нефтяных фракций, смесей, в том числе смесей углеводородов с нефтяными фракциями, как в отдельной точке, так и в заданном диапазоне температур и давлений.

3. Расчет и проектирование тепловой изоляции

- **Изоляция:** программа в автоматическом режиме на основе СНиП 41-03-2003 полностью формирует теплоизоляционные конструкции трубопроводов и оборудования, рассчитывает и генерирует лист общих данных (ведомость ссылочных и прилагаемых документов), техномонтажную ведомость, ведомость объемов работ и спецификацию в соответствии с требованиями СПДС.

В.Я. Магалиф, Д.М. Иткина, Л.Б. Корельштейн

МОНТАЖНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ, НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ, И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Москва, 2010 г.

Подписано в печать 05.05.2010 г.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано ООО "НАВИГАТОР",

111020, г. Москва, ул. Ухтомская, д. 6,

тел.: (495) 672-32-84, 978-41-73, 978-41-74

Зак.№ 418/10

ISBN 978-5-9901793-2-5