

# Расчет и выбор трубопроводов гидравлических систем

Доктор инженер  
Норберт Ахтен

## 1. Введение

Назначением трубопроводов в гидравлических системах является подача и отвод гидравлической жидкости.

При этом они подвергаются действию механических, коррозионных или тепловых нагрузок, которые могут действовать как индивидуально, так и в различных комбинациях. Для выбора трубопроводов эти нагрузки имеют решающее значение, из чего и вытекает задача экономически выгодного, надежного и обеспечивающего соответствующий срок их эксплуатации расчета и выбора этих трубопроводов. Достижение этой цели осуществляется по схеме, представленной на рисунке 156. При этом должны быть соблюдены наряду с общедействующими правилами заводские предписания и нормы.

Процедура расчета и выбора трубопроводов базируется на имеющейся принципиальной схеме, исходя из известных данных по среде, расходу, давлению и температуре.

Кроме этого - как видно по таблице 40 - на выбор определяемых величин - ДУ, толщины стенки, материала - влияет еще целый ряд факторов, которые также учитываются в расчёте.

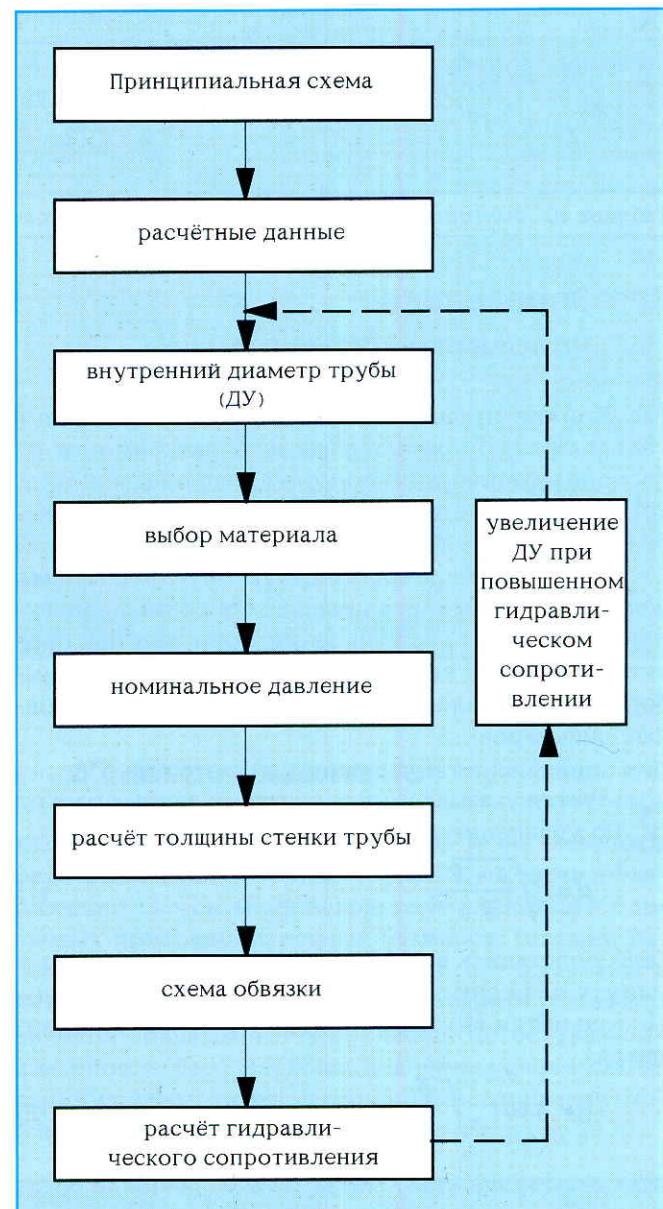


Рис. 156: Схема расчёта и выбора трубопроводов гидравлических систем

Определяемая величина	Влияющие факторы
Внутренний диаметр трубы	Объёмный поток (расход) Скорость движения среды Вязкость среды Гидравлическое сопротивление
Толщина стенки трубы	Рабочее давление (возможные дополнительные нагрузки) Требуемые или предписанные коэффициенты запаса Занижение толщины стенки, обусловленное технологией изготовления Коррозия внутренней и внешней поверхностей Прочностные свойства материала трубы Температура: рабочая и окружающего воздуха Стандартизация размеров
Материал трубы	Показатели прочностных свойств Возможности обработки (качества поверхностей, свариваемость) Коррозия Допустимый температурный диапазон применения

Таблица 40: Факторы, влияющие при выборе труб на определяемые величины

## 2. Определение условного диаметра (ДУ)

Расчётом внутреннего диаметра труб учитывается гидравлическое сопротивление в зависимости от расхода и физических свойств гидравлической жидкости. Для расчёта производительности насоса необходимо, чтобы было рассчитано общее гидравлическое сопротивление гидравлической системы. Если расчётное гидравлическое сопротивление будет значительно выше значений, принятых при проектировании, то необходимо произвести новый выбор трубопроводов с учётом более крупных условных диаметров.

Для определения внутреннего диаметра труб " $d_i$ " используется указываемый в исходных данных расход " $V$ ". По уравнению (1) при этом получается

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{w \pi}}. \quad (1)$$

Если подставить в уравнение (1) расход в литрах в минуту и среднюю скорость " $w$ " в метрах в секунду, то получится внутренний диаметр трубы в миллиметрах

$$d_i = 4,607 \sqrt{\frac{V}{w}}. \quad (2)$$

Используемое в уравнениях (1) и (2) значение средней скорости должно определяться с учётом экономического и технического аспектов. Экономический аспект включает в себя капитальные и производственные затраты. Ему противостоят пределы технических возможностей, которые обусловлены законами гидродинамики и превышение которых ведёт к превышению уровня шума, повышенным вибрациям и явлениям эрозии в фасонных элементах трубопроводов. Ориентировочные значения для выбора сред-

ней скорости [1] могут быть взяты из таблицы 41, где они подобраны из документации США и ФРГ. Одновременно с определением внутреннего диаметра труб может быть определен и условный диаметр их (сокращенное обозначение "ДУ") по DIN 2402 [2] (см. таблицу 42), обеспечивающий стыкуемость всех элементов.

## 3. Выбор материала

Выбор материала труб производится в первую очередь на основе критериев прочностных свойств, но при этом придается особое значение технологии изготовления (бесшовные или сварные), возможности последующей механической обработки и использования для соединения труб. Должна быть проверена антикоррозионная стойкость материала из учета возможной коррозии внутренних и внешних поверхностей.

В области гидравлики широко применяются до ДУ 32 прецизионные стальные трубы по DIN 2391-С [3] из материала St 35 (поставочное состояние: DIN 2391, часть 2), нормализованные. Их предпочтение объясняется хорошей возможностью механической обработки (сварка, гнутье, отбортовка), высокой стойкостью к знакопеременным нагрузкам и соответствием по наружному диаметру при использовании резьбовых соединений. На высокое давление по условиям прочности вместо материала St 35 может быть использован материал St 52. Начиная с ДУ 40 используются бесшовные стальные трубы по DIN 2448 [4] и 2445 [5] из St 37.4 или St 52.4 по DIN 1630 [6]. В силу возможного действия высокого давления из сварных труб могут применяться только трубы, выполненные по особым техническим условиям (группа 2) и имеющие коэффициент запаса прочности 1.

Всасывающая линия кинематич. вязкость $v$ в $\text{мм}^2/\text{сек.}$	$w$ в м/сек.	Напорная линия		Линия возврата $w$ в м/сек.
		давление $p$ в бар	$w$ в м/сек.	
150	0,6	25	2,5 до 3	1,7 до 4,5
100	0,75	50	3,5 до 4	
50	1,2	100	4,5 до 5	
30	1,3	200	5 до 6	
		> 200 при $v =$ 30 до 150 $\text{мм}^2/\text{с}$	6	

Таблица 41: Рекомендуемые приближенные скорости потока в трубопроводах гидравлических систем

	10	100
	12	125
	15	150
	20	200
	25	250
3	32	300 350
4	40	400 450
5	50	500
6	65	600 700
8	80	800 900

Таблица 42: Условные диаметры (ДУ) трубопроводов по DIN 24302 (выдержка)

ФРГ			Великобритания		США		Франция	
номенклатура материала	номер ма- териала по каталогу	нормы	номенклат. материала	нормы	номенклат. материала	нормы	номенклат. материала	нормы
St37.4	1.0255	DIN1630	CDS23	BS3602	A	ASTMA53	—	—
St52.4	1.0581	DIN1630	HFS23	BS1775	3	ASTMA252	—	—
St35	1.0308	DIN2391	CDS3	BS980	1010	ASTMA519	Tu37-b	PRA49-310
St37.0	1.0254	DIN1626	ERW360	BS3601	A	ASTMA53	Tu37-b	A49.112
X6CrNiMoTi17122	1.4571	DIN17458	320S17	BS970P.4	316Ti	AISI	Z8CNDT17-12	A35-572
X6CrNiTi1810	1.4541	DIN17458	321S12	BS970P.4	321	AISI	Z6CNDT18-11	A35-572

Таблица 43: Предпочитаемые марки материалов по нормам ФРГ и зарубежным

Сварные трубы не могут применяться на резьбовых соединениях с врезными кольцами и на отбортоенных. В таблице 43 представлена подборка предпочтительно используемых в гидравлических системах материалов по нормам ФРГ и зарубежным. В ней указаны также и нержавеющие стали, используемые для изготовления прецизионных труб по DIN 2463 [7]. Указанные в таблице зарубежные марки материалов эквивалентны немецким и должны использоваться в зависимости от соответствующих предписаний.

Все трубы на высокое давление должны иметь сертификат по DIN 50049-3.1B [8]. Не могут использоваться так называемые "обычные" трубы, т.к. они предназначены для ограниченного диапазона по давлению и должны приниматься с увеличенными запасами.

#### 4. Условное давление

Условное давление трубопроводов и их элементов представляет собой индекс ступени давления, объединяющей элементы одинакового исполнения и одинаковых присоединительных размеров. Ступени давления нормированы по сериям и представлены в DIN 2401, часть 1 [9] (таблица 44). Указание условного давления (сокращенно PN) производится без указания размерности "бар". Числовое значение условного давления соответствует максимальному применяемому давлению, принимаемому по температуре 20 °C.

1	10	100	1000
1,6	16	160	1600
2,5	25	250	2500
4	40	400	4000
6	63	630	6300

Таблица 44: Серии условного давления (PN)  
Трубопроводов по DIN 2401, часть 1

## 5. РАЗЧЁТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Расчёт необходимой толщины стенки трубопровода может выполняться в принципе по указанному случаю нагрузок по DIN 2413 [10] или как составная часть документации на подведомственные сосуды и аппараты, работающие под давлением, по нормам AD B1 [11]. Эти расчётные основы действительны для трубопроводных систем, работающих в ФРГ или признаваемых приёмочными инстанциями соответствующей страны при установке их за рубежом. В приведенной ниже таблице (см. таблицу 45) указаны уравнения для определения расчётной толщины стенок по этим нормам. Входящие в уравнения с (3) по (6) значения коэффициентов запасов  $S$ , а также коэффициент запаса прочности сварных швов могут быть приняты по таблицам 46 и 47. Кроме того в таблице 46 приведены соответствующие значения прочностных характеристик "K", которые могут быть использованы в соответствующих уравнениях.

В основу уравнений по DIN 2413 положено требование о недопустимости текучести материала под действием давления на максимально нагруженном волокне материала трубы.

Различают 3 вида нагрузок:

- Вид I

преимущественно статическая нагрузка при максимальной температуре до 120 °C.

- Вид II

преимущественно статическая нагрузка при температурах выше 120°C (при определённых условиях может приниматься и для температур ниже 120 °C).

- Вид III

пульсирующая нагрузка.

Для I и II видов принимается преимущественно статическая нагрузка, при которой не превышается количество циклов предельной нагрузки. Под циклами нагрузки понимаются в данном случае накопеременные нагрузки по давлению в широком диапазоне колебаний давления. В таблицах 48 и 49 указаны количества предельных циклов в зависимости от сопротивления разрыву  $R_m$  и допустимого напряжения  $K/S$  для двух различно изготовленных труб. При предполагаемых циклах нагрузки, выходящих за указанные количества, сначала рассчитывается толщина стенки для преимущественно статической нагрузки. Дополнительно должен быть проведен расчёт на вид нагрузки III, при котором учитываются только циклы с одинаковой амплитудой колебаний по давлению между максимальным давлением " $\hat{p}$ " и минимальным давлением " $p$ ". Принимается наибольшая толщина стенки трубы по этим двум расчётам.

нормы	пределы применения	вид нагрузки	уравнение для расчёта толщины стенки
DIN 2413	$d_a/d_i \leq 1,7$ температура ≤ 120 °C	I, преимущественно статическая	$s_v = \frac{d_i \cdot p}{20 \frac{K}{S} \cdot v - 2p} \quad (3)$
DIN 2413	a) $d_a/d_i \leq 1,7$ температура > 120 °C b) $d_a/d_i \geq 1,1$ и $\leq 1,7$ температура < 120 °C	II, преимущественно статическая	$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(20 \frac{K}{S} - p) \cdot v} \quad (4)$
DIN 2413	$d_a/d_i \leq 1,7$	III, пульсирующая	a) $s_v$ по уравнению (3) b) $s_v = \frac{d_i \cdot (\hat{p} - p)}{20 \frac{K}{S} - 3 \cdot (\hat{p} - p)} \quad (5)$ $s_{v_{\max}}$ использовать из a) и b)
AD B1	$d_a/d_i \leq 1,2$ или $d_a \leq 200$ мм и $d_a/d_i \leq 1,7$	преимущественно статическая	$s_v = \frac{d_i \cdot p}{20 \frac{K}{S} \cdot v - p} \quad (6)$ $s_{v_{\min}} = 2$ мм

Таблица 45: Расчётные основы по DIN 2413 и нормам AD B1

нормы	значение прочностных свойств $K$	относительное удлинение при разрыве $A_5$	коэффиц. запаса прочности для труб, принимаемых с сертиф. по DIN 50 049 $S$
DIN 2413 вид нагрузки I	$R_{p,0,2}$ при 20 °C	≥ 25 % 20 % 15 %	1,5 1,6 1,7
DIN 2413 вид нагрузки II	a) наименьшее из $R_{p,0,2}^*$ и $R_{m/2 \cdot 10^5}$ при расчётной температуре		1,5
	b) $R_{p,0,2}$ при 20 °C	≥ 25 % 20 % 15 %	1,6 1,7 1,8
DIN 2413 вид нагрузки III	$\sigma_{Sch}$		1,5
AD B1	$R_{p,0,2}$ или $R_{m/10^5}$ при расчётной температуре по нормам AD W4		1,5

\* Для труб из 1.4571 или 1.4541 может приниматься  $R_{p,1}$  при рабочей температуре.

Таблица 46: Значения коэффициентов запасов

трубы	материал по	испытания	коэффициент $V$
общего назначения (обычного торгового качества) DIN 1626	DIN 17 100, группа качества 1	без заводского свидетельства, с заводским свидетельством	0,5 0,7
по нормам DIN 1626	DIN 17 100, группа качества 2	без сдаточных испытаний, со сдаточными испытаниями	0,8 0,9
по особым нормам*	не ниже, чем по DIN 17 100 группа качества 2	специальн. испытания, прежде всего 100%-ный контроль сварных швов неразрушащ. метод.	1,0

\* как продольно-сварные эти трубы должны преимуществен. использоваться в гидравлике с учётом возмож. давлений.

Таблица 47: Коэффициент запаса прочности сварных швов продольно-сварных труб по DIN 2413

Для трубопроводов, подвергающихся нагрузкам в переменной амплитуде колебаний по давлению в неравные интервалы времени, расчёт толщины стенки не может быть произведён по указанным уравнениям. В этом случае необходимо проведение специальных исследований, направленных в основном на проверку повреждений, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

В отличие от статической нагрузки при расчёте на динамические нагрузки должны использоваться соответствующие показатели прочностных свойств, которые проще всего можно взять для пульсирующей нагрузки по внутреннему давлению по диаграмме Вёлера. По этой диаграмме, представленной на рисунке 55, видно, что расчёт толщины стенки на динамическую нагрузку может проводиться или по диапазону запаса прочности, или по диапазону за-

паса длительной прочности. При этом следует отметить, что усталостная прочность при пульсирующей нагрузке принимается по соответствующему числу циклов, т.е. данный расчёт толщины стенки трубы действителен только для этого количества циклов. Для длительной же усталостной прочности при пульсирующей нагрузке ограничение количества циклов не указывается. В диаграммах на рисунках 56 и 57 представлены графики Вёлера для находящихся под пульсирующей нагрузкой бесшовных, сварных (при пламенной закалке), а также сваренных под флюсом стальных труб по DIN 2413, из которых можно непосредственно брать показатели прочностных свойств.

допустимое напряжение $K/S$ в Н/мм <sup>2</sup>	сопротивление разрыву $R_m$ в Н/мм <sup>2</sup>				
	≤ 450	500	550	600	650
160	100 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000
180	50 000	90 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000
200	30 000	50 000	80 000	> 100 000	> 100 000
250	10 000	17 000	26 000	40 000	56 000
300				16 000	22 000
350					10 000

Таблица 48. Предельное количество циклов знакопеременных нагрузок по DIN 2413 (виды нагрузки I и II) для бесшовных и сварных (при пламенной закалке) стальных труб ( $v = 1$ ) с коэффициентом запаса по циклам нагрузки  $S_L = 10$ 

допустимое напряжение $K/S$ в Н/мм <sup>2</sup>	сопротивление разрыву $R_m$ в Н/мм <sup>2</sup>				
	≤ 500	550	600	650	700
120	32 000	50 000	80 000	>100 000	> 100 000
140	18 000	26 000	40 000	56 000	80 000
160	10 000	15 000	22 000	30 000	42 000
180	6 000	10 000	13 000	19 000	25 000
200	4 000	6 000	8 000	11 000	16 000
250			3 000	5 000	6 000
300				2 000	3 000

Таблица 49. Предельное количество циклов знакопеременных нагрузок по DIN 2413 (виды нагрузки I и II) для стальных труб, сваренных под флюсом ( $v = 1$ ) с коэффициентом запаса по циклам нагрузки  $S_L = 10$ 

Для трубопроводов, являющихся частью сосудов, работающих под давлением, расчёт толщины стенки производится по нормам AD BI (см. уравнение 6). В данном случае решающими являются показатели прочностных свойств по нормам AD WI на материал.

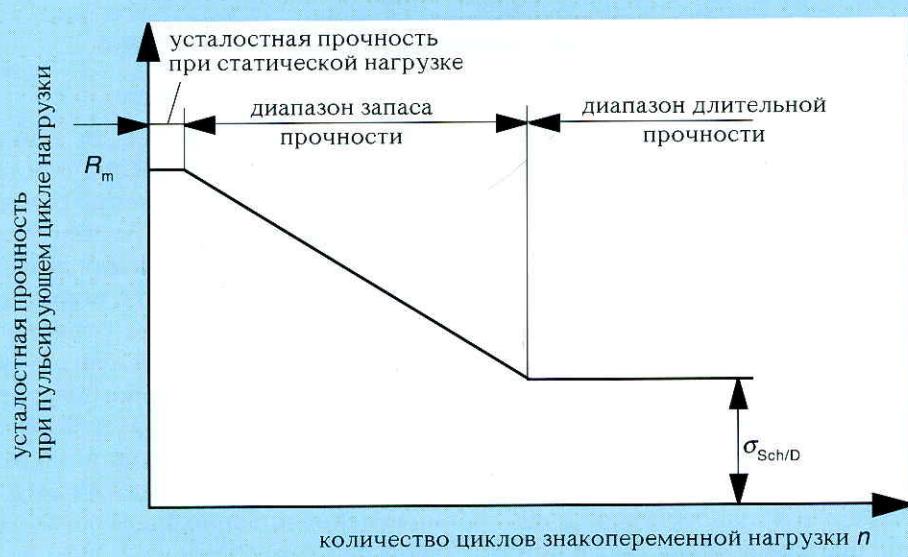


Диаграмма 55. График Вёлера, схематическое изображение

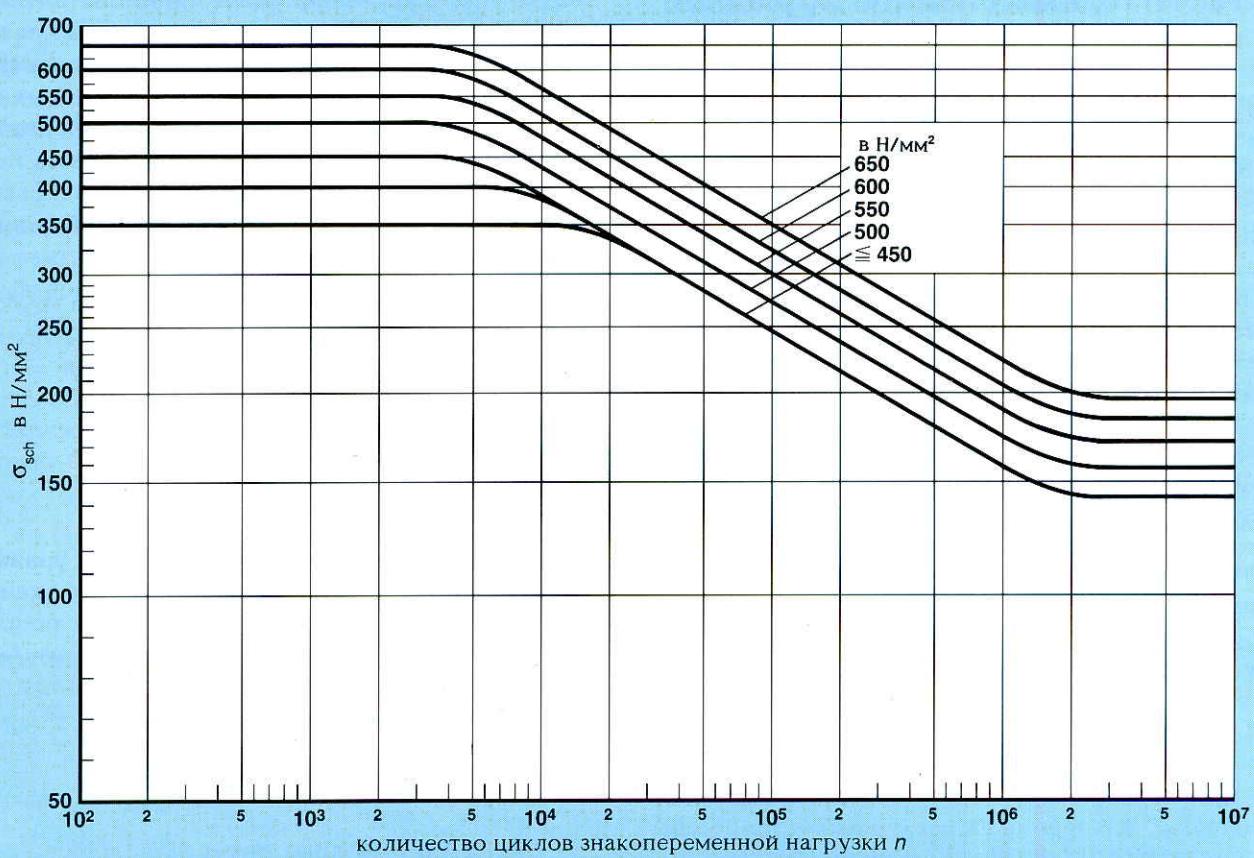


Диаграмма 56: Усталостная прочность при пульсирующем цикле нагрузки для бесшовных и сварных (при пламенной закалке) стальных труб ( $v = 1$ )

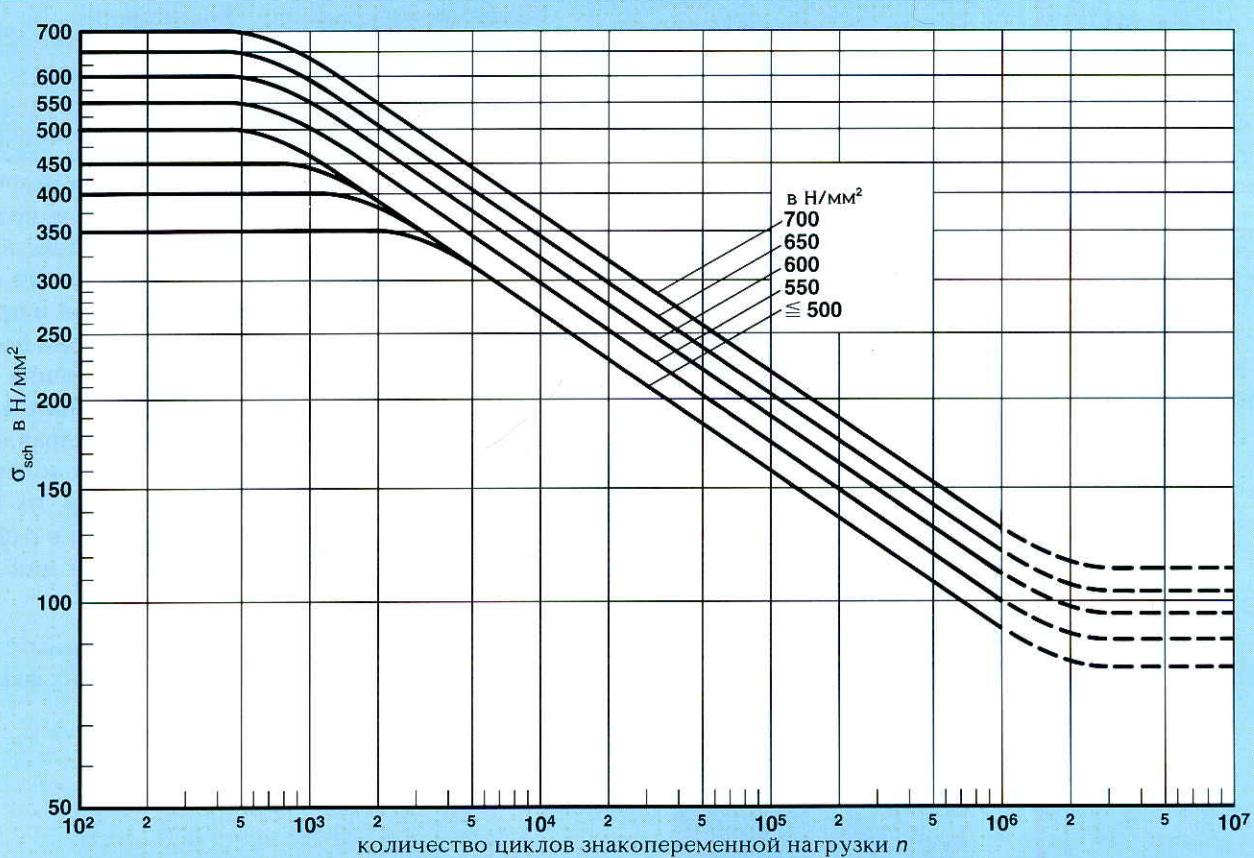


Диаграмма 57: Усталостная прочность при пульсир. цикле нагрузки для стальных труб, сваренных под флюсом ( $v = 1$ )

## 5.1 Расчёт толщины стенки по зарубежным нормам

Для установок, на которые распространяется действие зарубежных норм, принимаются особые уравнения расчёта, которые берутся из соответствующих рекомендаций зарубежных обществ, производящих приёмку оборудования. В каждом случае до проведения расчётов системы трубопроводов необходимо выяснить, по каким нормам должен производиться расчёт. Приведённые далее уравнения расчёта представляют собой выборку из важнейших зарубежных норм и не претендуют на полноту.

### - Расчёт толщины стенки по британскому стандарту BS 778, приложение A

В Великобритании уравнение для расчёта толщины стенки трубы берётся по нормам BS 778, приложение A [12]. Положенное в основу этих норм уравнение выглядит следующим образом:

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(20 \frac{K}{S} - p)} + x. \quad (7)$$

Уравнение (7) идентично за исключением прибавки толщины стенки "x" уравнениям по DIN 2413/II и по нормам AD-B1. Прибавка толщины стенки составляет обычно 12,5% и учитывает ослабления, возникающие пригибе труб. В качестве показателя прочностных свойств принимается минимальное сопротивление разрыву. При этом коэффициент запаса прочности указывается для некорродирующих сред 4 и для воды 4,5. Минимальные радиусы загиба должны быть равны 3 Ø наружный, а овальность должна быть не более 5% от наружного диаметра.

### - Расчёт трубопроводов по французским нормам NF A 49-300

Французские нормы для расчёта трубопроводов [13] в отличие от немецких и британских не предусматривают непосредственного расчёта толщины стенки, а содержат основы для расчёта давления испытания и разрыва рассматриваемой трубы, по которым можно вывести следующие уравнения для определения толщины стенки:

$$s_v = \frac{d_i \cdot p'}{20 K - 1,2 p'}, \quad (8)$$

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{\frac{20 K}{S} - 1,2 p}. \quad (9)$$

По уравнению (8) определяется расчётная толщина стенки на давление испытания "p'", причём в качестве показателя прочностных свойств принимается

90% от  $R_{p_{0,2}}$ . В уравнении же (9) принимается рабочее давление и минимальное сопротивление разрыву. Необходимые коэффициенты запаса прочности  $S$  во французских нормах не указываются. В этом отношении даются ссылки на существующие предписания различных областей применения.

### - Расчёт трубопроводов по уравнению Барлова (США)

Наиболее распространенным для расчёта трубопроводов по американским предписаниям является уравнение Барлова [14].

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{20 \frac{K}{S} - 2 p} \quad (10)$$

В основном уравнение (10) соответствует уравнению для расчёта по DIN 2413, вид нагрузки 1. Но в качестве показателя прочностных свойств в нём используется минимальное сопротивление разрыву материала трубы. Для возможных условий эксплуатации принимаются следующие коэффициенты запаса:

$S=4$ : для нормальных рабочих условий;

$S=6$ : для значительных пиков по гидравлической и механической нагрузкам;

$S=8$ : для экстремальных рабочих условий, связанных с опасностью применения.

## 5.2 Учёт влияющих факторов

В уравнениях расчёта зарубежных норм не учитываются никакие другие влияющие факторы, которые объясняются коррозионным воздействием, вибрацией в результате нестабильного состояния потоков, например, гидравлическими ударами и пр.. Эти явления нельзя недооценивать, так как они помимо всего прочего при определённых условиях дают другие предпосылки для расчётных данных или же превышают их во много раз. В случае гидравлических ударов, которые могут являться следствием срабатывания быстрозапорных вентилей, их величина должна быть рассчитана и сложена с рабочим давлением. Соответствующие уравнения для этого берутся по DIN 2413.

При окончательном определении толщины стены трубы "S" должны учитываться два других фактора, а именно:

- занижение толщины стенки " $c_1$ ",
- износ за счёт коррозии " $c_2$ ".

Занижение толщины стенки трубы обусловлено технологией изготовления и определяется в технических условиях поставки для бесшовных и сварных труб (см. таблицу 50).

Прибавка на коррозию принимается для ферритных сталей в общем в размере 1 мм. Если по условиям среды или внешних факторов коррозии не будет, то прибавка на коррозию может не учитываться. Она не учитывается также и для аустенитных (нержавеющих) материалов. Таким образом, выполняемая толщина стенки представляет собой

$$s = s_v + c_1 + c_2 \quad (11)$$

Если занижение толщины стенки указывается в %, то "S" может быть рассчитано по уравнению (12):

$$s = (s_v + c_2) \cdot \frac{100}{100 - c_1} \quad (12)$$

### 5.3 Расчёт трубных колен

При расчёте толщины стенки трубных колен можно в принципе исходить из расчёта прямолинейных участков трубопроводов. Но за счёт процессагибки предполагается большее занижение толщины стенки, а также действие различных нагрузок на внешнюю и внутреннюю поверхности колена. Для предотвращения снижения усталостной прочности при пульсирующей нагрузке - и прежде всего в условиях действия динамических нагрузок на трубопровод - не допускается увеличенное занижение толщины стенок и увеличенное образование плоских участков при гибке труб. А поэтому и радиусы загиба не должны иметь слишком малой величины. Для этих случаев по DIN 5508 [15] рекомендуются радиусы загиба в зависимости от наружного диаметра труб (см. таблицу 51). Как правило отношение радиуса загиба к наружному диаметру составляет от 2,5 до 3 и указывается для тонкостенных труб как миним. величина.

	наружный диаметр $d_a$ в мм	толщина стенки $s$	занижение толщины стенки $c_1$
бесшовные прецизионные стальные трубы по DIN 2391, часть 1	< 5 6 ≤ $d_a$ ≤ 8 > 8		20 % 15 % 10 %
бесшовные стальные трубы по DIN 1629 (выдержка)	≤ 130	< 4 $s_n$ * > 4 $s_n$	10 % 9 %
сварные стальные трубы по DIN 1628		$s \leq 3$ мм $3 \text{ мм} < s \leq 10$ мм $s > 10$ мм	0,25 мм 0,35 мм 0,50 мм

\*  $s_n$  нормальная толщина стенки по DIN 2448

Таблица 50: Допустимое занижение толщины стенки бесшовных и сварных стальных труб

$d_a$ в мм	6	8	10	12	14	15	16	18
$R$ в мм	16	20	25	32,5	40	45		
$d_a$ в мм	20	22	28	35	38	42	60	
$R$ в мм	55	65	80	100	110	160		

Таблица 51:

Рекомендуемые радиусы загиба по DIN 5508 (выдержка)

Необходимые толщины стенок по внутреннему и наружному радиусам (соответственно:  $s_{vi}$  и  $s_{va}$ ) рассчитываются по DIN 2413.

$$s_{vi} = s_v \cdot B_i \quad \text{и} \quad (13)$$

$$s_{va} = s_v \cdot B_a. \quad (14)$$

Выражения " $B$ " и " $B_a$ " в уравнениях (13) и (14) обозначают коэффициенты, определяемые по диаграмме 58 в зависимости от принятого радиуса загиба  $R/d_i$  и параметра  $s_v/d_i$ . Для тонкостенных труб эти коэффициенты могут рассчитываться как приближённые по следующим уравнениям: ( $s_v/d_i \leq 0,02$ )

$$B_i = \frac{2R - \frac{d_a}{2}}{2R - d_a}, \quad (15)$$

$$B_a = \frac{2R + \frac{d_a}{2}}{2R + d_a} \quad (16)$$

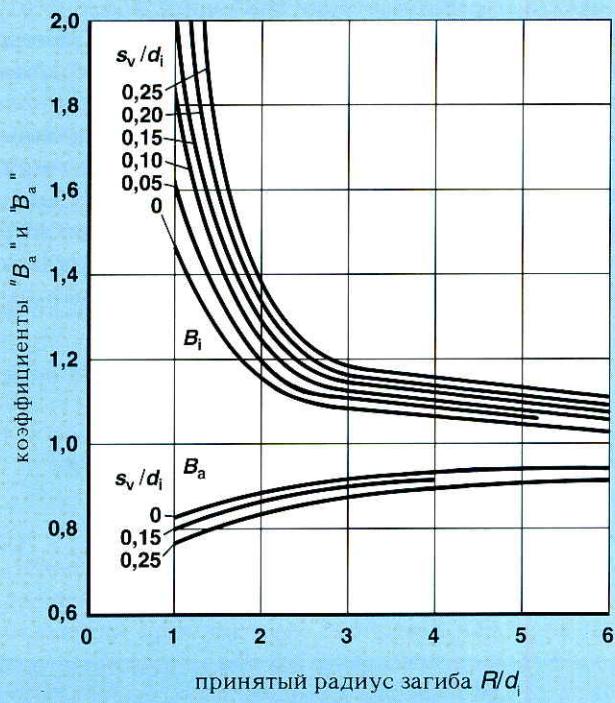


Диаграмма 58: Коэффициенты для расчёта толщины стенки трубных колен

## 6. Расчёт гидравлического сопротивления

Гидравлическое сопротивление  $\Delta p_\lambda$  возникающее в результате трения между потоком гидравлической жидкости и внутренней стенкой трубы, рассчитывается по формуле:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \frac{L}{d_i} \cdot \rho \cdot \frac{\bar{w}^2}{2} \quad (17)$$

где

$\lambda$  - коэффициент трения,

$L$  - длина трубы,

$\rho$  - плотность гидравлической жидкости.

Коэффициент трения зависит от чистоты поверхности трубы "к" и числа Рейнольдса, определяемого по формуле:

$$Re = \frac{\bar{w} \cdot d_i}{\nu}. \quad (18)$$

Коэффициент трения трубы может быть определён по диаграмме 59 при помощи значений чистоты поверхности, приведённых для стальных труб в таблице 52, и числа Рейнольдса.

Общее гидравлическое сопротивление гидравлической системы слагается не только из зависящих от длины участков трубопровода отдельных значений, но включает в себя и местные сопротивления, например, фитинги, арматуру, вентили и прочее. Поэтому целесообразно рассчитывать общее гидравлическое сопротивление  $\Delta p_v$  по сумме местных сопротивлений  $\xi$ .

В результате этого оно определяется по формуле:

$$\Delta p_v = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi \quad (19)$$

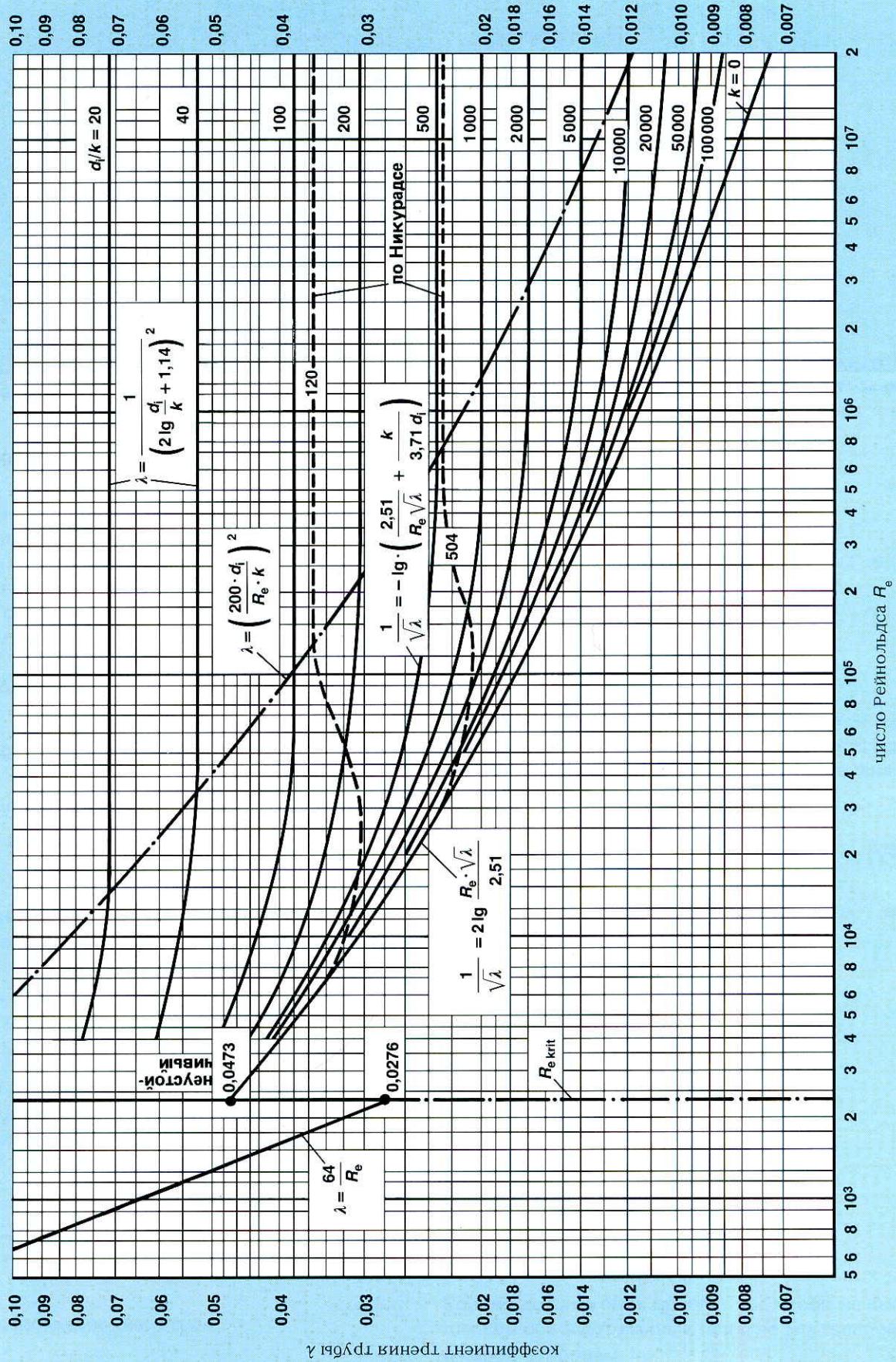
где

$$\Delta p_\xi = \sum \xi \cdot \rho \frac{\bar{w}^2}{2} \quad (20)$$

Если подставить уравнения (17) и (20) в уравнение (19), то получится:

$$\Delta p_v = \left( \lambda \frac{L}{d_i} + \sum \xi \right) \cdot \rho \cdot \frac{\bar{w}^2}{2} \quad (21)$$

Коэффициенты сопротивлений предусматриваемой арматуры и вентилей могут быть взяты из специальных каталогов заводов-изготовителей. Но в большинстве случаев гидравлическое сопротивление указывается непосредственно в технической документации изготовителя арматуры в виде характеристик в зависимости от расхода. Поэтому значения гидравлического сопротивления для отдельных позиций арматуры для соответствующего расхода могут быть сложены и непосредственно введены в уравнение (19).

Диаграмма 59: Коэффициент трения трубы  $\lambda$  в зависимости от числа Рейнольдса  $Re$  (см., например, [16])

материал	трубы		абсолютная чистота поверхности "к" в мм
	конструкция трубы	состояние	
сталь	бесшовная (обычного коммерческого качества)	новая <ul style="list-style-type: none"> <li>• с прокатной коркой</li> <li>• протравленная</li> <li>• оцинкованная</li> </ul>	0,02 до 0,06 0,03 до 0,04 0,07 до 0,10
	продольно-сварная	новая <ul style="list-style-type: none"> <li>• с прокатной коркой</li> <li>• битумированная</li> <li>• гальванизированная</li> </ul>	0,04 до 0,10 0,01 до 0,05 0,008
	бесшовная и продольно-сварная	бывшая в употреблении <ul style="list-style-type: none"> <li>• сильно заржавевшая или с лёгкой коркой</li> </ul>	0,1 до 0,2

Таблица 52: Чистота внутренней поверхности стальных труб (см., например, [16])

## 7. Примеры расчётов

### Пример 1

Необходимо выбрать напорную трубу для статической нагрузки на допустимое рабочее давление 210бар и рабочую температуру 50 °C. В качестве материала используется прецизионная труба из St 35 по DIN 2391-C. Производительность насоса составляет 160 л/мин.

### Решение

1. Определение внутреннего диаметра трубы по уравнению 2:

$$d_i = 4,607 \sqrt{\frac{V}{w}} .$$

Предполагая, что в качестве гидравлической жидкости используется минеральное масло с кинематической вязкостью 30мм<sup>2</sup>/сек. и плотностью при рабочей температуре, равной 0,9г/см<sup>3</sup>, по таблице 41 выбирается средняя скорость потока, которая составляет 6м/сек.

Тогда получается:

$$d_i = 4,607 \sqrt{\frac{160}{6}} = 23,79 \text{ мм},$$

По таблице 55 выбирается:

$$d_a = 35 \text{ мм}, s = 3 \text{ мм}, d_i = 29 \text{ мм}.$$

2. Расчёт необходимой толщины стенки трубы по DIN 2413, вид нагрузки II (см. уравнение 3)

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{s} \cdot v - 2p}$$

В следующей таблице 53 приведены показатели механических свойств для различных материалов труб. Толщина стенки рассчитывается при помощи  $K = 235 \text{ Н/мм}^2$ ,  $S = 1,5$  (см. таблицу 46) и  $v = 1$  для бесшовных труб:

$$s_v = \frac{29 \cdot 210}{20 \cdot \frac{235}{1,5} - 2 \cdot 210} = 2,25 \text{ мм.}$$

Проверка соотношения диаметров:

$$\frac{d_a}{d_i} = \frac{35}{29} = 1,21 < 1,7$$

### 3. Расчёт выполняемой толщины стенки

Так как для выбранной бесшовной прецизионной трубы занижение толщины стенки указывается в %, выполняемая толщина этой стенки рассчитывается по уравнению 12:

$$s = (s_v + c_2) \cdot \frac{100}{100 - c_1}$$

По таблице 50 занижение толщины стенки может приниматься в размере 10 %. Прибавки на коррозию может не учитываться, поскольку ни среда, ни внешние факторы коррозии не вызывают.

$$s = 2,25 \cdot \frac{100}{100 - 10} = 2,5 \text{ мм} < 3 \text{ мм}$$

Поэтому достаточным будет выбор трубы по DIN 2391-C-35x3-St 35 NBK.

### 4. Расчёт трубных колен

Радиус загиба  $R$  составляет по таблице 51 для используемой трубы 100мм. Требуемые толщины стенок на внутренней и внешней сторонах колена определяются по уравнениям 13 и 14:

$$\begin{aligned} s_{vi} &= s_v \cdot B_i \\ s_{va} &= s_v \cdot B_a \end{aligned}$$

Коэффициенты  $B_i$  и  $B_a$  могут быть взяты по диаграмме 58.

При помощи

$$\frac{R}{d_i} = \frac{100}{29} = 3,45 \quad \text{и}$$

$$\frac{s_v}{d_i} = \frac{2,25}{29} = 0,078$$

получается  $B_i = 1,15$  и  $B_a = 0,92$ .

$$\begin{aligned} s_{vi} &= 2,25 \cdot 1,15 = 2,59 \text{ мм} \\ s_{va} &= 2,25 \cdot 0,92 = 2,07 \text{ мм} \end{aligned}$$

Колено должно быть загнуто так, чтобы не были занижены обе эти толщины стенок по внутренней и наружной сторонам.

## 5. Расчёт гидравлического сопротивления

Гидравлическое сопротивление на единицу длины в результате наличия трения может быть определено по уравнению 17:

$$\frac{\Delta p_\lambda}{L} = \lambda \cdot \frac{1}{d_i} \cdot \rho \cdot \frac{\bar{w}^2}{2}$$

Определение коэффициента трения трубы.

Сначала необходимо рассчитать по уравнению 18 число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\bar{w} \cdot d_i}{v}$$

Скорость движения потока для выбранной трубы определяется по уравнению:

$$\bar{w} = \frac{V}{d_i^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{160 \cdot 10^3}{29^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 60} = 4,04 \text{ м/сек.}$$

Таким образом получается:

$$Re = \frac{4,04 \cdot 29 \cdot 10^3}{30} = 3905,3$$

Среднее значение чистоты внутренней поверхности составляет по таблице 52 для бесшовной трубы с прокатной коркой 0,04 мм.

$$\text{По соотношению } \frac{d_i}{k} = \frac{29}{0,04} = 725$$

по диаграмме 59 коэффициент трения трубы даётся 0,04. Таким образом, гидравлическое сопротивление на единицу длины составляет:

$$\frac{\Delta p_\lambda}{L} = 0,04 \cdot \frac{1}{29} \cdot 0,9 \cdot \frac{4,04^2}{2} \cdot 10 = 0,101 \frac{\text{бар}}{\text{м}}.$$

## Пример 2

Необходимо проверить для использованной в примере 1 трубы, какое максимальное давление она может выдержать в условиях длительной пульсирующей нагрузки.

### Решение

Расчёт проводится для вида нагрузки III по DIN 2413. Нижнее рабочее давление принимается за нуль, в результате чего для максимального рабочего давления по уравнению 5 получается:

$$\hat{p} = \frac{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot s_v}{d_i + 3 s_v}.$$

При этом в качестве показателя прочностных свойств  $K$  используется длительная усталостная прочность при знакопеременной нагрузке по таблице 46, которая составляет по указанному материалу трубы 226 Н/мм<sup>2</sup> (см. таблицу 53). Расчётная толщина стенки, принимаемая для этой трубы, составляет по уравнению 12:

$$s_v = s \cdot \frac{100 - c_1}{100} - c_2 = 3 \frac{100 - 10}{100} = 2,7 \text{ мм.}$$

В результате получается

$$\hat{p} = \frac{20 \cdot \frac{226}{1,5} \cdot 2,7}{29 + 3 \cdot 2,7} = 219,3 \text{ бар.}$$

Для вида нагрузки I получается следующее значение максимального давления:

$$p = \frac{20 \cdot \frac{K}{S} v \cdot s_v}{d_i + 2 s_v}$$

$$= \frac{20 \cdot \frac{235}{1,5} \cdot 1 \cdot 2,7}{29 + 2 \cdot 2,7} = 245,9 \text{ бар.}$$

Выбирается: мин. ( $\hat{p}, p$ ) = 219,3 бар.

Расчёт показывает, что рассматриваемая труба может выдержать без повреждений в условиях длительной знакопеременной нагрузки давление в 219 бар, но при условии, что на неё не будут действовать никакие другие дополнительные нагрузки.

## 8. Показатели механических свойств материалов труб и таблица выбора труб

обозначение	St 37.4	St 52.4	St 37.4	St 37.0	St 35 NBK	X6CrNiMoTi17 122	X6CrNiTi1810
материал № по DIN	1.0255 1630	1.0581 1630	1.0255 1628	1.0254 1626	1.0308 2391	1.4571 17458	1.4541 17458
предел прочности при растяжении (мин.)	$R_m$ в Н/мм <sup>2</sup> 340	490	340	340	340	500	500
условный предел текучести (0,2%) (мин.) или верхний предел текучести (мин.)	$R_{p0,2}$ в Н/мм <sup>2</sup> 235 *	350 *	235 *	235	235	20 °C: 210 50 °C: 202 100 °C: 185	200 190 176
1%-предела текучести (мин.)	$R_{p1}$ в Н/мм <sup>2</sup> —	—	—	—	—	20 °C: 245 50 °C: 234 100 °C: 218	235 222 208
относит удлинение $A_5$ в % при разрыве (мин.) ( $L_o = 5 \cdot d_o$ )	25	21	25	25	25	> 30	> 30
показатель прочн. $K$ в Н/мм <sup>2</sup> по нормам AD W4 при 20°C при 100 (120) °C	235 186	355 255	235 186	235 186	235 186	—	—
устал. прочн. при $\sigma_{Sch/D}$ в Н/мм <sup>2</sup> пульсир. цикле нагр. по прилож. к DIN2445, по DIN2413 см. лист 3.1/3.2	226	—	—	—	—	(190) **	(190) **

\* при расчёте по DIN 2413 указанные значения могут приниматься для температур до 120 °C.  
\*\* в DIN 2445 не указано (см. [1]).

Таблица 53: Показатели механических свойств различных материалов, используемых для изготовления труб

матер. St 52.4 по DIN 1630, сертификат: например, по DIN 50 049-3.1 В												
DN	PN 100			PN 160			PN 320			PN 400		
	$d_a$	s	$d_i$									
40	48,3	3,6	41,1	48,3	4	40,3	48,3	8	32,3	70	14,2	41,6
50	60,3	4,5	51,3	60,3	5	50,3	60,3	10	40,3	88,9	17,5	53,9
65	76,1	4,5	67,1	76,1	6,3	63,5	76,1	12,5	51,1	101,6	20	61,6
80	88,9	6,3	76,7	101,6	8,8	84	101,6	16	69,6	139,7	28	83,7
100	114,3	8,8	96,7	114,3	10	94,3	114,3	17,5	79,3	168,3	32	104
125	139,7	10	119,7	152,4	12,5	127	193,7	30	134	219,1	45	129
150	168,3	12,5	143,3	177,8	16	146	219,1	36	147	244,5	50	144
200	219,1	16	187,1	244,5	20	204	298,5	45	208	323,9	65	194
250	273	20	233	298,5	25	248	355,6	55	246	406,4	75	256
300	355,6	25	305,6	355,6	30	296	—	—	—	—	—	—

Обозначение стальной трубы по DIN 2448 с наружным диаметром = 76,1мм и толщиной стенки = 12,5мм, из стали St 52.4, поставочные испытания: по DIN 1630:  
Труба по DIN 2448-76,1 x 12,5 DIN 1630-St 52.4

Таблица 54: Таблица выбора бесшовных стальных труб для пульсирующих нагрузок по DIN 2445, лист 1.

материал St 35; поставочная кондиция DIN 2391, часть 2 от июля 81; сертификат: например, по DIN 50 049-2.2

труба от 4 до 16 мм				труба от 18 до 42 мм			
$d_a$	$s$	$d_i$	PN	$d_a$	$s$	$d_i$	PN
4	1,0	2	400	18	1,5	15	160
6	1,0	4	320	20	3,0	14	320
6	1,5	3	400	22	2,0	18	160
8	1,5	5	320	25	3,0	19	250
10	1,5	7	320	25	4,0	17	320
10	2,0	6	400	28	3,0	22	160
12	1,5	9	160	30	4,0	22	250
12	2,0	8	320	35	3,0	29	160
12	3,0	6	400	38	4,0	30	160
15	1,5	12	160	38	5,0	28	250
16	2,5	11	320	42	3,0	36	160

Обозначение прецизионной стальной трубы с наружным диаметром = 30мм и толщиной стенки = 4мм, из стали St 35, поставочная кондиция: по DIN 2391, часть 2 от июля 81, нормализованная светлым отжигом NBK:

Труба по DIN 2391-C- 30 x 4-St 35 NBK

Таблица 55: Таблица выбора бесшовных прецизионных стальных труб по DIN 2391

DN	PN 16			PN 160			PN 320		
	$d_a$	$s$	$d_i$	$d_a$	$s$	$d_i$	$d_a$	$s$	$d_i$
40	48,3	3,2	41,9	48,3	4,5	39,3	48,3	8,0	32,3
50	60,3	3,6	53,1	60,3	5,6	49,1	60,3	10,0	40,3
63	76,1	3,6	68,9	76,1	7,1	61,9	76,1	12,5	51,1
80	88,9	3,6	81,7	101,6	8,8	84,0	88,9	14,2	60,5
100	114,3	3,6	107,1	114,3	10,0	94,3	114,3	20,0	74,3
125	139,7	4,0	131,7	139,7	12,5	114,7	139,7	25,0	102,4
150	168,3	4,5	159,3	193,7	25,0	143,7	168,3	30,0	117,8
200	219,1	5,9	207,3				219,1	38,0	143,1

Обозначение бесшовной стальной трубы по DIN 2448 с наружным диаметром = 88,9мм и толщиной стенки = 14,2мм, из стали St 37.4 DIN 1630 (№ материала: 1.0255), нормализованная (N):

Труба по DIN 2448 - 88,9 x 14,2 DIN 1630-St 37.4 N

Таблица 56: Таблица выбора бесшовных стальных труб по DIN 2448

Примечание:

В таблицах 54, 55, 56 приведены обозначения по DIN 1629 по DIN 1630.

## 9. Перечень условных обозначений, безразмерных показателей и индексов

### Символы

Символ	Единица измерения	Наименование
$A_5$	%	относит. удлин. при разрыве ( $L_0 = 5 \cdot d$ )
$c_1$	мм, %	прибавка на занижение толщины стенки
$c_2$	мм	прибавка на коррозию и износ
$d$	мм	диаметр
$K$	Н/мм <sup>2</sup>	показатель прочности
$k$	мм	чистота внутренней поверхности трубы
$L$	мм	длина
$p$	бар	расчётоное давление, т.е. максимально возможное внутреннее избыточное давление с учётом всех предполагаемых рабочих состояний, включая гидравлический удар
$p'$	бар	давление испытания
$\Delta p$	бар	гидравлич. сопротивление
$R$	мм	радиус загиба
$R_{eH}$	Н/мм <sup>2</sup>	верхний предел текучести
$R_m$	Н/мм <sup>2</sup>	предел проч. при растяж.
$R_{m/10^5}$	Н/мм <sup>2</sup>	предел длительной прочности (на 100000 часов)
$R_{m/2 \cdot 10^5}$	Н/мм <sup>2</sup>	предел длительной прочности (на 200000 часов)
$R_{p0,2}$	Н/мм <sup>2</sup>	условн. предел текуч. 0,2%
$R_{p1}$	Н/мм <sup>2</sup>	условн. предел текуч. 1%
$s$	мм	выполняемая толщ. стенки
$s_v$	мм	расчётная толщина стенки (без прибавок)
$\dot{V}$	л/мин.	расход
$\overline{w}$	м/сек.	средняя скорость потока среды
$x$	%	прибавка толщины стенки по британскому стандарту
$v$	мм <sup>2</sup> /сек.	кинематическая вязкость
$\rho$	г/см <sup>3</sup>	плотность
$\sigma_{Sch}$	Н/мм <sup>2</sup>	усталостная прочн. при пульсир. цикле нагрузки
$\sigma_{Sch/D}$	Н/мм <sup>2</sup>	длительная устал. прочн. при пульс. цикле нагрузки

### Безразмерные величины

Символ	Наименование
$B_a, B_i$	коэффициент снижения нагрузки на внешнюю или внутреннюю сторону трубного колена
$n$	колич. циклов знакопеременной нагрузки
$Re$	число Рейнольдса
$S$	коэффициент запаса прочности
$S_L$	коэф. запаса циклов знакоперем. нагрузки
$v$	коэффициент запаса прочности сварных швов
$\lambda$	коэффициент трения трубы
$\xi$	гидравл. сопротивл. местных сопротивл.

### Индексы

Символ	Наименование
$a$	наружный
$i$	внутренний
макс.	максимально
мин.	минимально
$v$	сопротивление
$\lambda$	принимаемое по сопротивлению трубы
$\xi$	принимаем. по местным сопротивлениям

### Знаки над буквами

Символ	Наименование
$\wedge$	максимальное значение
$\vee$	минимальное значение

## 10. Литература

- [1] Фиала О., Кёнлехнер Р., Ордельхайде Г.: Калькуляция и определение параметров для труб в гидравлике, масляной гидравлике и пневматике 27 (1983 г.) 5, стр. 335 - 341
- [2] DIN-стандарт 2402: Номинальные диаметры Издательство Бойт, Берлин, февраль 1975 г.
- [3] DIN-стандарт 2391, часть 1 и 2: Бесшовные прецизионные стальные трубы с особой точностью измерения. Июль 1981 г.
- [4] DIN-стандарт 2448: Бесшовные стальные трубы. Февраль 1981 г.
- [5] DIN-стандарт 2445: Бесшовные стальные трубы для пульсирующей нагрузки. Ноябрь 1974 г.
- [6] DIN-стандарт 1630: Бесшовные трубы круглого сечения из нелегированных сталей для особо высоких требований. Октябрь 1984 г.
- [7] DIN-стандарт 2463: Сварные трубы из аустенитных нержавеющих сталей. Март 1981 г.
- [8] DIN-стандарт 50049: Аттестат об испытаниях материалов. Июль 1982 г.
- [9] DIN-стандарт 2401, часть 1: Данные о давлении и температуре. Май 1977 г.
- [10] DIN-стандарт 2413: Стальные трубы. Июнь 1972 г.
- [11] AD-техническая информация В1: Цилиндрические и сферические вкладыши под воздействием внутреннего избыточного давления. Июнь 1986 г.
- [12] BS 778: Спецификация стальных труб и соединений для их применения в гидросистемах. Институт по британским стандартам, 1966 г.
- [13] NF A 49-330: Бесшовные трубы холодного волочения для гидравлических и пневматических линий NORME FRANCAISE ENREGISTREE, 1976 г.
- [14] Справочник SAE-стандартов и приложение HS 150. Издание 1982 г.
- [15] DIN-стандарт 5508: Радиусы изгиба для труб. Ноябрь 1979 г.
- [16] Вагнер В.: Техника трубопроводной сети. Издательство: Фогель, Вюрцбург, 2-е издание 1983 г., стр. 130 - 131

Для заметок

## Для заметок

# Изготовление и установка гидравлических трубопроводных систем

Арнольд Крилен, Ганс Х. Фаатц

## 1. Введение

Трубопроводы являются важной частью всей гидравлической системы. В них энергия гидравлики передаётся в виде расхода объёма потока и давления порою на большие расстояния. Высокие требования, предъявляемые к гидравлическим системам, распространяются, конечно, и на трубопроводы. Они должны выдерживать высокие давления, пульсацию и вибрации, которым они подвергаются. При этом не должно быть никаких неплотностей или других повреждений.

Правильная установка трубопроводов включает в себя:

- продуманное проектирование,
- тщательное изготовление,
- точный монтаж,
- тщательное проправливание и промывку,
- проведение гидравлического испытания.

Высокая тщательность выбора компонентов гидравлических систем должна распространяться и на выбор сети трубопроводов. Это касается как выбора трубопроводов, так и вида соединительной системы и прокладки трасс. Соединительные трубопроводы между гидравлическими агрегатами и потребителями требуют такого же тщательного выбора, как и выбор трубной обвязки в пределах гидравлических агрегатов.

Упоминаемую в последующем систему трубопроводов следует в основном понимать как соединительные трубопроводы между гидравлическими агрегатами и потребителями.

## 2. Проектирование

При проектировании исходят из определённых в разделе "Расчёт и выбор трубопроводов гидравлических систем" значений и из имеющихся в обычной продаже трубопроводов и соединительных элементов для них. При проектировании необходимо учитывать прокладку трасс, их доступность и безопасность. Все эти критерии существенно влияют на стоимость.

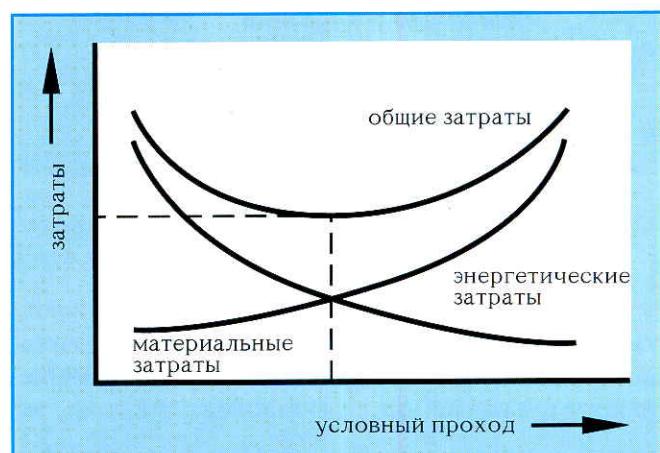


Диаграмма 60

Следовало бы ещё раз указать на то, что между скоростью движения среды и перепадом давления существует определённая зависимость и что для трубопроводов увеличенной длины сечение их должно выбираться большим, чтобы обеспечить по возможности меньший перепад давления. Но это ведёт к повышению стоимости. Зависимость между условным проходом (скоростью движения потока среды) и затратами представлена на диаграмме 60.

## Критерии, используемые при проектировании

Установка трубопроводов в гидравлической системе стоит почти в конце цепочки выполняемых работ, которые только при тщательном проектировании могут быть выполнены в срок и с удовлетворительным качеством. При проектировании систем трубопроводов должны учитываться следующие аспекты, представленные в виде перечня, не претендующего на полноту:

- величины давления,
- величины скоростей,
- внешние факторы,
- чистота,
- возможности монтажа и демонтажа,
- безопасность, предотвращающая повреждения,
- возможность обзора,
- наличие контрольных устройств,
- допустимый перепад давления,
- качество материалов,
- наружная и внутренняя консервация,
- крепление.

## 3. Трубы

В зависимости от величины условного прохода и серии по давлению в гидравлических системах используются различные трубопроводы.

Обычно до ДУ 32 используются бесшовные прецизионные стальные трубы по DIN 2391 C St 35.4 NBK.

С ДУ 40 и по РУ 160 бар как правило используются бесшовные стальные трубы по DIN 2448 или DIN 2445 из материала St 37.0 или St 52.0 по DIN 1629 с сертификатом по DIN 50 049-3.1 В. С РУ 161 бар используется сталь St 37.4 или St 52.4 N по DIN 1630.

Бесшовные стальные трубы по DIN 2391, DIN 2448 и DIN 2445 имеются в продаже и из других марок стали. Для труб из нержавеющей стали обычно используется материал 1.4571.

Продольно- или спирально сварные стальные трубы не приняты в гидравлических системах. Они, правда, могут быть использованы для второстепенных цепей, например, как всасывающие и возвратные линии. Они требуют особенно тщательного протравлиивания.

Легированные медью трубы применяются в гидравлических системах только в исключительных случаях, при наличии агрессивных сред в окружающем воздухе.

Таблицы выбора трубопроводов содержатся в разделе "Расчёт и выбор трубопроводов гидравлических систем" и поэтому в настоящем разделе не приводятся.

## 4. Соединения труб

### 4.1 Введение

Обычно трубы продаются принятой длиной около 6 метров, поэтому без соединения их друг с другом не обойтись.

Различают следующие способы соединений:

- неразъёмный и
- разъёмный.

Под неразъёмными соединениями в гидравлических системах понимают соединения труб на сварке и пайке, при помощи которых трубы соединяются друг с другом в "бесконечную" цепочку.

В сварных соединениях штуцеры, фланцы, пояски, трубы, колена и другие фасонные детали непосредственно (бесконечно) привариваются друг к другу. Этот способ не определяет возможности доизготовления в условиях специальной мастерской. Выполняемые в последующем протравливание и промывка должны проводиться с особой тщательностью для предотвращения попадания загрязнений в гидравлическую систему.

Соединение пайкой не является сегодня типичным для стальных труб. Оно используется на медных трубах. При этом способе возможна также "бесконечная" связь труб, колен, фитингов при помощи муфт. При разъёмных соединениях трубы сначала соединяются с резьбовым элементом или фланцем. Это может выполняться различными способами.

Различают в зависимости от способастыковки:

- чисто резьбовые соединения (сфера по конусу);
- резьбовые соединения с врезными кольцами;
- резьбовые соединения с зажимными кольцами;
- резьбовые соединения в отбортовкой;
- резьбовые соединения с коническим штуцером под сварку;
- фланцевые соединения.

Все трубные соединения выполняют функции фиксации и уплотнения.

Кроме того различают резьбовые соединения труб и резьбовые соединения элементов системы (вентилем, опорных плит, боков управления, насосов).

## 4.2 Резьбовые соединения

### 4.2.1 Резьбовые соединения труб

Для резьбовых соединений труб не играет особой роли тот факт, предназначены ли они для соединения двух концов труб или для соединения труб с элементами системы.

На рисунках 158 до 165 представлены присоединения резьбовых соединительных элементов к прессионным стальным трубам по DIN 2391.

Резьбовые соединения называются по видам их присоединений.

#### 4.2.1.1 Резьбовое соединение "сфера по конусу" (рис. 157)

Это соединение характеризуется тем, что оно выполняется при помощи резьбы на трубе. Уплотнение обеспечивается работой металла по металлу. Фиксация осуществляется за счёт резьбы.

Такие соединения используются как правило для вспомогательных целей, например, на водяных линиях холодильников или по возможности на всасывающих линиях насосов с резьбой на стороне всасывания.

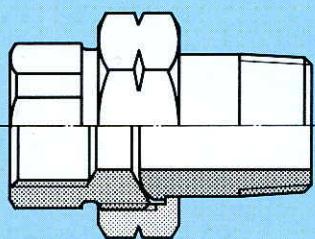


Рис. 157: Резьбовое соединение "сфера по конусу".

Уплотнение: металл по металлу. Фиксация при помощи резьбы. Используется в диапазоне низкого давления (например, на водяных линиях).

#### 4.2.1.2 Резьбовые соединения с врезными кольцами

Этот вид соединений является, пожалуй, наиболее известным из трубных соединений. Врезное кольцо насаживается на трубу при помощи специального устройства. Оно врезается в поверхность трубы, выполняя в этой зоне функцию и фиксации, и уплотнения. Уплотнение относительно соединительного

резьбового элемента также выполняется металлом по металлу. Фиксация кольца относительно резьбового соединительного элемента выполняется при помощи накидной гайки. Все соединения с врезными кольцами должны контролироваться из-за возможности утечек, обусловленных уплотнением металла по металлу и как следствие возможным ослаблением. Но их подтягивание ограничено хрупкостью металла. Насаживание врезного кольца на трубу должно выполняться с особой тщательностью, так как при недостаточном врезании его в тело трубы оно под действием нагрузки может соскользнуть. При насаживании кольца необходимо следить, чтобы конец трубы был правильно отторцован и тщательно очищен от заусенцев. В настоящее время одинарные врезные кольца (рисунок 158) в значительной мере вытеснены двойными.

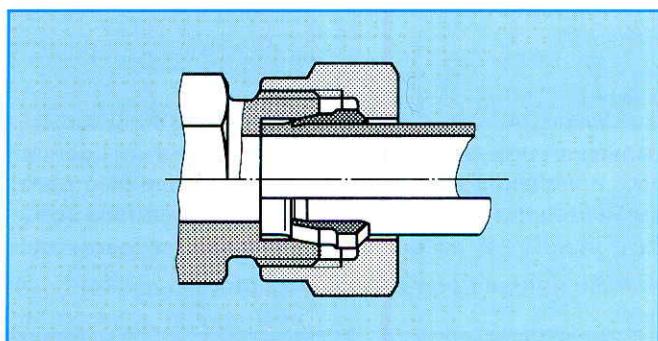


Рис. 158: Одинарное врезное кольцо.

Уплотнение: металл по металлу. Фиксация осуществляется за счёт врезания в тело трубы по одной линии.

Двойное врезное кольцо повышает фиксацию и уплотнение за счёт врезания в тело трубы по двум линиям.

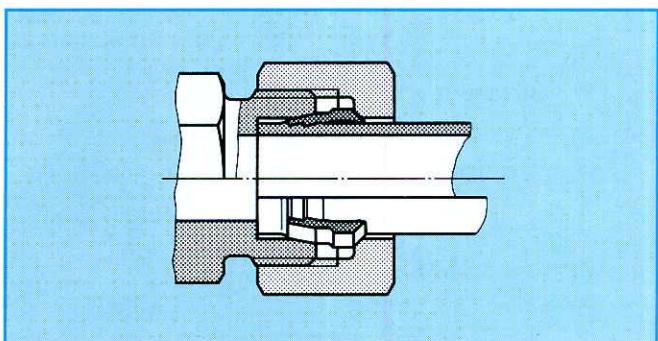


Рис. 159: Двойное врезное кольцо.

Уплотнение: металл по металлу. Фиксация выполняется при помощи врезания в тело трубы по двум линиям. Затягивание на трубе требует увеличенных усилий.

На так называемых кольцах "вальпро" (рисунок 160) плечо двойного врезного кольца усилено, что в свою очередь еще более повышает надёжность фиксации и уплотнения.

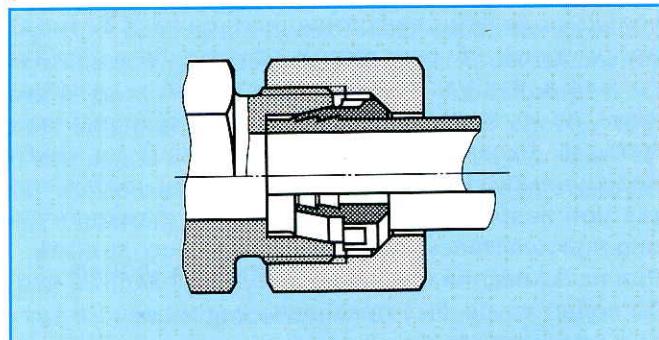


Рис. 160: Двойное врезное кольцо с усиленным плечом. Уплотнение: металл по металлу. Фиксация осуществляется за счёт врезания в тело трубы по двум линиям. Усилия затягивания на трубе больше, чем на одинарных врезных кольцах.

Основные размеры резьбовых соединений врезными кольцами нормированы в DIN 2353. Одним из основных признаков всех резьбовых соединений с врезными кольцами является наличие внутреннего конуса с углом 24° на соединительном резьбовом элементе.

#### 4.2.1.3 Резьбовые соединения с уплотняющей отбортовкой (рисунки 161 до 163)

В этих соединениях фиксация достигается при помощи отбортовки конца трубы и его прижима при помощи прижимного кольца. В соединениях "паркер-трипл-лок" и Вальтершайда отбортовка составляет 37°. Это может привести к осложнениям на трубах с толщиной стенки более 3 мм из-за опасности наличия микротрешин в зоне отбортовки.

В соединениях "паркер-трипл-лок" (рисунок 161) на резьбовом соединительном элементе протачивается фаска под углом 37°. Уплотнение "металл по металлу" работает при помощи опорного кольца.

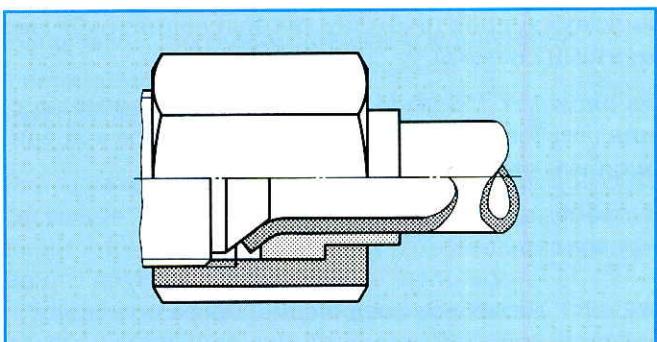


Рис. 161: Резьбовое соединение с уплотняющей отбортовкой. Уплотнение: металл по металлу. Фиксация осуществляется при помощи отбортовки под углом 37°, прижимаемой к проточке на штуцере.

наружный диаметр AD	труба стальная				труба из материала 1.4571 (нержавеющая сталь)			
	одинарное врезное кольцо F в кг	*) p в бар	двойное врезное кольцо F в кг	*) p в бар	одинарное врезное кольцо F в кг	*) p в бар	двойное врезное кольцо F в кг	*) p в бар
6	1526,040	24	2225,475	35	2543,400	40	3179,250	50
8	1526,040	24	2225,475	35	2543,400	40	3179,250	50
10	1780,380	28	2543,400	40	2543,400	40	3497,175	55
12	1907,550	30	2861,325	45	2861,325	45	3815,100	60
14	2543,400	40	3497,175	55	3497,175	55	4450,950	70
15	2543,400	40	3497,175	55	3497,175	55	4450,950	70
16	3179,250	50	4450,950	70	4133,025	65	5404,725	85
18	3179,250	50	4768,875	75	4133,025	65	5722,650	90
20	4133,025	65	6040,575	95	5086,800	80	6994,350	110
22	3497,175	55	5086,800	80	4450,950	70	6040,575	95
25	4768,875	75	6994,350	110	5722,650	90	7948,125	125
28	4133,025	65	6040,575	95	5086,800	80	6994,350	110
30	6358,500	100	9537,750	150	7630,200	120	10491,525	165
35	6040,575	95	8583,975	135	6994,350	110	9537,750	150
38	8901,900	140	12717,000	200	9855,675	155	13670,775	215
42	8583,975	135	10491,525	165	7630,200	120	11445,300	180

\*) на затяжных станках с диаметром поршня 90 мм.

Таблица 57: Рекомендуемые значения усилий затягивания (все данные усреднённые).

Значения усилий могут колебаться в зависимости от выбора завода-изготовителя соединений.

На резьбовых соединениях Вальтершайда (рисунок 162) может использоваться резьбовой соединительный элемент по DIN 2353 с внутренним конусом 24°. Уплотнение по проточке 24° обеспечивается при помощи промежуточного кольца с О-образной прокладкой. Уплотнение относительно трубы достигается по отбортовке 37° также при помощи О-образной прокладки. Фиксация обеспечивается опорным кольцом и накидной гайкой.

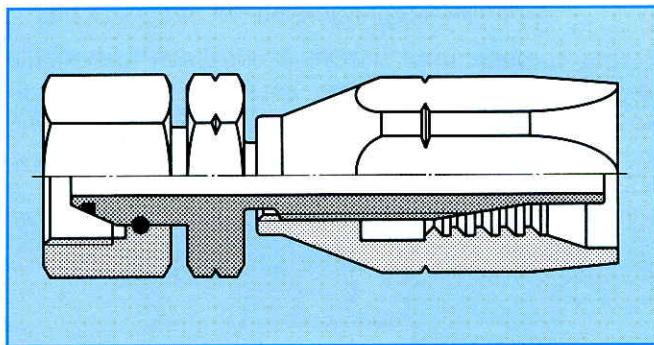


Рис. 162. Резьбовое соединение с уплотняющей отбортовкой, промежуточным кольцом и мягкими прокладками. Фиксация обеспечивается за счёт отбортовки под углом 37° на промежуточном кольце.

На выпускаемых фирмой "Фосс" резьбовых соединениях с уплотняющей отбортовкой уплотнение между трубой и опорным кольцом также обеспечивается работой металла по металлу (рисунок 163). Правда, отбортовка составляет в этом случае всего лишь 10°. Фиксация трубы и кольца обеспечивается при помощи опорного кольца и накидной гайки. Малая величина отбортовки имеет преимущества при использовании её на увеличенных толщинах стенки труб. Резьбовой соединительный элемент вы-

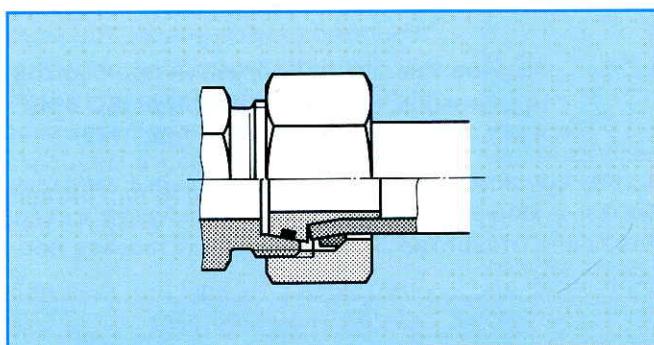


Рис. 163. Резьбовое соединение с уплотняющей отбортовкой и промежуточным кольцом. Уплотнение: металл по металлу. Фиксация осуществляется при помощи отбортовки под углом 10°. Преимущественное использование: на больших толщинах стенок труб.

Для выполнения необходимо использование промежуточного и опорного колец.

полнен по DIN 2353. Уплотнение относительно этого элемента обеспечивается при помощи О-образной прокладки.

#### 4.2.1.4 Резьбовые соединения

##### с зажимным кольцом (рисунок 164)

В этих соединениях должны использоваться нестандартные резьбовые соединительные элементы. Они образуют ответный вариант резьбовых соединений с врезными кольцами, в котором фиксация обеспечивается зажимом кольца на поверхности трубы. Уплотнение выполняется металлом по металлу как относительно трубы, так и относительно резьбового соединительного элемента.

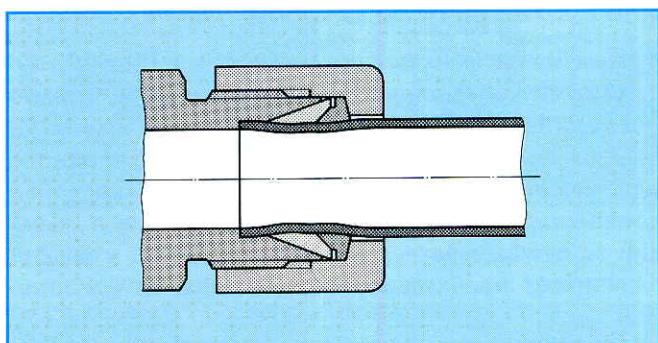


Рис. 164. Резьбовое соединение с зажимным кольцом. Уплотнение: металл по металлу. Фиксация обеспечивается зажимом поверхности трубы.

Рассмотренные виды резьбовых соединений называют также и "напайными".

#### 4.2.1.5 Резьбовые соединения с коническим штуцером под сварку (рисунок 165)

В этом соединении конический штуцер приваривается к трубе. Способы сварки соответствуют общепринятым сегодня техническим возможностям, описанным в разделе 6.2.2.3.2. При этом нет никаких проблем по вопросам уплотнений между трубой и приваренным коническим штуцером. Уплотнение между штуцером и соединением по DIN 2353 эластичное, поэтому и в данном случае при тщательном исполь-

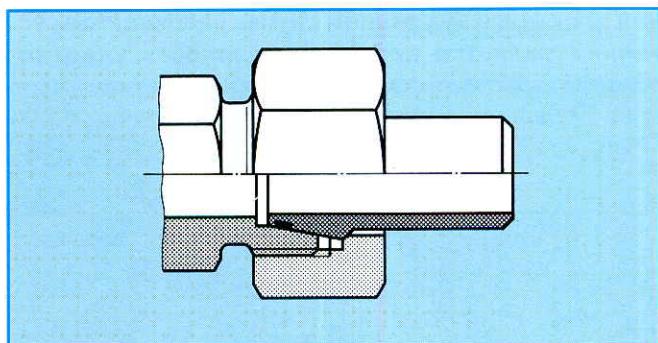


Рис. 165. Резьбовое соединение с коническим штуцером под сварку с конусом по DIN 3865. Уплотнение: эластичное. Фиксация обеспечивается за счёт сварного шва.

нении никаких проблем не должно возникнуть. Фиксация обеспечивается при помощи накидной гайки.

#### 4.2.2 Резьбовое присоединение компонентов системы

Во всех присоединениях фиксация между ввёртываемым элементом и компонентом системы обеспечивается за счёт резьбы. На шейках с цилиндрической резьбой это соединение держит прекрасно. Резьбовые отверстия и резьбовые шейки нормированы в DIN 3852. Резьбовые шейки отличаются только видом уплотнения резьбового элемента относительно подключаемых компонентов системы.

##### 4.2.2.1 Уплотнительная кромка (рисунок 166)

На резьбовых шейках протачивается уплотнительная кромка, обеспечивающая уплотнение металла по металлу на компонентах системы. Необходимым условием является перпендикулярность уплотняющей поверхности к резьбе и отсутствие каких-либо поперечных рисок. Обычные в гидравлике пульсации могут вызывать старение материала, что обуславливает необходимость подглаживания соединений.

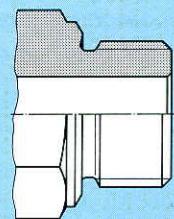


Рис. 166: Уплотнительная кромка, обеспечивающая уплотнение металла по металлу. Проточка перпендикулярна к резьбе. Отторцованная поверхность повреждается режущей кромкой ответного элемента.

##### 4.2.2.2 Резьбовой соединительный элемент с О-образной прокладкой (рисунок 167)

При использовании такого соединительного элемента уплотнение обеспечивается за счёт О-образной прокладки. И в данном случае необходимым условием является перпендикулярность уплотнительной поверхности к резьбе и отсутствие каких либо поперечных рисок. Чистота обработки уплот-

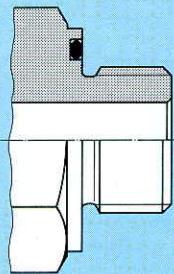


Рис. 167: О-образная прокладка. Резьбовое отверстие: по DIN 3852. Эластичное уплотнение. Проточка больше, чем режущая кромка ответного элемента. Высокое натяжное усилие на резьбу.

нительной поверхности и проточки под О-образную прокладку не должна превышать значения Rt 16. В результате большого диаметра О-образной прокладки на резьбу действует сравнительно большое усилие натяжения. Резьбовое отверстие должно иметь так называемую "широкую" проточку по DIN 3852-ширина.

##### 4.2.2.3 Резьбовое соединение с профильной прокладкой (рисунок 169)

В этих соединениях вместо О-образной прокладки закладывается меньшее по диаметру кольцо прямоугольного сечения выполняющее функцию уплотнения. Выход резьбы в отверстии должен быть

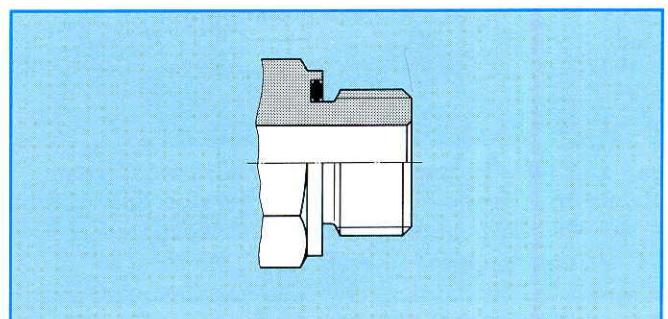


Рис. 168: Профильная прокладка. Резьбовое отверстие по DIN 3852. Прокладка эластичная. Проточка - как и в варианте с уплотнительной кромкой. Усилие натяжения на резьбу меньше, чем в варианте с О-образной прокладкой.

полностью защищен от заусенцев для обеспечения безопасности уплотнительного кольца. Прижимная поверхность и в этом случае должна быть перпендикулярной к резьбе. Для этого варианта достаточно "нормальной" проточки по DIN 3852.

##### 4.2.2.4 Резьбов. соедин. с О-образной прокладкой под резьбов. отверст. по нормам ISO 6149 и DIN 3852, часть 3, норма W (рис. 169)

В этом соединении О-образная прокладка закладывается в канавку выхода резьбы резьбовой шейки. Резьбовое отверстие должно соответствовать норм-

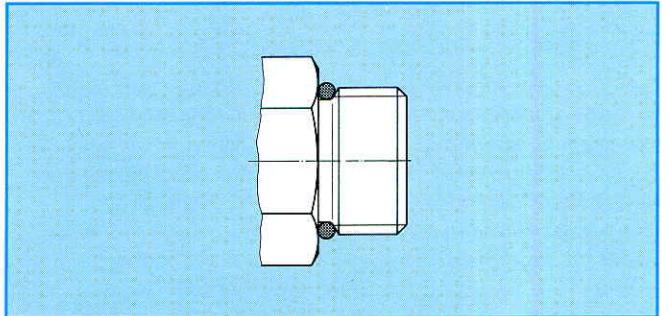


Рис. 169: Резьбовое отверстие по DIN 3852, часть 3. Прокладка эластичная, расположена ближе к резьбе, за счёт чего снижается усилие натяжения на резьбу.

мам ISO 6149 и DIN 3852, часть 3, норма W. Размеры резьбовой шейки и О-образной прокладки должны соответствовать требованиям DIN 3852, часть 3.

Так как О-образная прокладка ближе расположена к резьбе, усилие натяжения на резьбу будет меньшим. Установку прокладки следует проводить очень осторожно, чтобы не повредить её резьбой.

#### 4.2.2.5 Резьбы NPT (рисунок 170)

Это конические резьбы, уплотняемые металлом по металлу. Обычно они используются с посадкой на kleящие вещества, например, лок-циты.

Коническая резьба на ввёртывающейся шейке создаёт опасность раз-

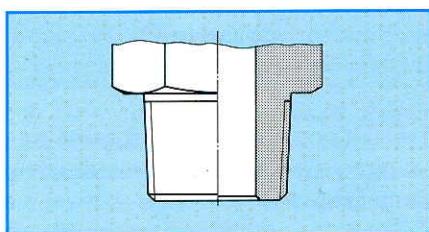


Рис. 170: Резьба NPT.

*Уплотнение: металл по металлу.  
Использование возможно только  
при посадке на kleящие вещества.  
Отличаются высокой опасностью  
разрыва и произвольным положением  
конца соединяемой трубы.*

рыва присоединяемых компонентов системы, выполненных из литья или алюминия. Тем не менее такие соединения широко распространены в Северной Америке. В Европе они используются в меньшей степени.

Для всех описанных видов резьбовых соединений, конечно, имеются в обычной продаже фасонные детали, которые по своим основным функциям - фиксации и уплотнению -, соответствуют сказанному выше. На рисунках 171 до 182 представлены широко используемые фасонные детали резьбовых соединений.

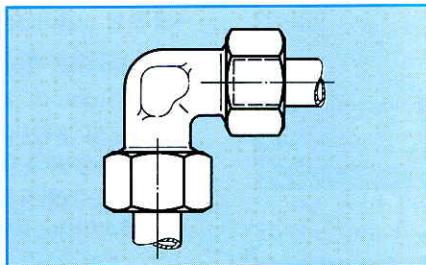


Рис. 171: Резьбовой угольник

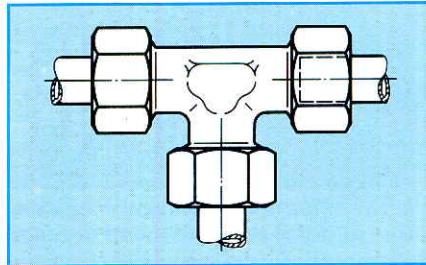


Рис. 172: Резьбовой тройник

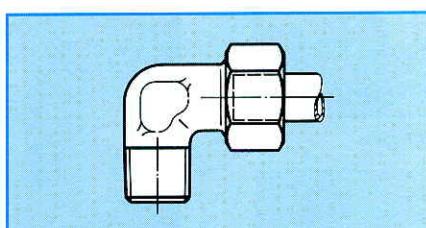


Рис. 173: Нерегулируемый  
резьбовой угольник

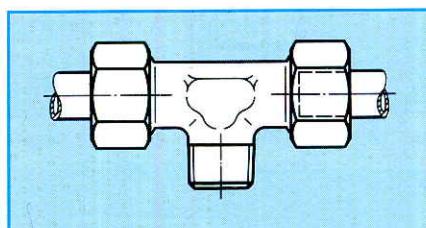


Рис. 174: Нерегулируемый  
резьбовой тройник

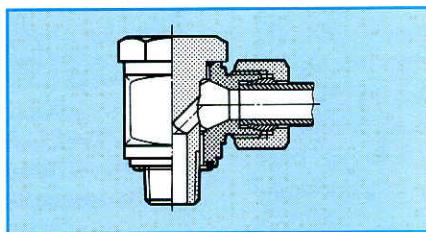


Рис. 175: Поворотное угловое  
соединение

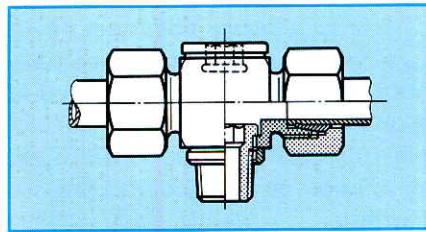


Рис. 176: Поворотное тройниковое  
соединение

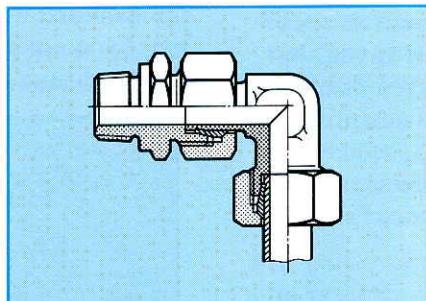


Рис. 177: Регулируемое угловое  
соединение  
с резьбовой вставкой

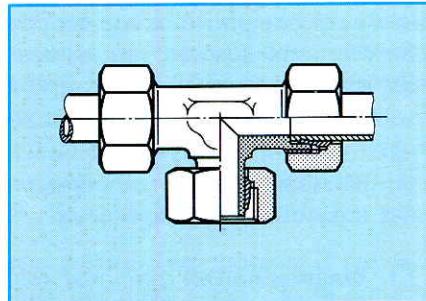


Рис. 178: Регулируемое тройниковое  
резьбовое соединение

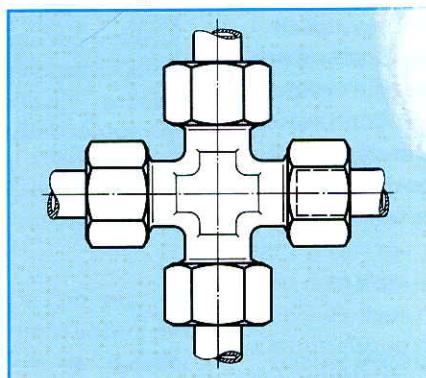


Рис. 179: Крестовина

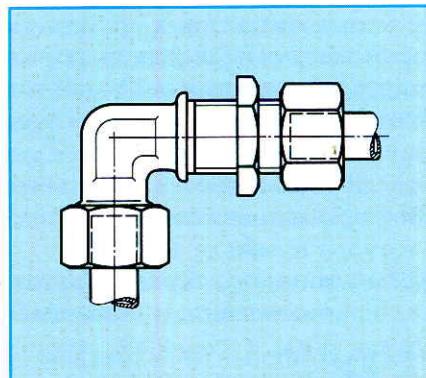


Рис. 180: Угловое резьбовое  
соединение,  
выполняемое через  
переборку

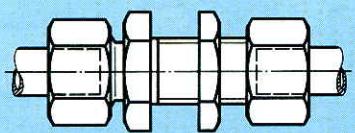


Рис. 181: Прямое резьбовое соединение, выполняемое через переборку



Рис. 182: Резьбовое соединение через переборку, с концами под сварку

### 4.3 Фланцевые соединения

С ДУ40 резьбовые соединения как правило не используются. Начиная с этого размера для соединения труб друг с другом и с компонентами гидравлической системы используются фланцы. Правда, имеются фланцы и на размеры менее ДУ40, но они используются не так часто по стоимостным соображениям.

На рисунках 183 до 187 представлены фланцевые соединения, обычно используемые для труб по DIN 2448 и DIN 2445.

При использовании фланцевых соединений почти во всех случаях фланец приваривается к трубе. При этом в Европе почти всегда производится сварка встык. Угловые сварные швы - частично и при помощи муфт - чаще используются в Северной Америке. Вид фланцев определяется в основном видом используемых компонентов системы.

#### 4.3.1 Фланец по DIN (рисунок 183)

Краны, заслонки и другая арматура выполняются частично с присоединительными размерами под фланцы по DIN, так что уже по одной этой причине должны использоваться фланцы по нормам DIN. Но в некоторой степени эти фланцы должны подгнаться по присоединительным размерам к принятым в гидравлике трубопроводам. Для возможности использования обычного в гидравлике уплотнения при помощи О-образных прокладок стандартные фланцы по DIN должны дополнительно дорабатываться.

#### 4.3.2 Фланцы по стандарту автотракторной промышленности (фланцы SAE)

Многие компоненты гидравлических систем имеют, начиная с ДУ 40, уплотнительные поверхности под так называемые фланцы SAE. При этом различают целиковые и составные фланцы SAE.

#### 4.3.2.1 Фланец SAE целиковый (рисунок 184)

Целиковый фланец SAE изготавливается из одной заготовки. Обычно это поковки из материала St 37.4. Расположение отверстий под соединительные болты может быть одинаковым для различных шеек фланца под сварку для различных диаметров труб. Эти фланцы относительно дешевы. К их достоинст-

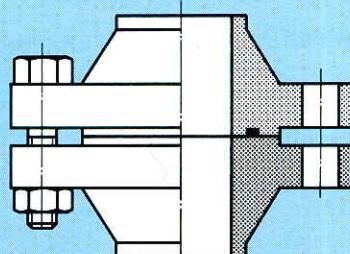


Рис. 183: Фланец с О-образной прокладкой по DIN 2632, 2638 и 2629. Фиксация обеспечивается болтами. Уплотнительная поверхность отшлифована. Недостатком является большая величина наружного диаметра.

вам относится небольшая потребность в установочном пространстве, к недостаткам - невозможность "регулирования" после сварки.

#### 4.3.2.2 Фланец SAE составной (рисунок 185)

Составной фланец SAE состоит из так называемого приварного буртика - механически обработанного или фасонно отлитого - из свариваемого материала и двух фланцевых заплечиков, при помощи которых

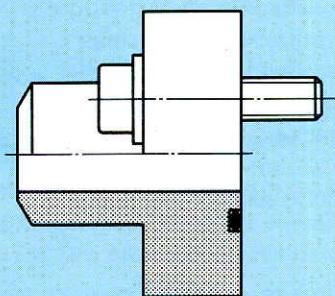


Рис. 184: Целиковый фланец SAE с О-образной прокладкой по нормам SAE-J518 C. Фиксация выполняется при помощи болтов. Уплотнительная поверхность отшлифована. Преимуществом является овальная форма, за счёт чего снижается потребность в установочном пространстве.

выполняется фиксация. Потребность в установочном пространстве несколько больше, чем для цельновыкованного фланца SAE. Кроме того, двухсоставные фланцевые заплечики могут являться недостатком фланцевого соединения.

Уплотнение между опорной поверхностью и фланцем SAE или между фланцами SAE производится при помощи О-образных прокладок.

Фланцы SAE используются на давлении до примерно 400 бар (6000 пси). В продаже имеются составные фланцы SAE на низкое давление до 16 бар (240 пси) до ДУ100 и на высокое давление до ДУ63.

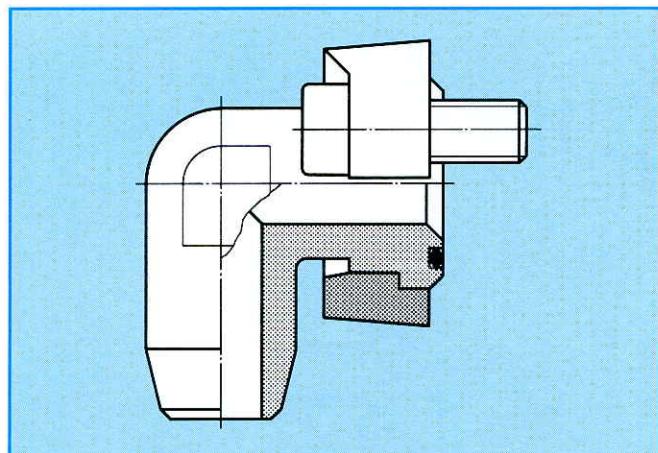


Рис. 185: Составной фланец SAE по нормам SAE-J 518 C, с эластичным уплотнением. Фиксация обеспечивается при помощи болтов. Наличие двухсоставных фланцевых заплечиков может являться недостатком фланцевого соединения

#### 4.3.3 Соединение с квадратным фланцем (рисунок 186)

Во фланцевых соединениях с ДУ63 и на давление от 210 бар в Европе преимущественно используются так называемые квадратные фланцы. Обычно это двухсоставные фланцы, состоящие из собственно приварного буртика и квадратного фланца, выполняющего фиксацию.

С технической точки зрения это соединение не отличается от соединения на фланце SAE.

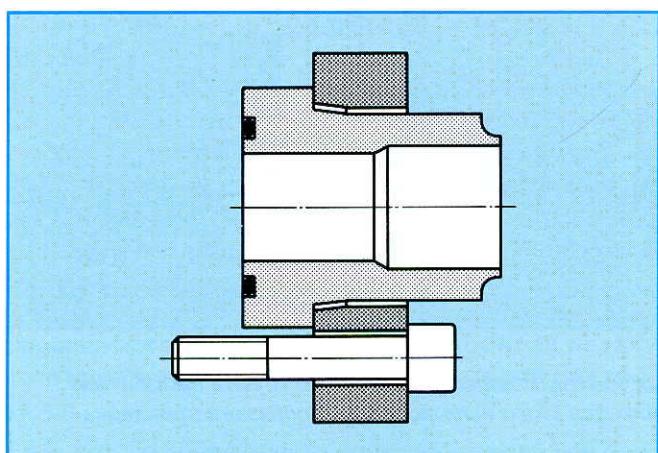


Рис. 186: Соединение с использованием квадратного фланца.  
Эластичное уплотнение (обычно О-образная прокладка).  
Фиксация обеспечивается болтами.

#### 4.3.4 Фланцевое соединение "GS-гидро" (рисунок 187)

Это фланцевое соединение отличается тем, что фиксация фланца на трубе осуществляется не за счёт сварного шва, а при помощи пружинной спирали. Канавка для размещения спирали протачивается на трубе, поэтому толщина стенки должна быть больше, чем требуется расчётом по давлению.

Уплотнение производится при помощи закладного кольца, которое устанавливается в соответствующую проточку на торце трубы. Такое соединение имеет преимущества в тех случаях, когда нельзя выполнить сварку.

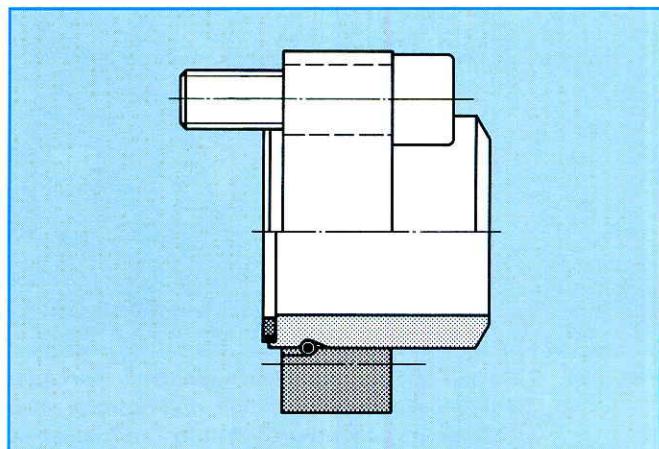


Рис. 187: "GS-гидро", уплотнение при помощи закладного кольца, фиксация обеспечивается при помощи пружинной спирали и болтов, для непосредственного присоединения более толстая стенка трубы, концы трубы, дорабатываются.

#### 4.3.5 Фланцевые соединения, выполненные на сварке с угловым швом (рисунки 188 и 189)

Все ранее описанные фланцы соединены с трубой при помощи стыковых сварных швов. Такие соединения общеприняты для гидравлических систем, поскольку качество сварного шва может быть в данном случае проектировано рентгеноскопией. Соединение фланца с трубой может быть выполнено с меньшими затратами, если использовать для этого угловые сварные швы. Такие фланцы имеются в продаже. Их форма (расположение отверстий под соединительные болты) определяется соответствующим расположением отверстий под болты на используемых компонентах гидравлической системы. Недостатком таких соединений является отсутствие возможности контроля качества сварных швов при помощи рентгеноскопии и возможность попадания кислоты при проплавлении в зазор между фланцем и трубой без последующего удаления. С течением времени это может привести к разрушению сварного шва. Кроме того из зазора между трубой и фланцем загрязнения могут попасть в гидравлическую систему.

Для изготовления фланцев могут использоваться только свариваемые материалы.

При введении трубы следить за тем, чтобы она не опиралась на расточку фланца, а чтобы между ней и фланцем оставался зазор, позволяющий предотвра-

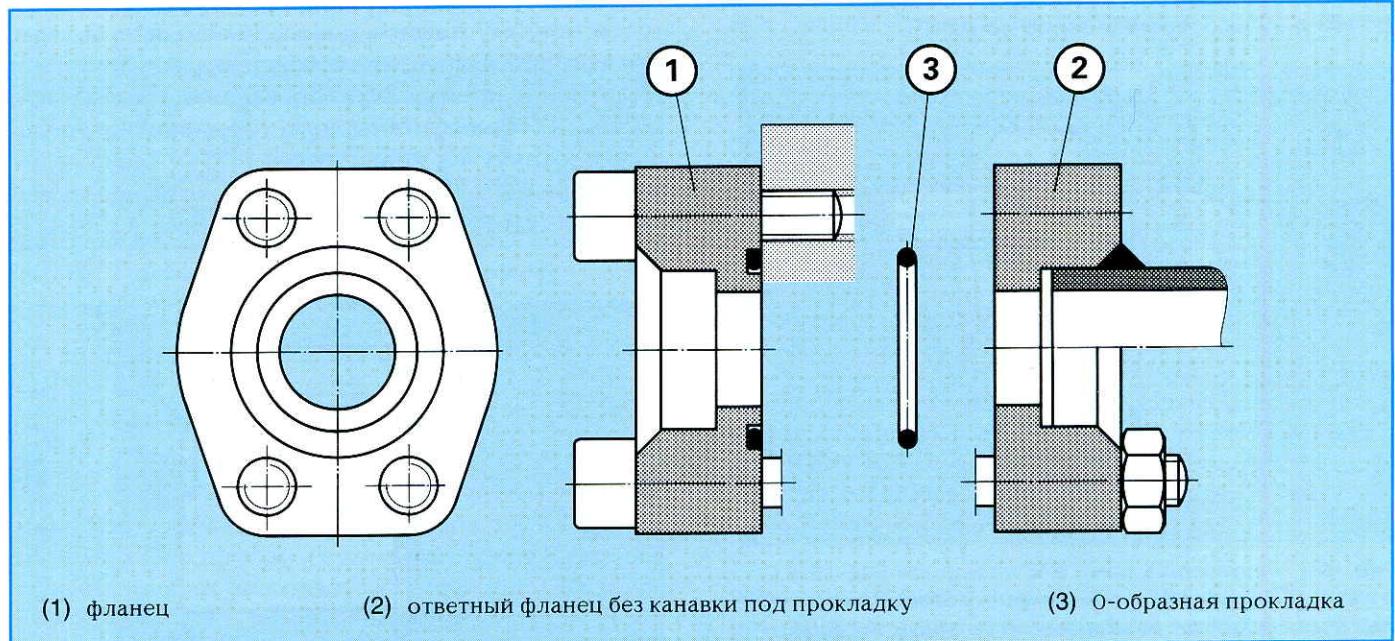


Рис. 188: Фланец SAE и фланцевое соединение. Фиксация: при помощи болтов.

Соединение фланца с трубой: при помощи углового шва.

Эластичное уплотнение (обычно: О-образная прокладка).

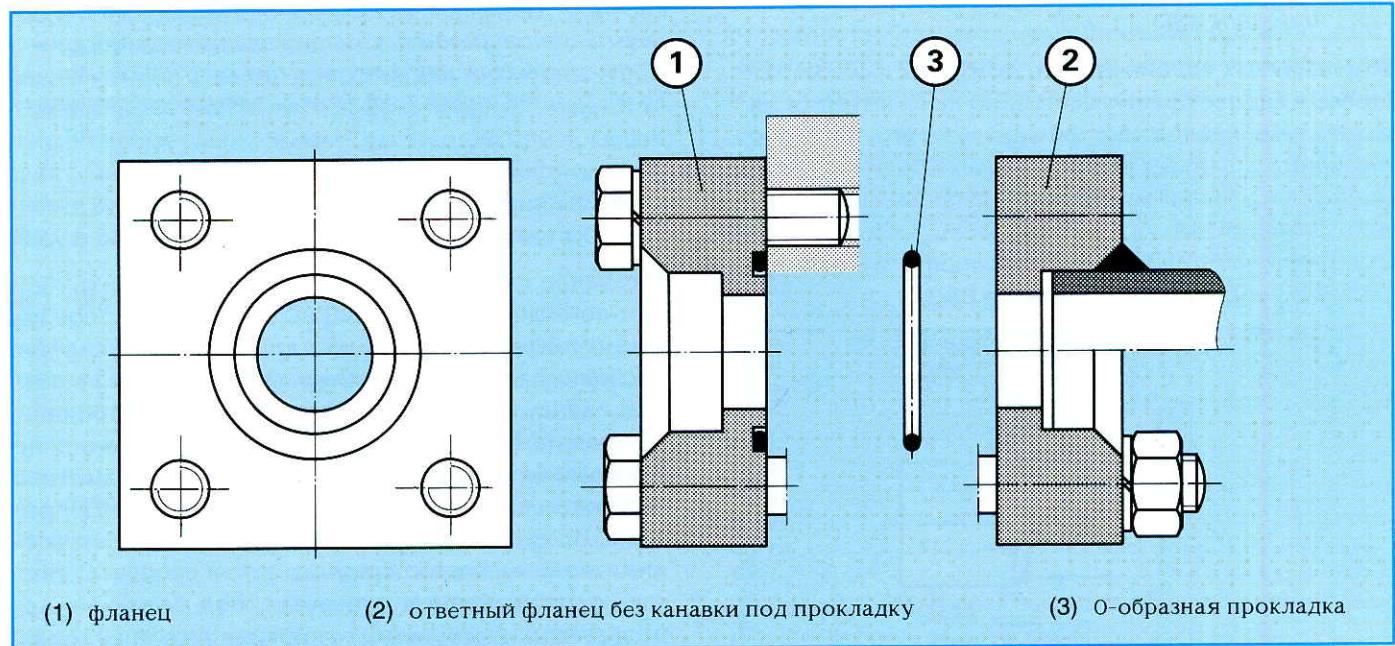


Рис. 189: Квадратный фланец и фланцевое соединение.

Фиксация осуществляется при помощи соединительных болтов. Соединение фланца с трубой выполнено на угловом сварном шве. Уплотнение эластичное, обычно для этого используется О-образная прокладка

тить разрушение сварного шва от действия температурных деформаций.

Все элементы резьбовых и фланцевых соединений имеются в том же самом материальном исполнении,

что и трубы, т.е. без проблем можно получить фланцевые соединения из материала St 37.4 или из нержавеющей стали (материал 1.4571)

## 5. Принадлежность

Системы трубопроводов состоят не только из труб, резьбовых соединений и фланцев. Опоры устройства для прохода, шланги и компенсаторы также являются полноправными элементами этих систем.

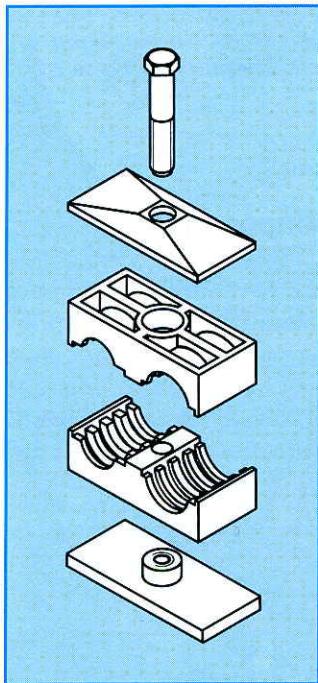


Рис. 190:  
Сдвоенный хомут,  
стандартное исполнение

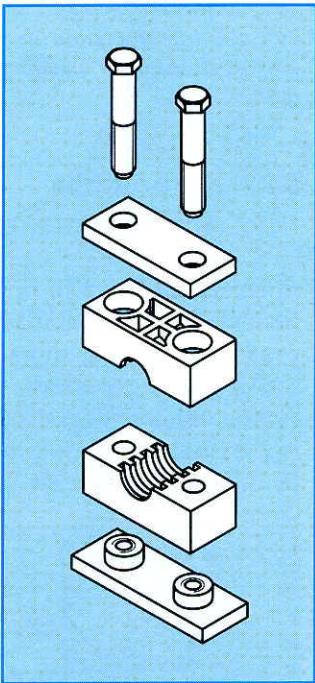


Рис. 191:  
Хомут в усиленном  
исполнении

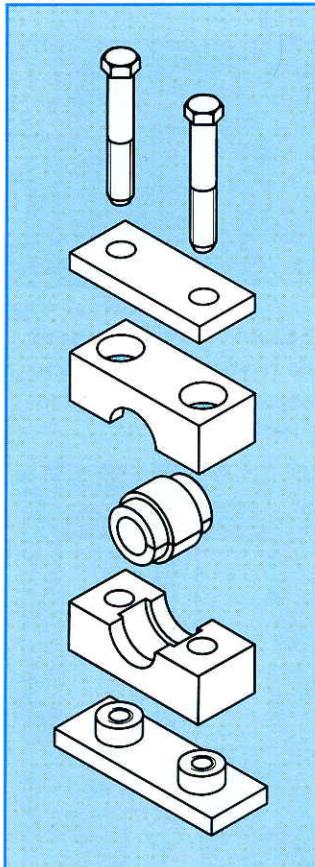


Рис. 192: Хомут в усиленном  
исполнении, со вставкой  
из эластомеров

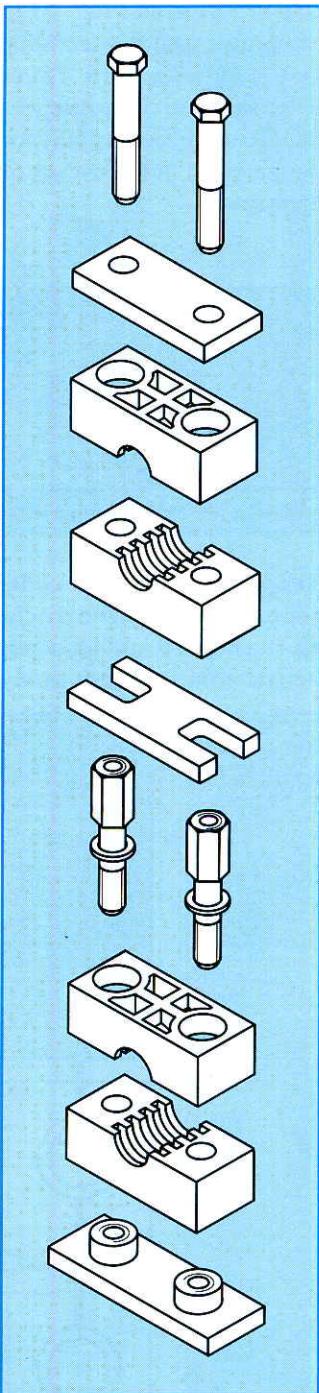


Рис. 193:  
Комбинированный хомут,  
например, для фиксации  
двух расположенных друг  
над другом трубопроводов

### 5.1 Опоры (рисунки 190 до 193)

Опоры служат для надёжного крепления трубопроводов. В серийной продаже имеются хомуты из алюминия, пластмасс или пластмасс с резиновой обкладкой.

Вопрос выбора используемых хомутов зависит от факторов, действующих на систему трубопроводов. Так, например, алюминиевые хомуты используются в тех случаях, когда предполагается наличие высоких температур. Пластмассовые хомуты часто используются с резиновой обкладкой для снижения передачи корпусного шума (вibrаций).

На всех хомутах опорные пластины выполняются из свариваемого металла для возможности её надёжного крепления на конструкции, к которой она крепится.

В особых случаях - например, при строительстве театров - опорные пластины хомутов привариваются к промежуточным конструкциям, что также служит снижению передачи вибраций (корпусного шума). см. рисунок 194.

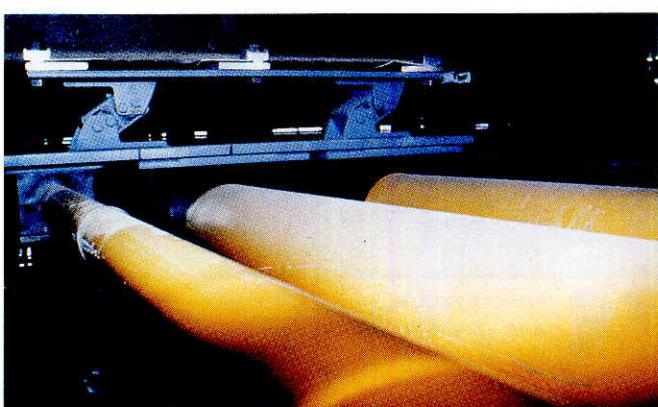


Рис. 194: Опора трубопровода с эластичными амортизаторами  
для отключ. при превышении значения корпусного шума

Обычно система трубопроводов крепится на конструкции машинного оборудования. В исключительных случаях для трубопроводов выполняются собственные опорные конструкции (рисунок 195). Расстояние между двумя хомутами зависит от диаметра труб. В DIN 24346 оно определено следующим образом:

Наружный диаметр трубопровода в мм	Расстояние в м
до 10	1,0
от 10 до 25	1,5
свыше 25	2,0

Таблица 58: Расстояния между опорами трубопроводов

В кораблестроении особенно важно, чтобы опоры не передавали идущие от системы трубопроводов усилия на полы и днища, а передавали их на несущие элементы конструкции (рисунок 196).

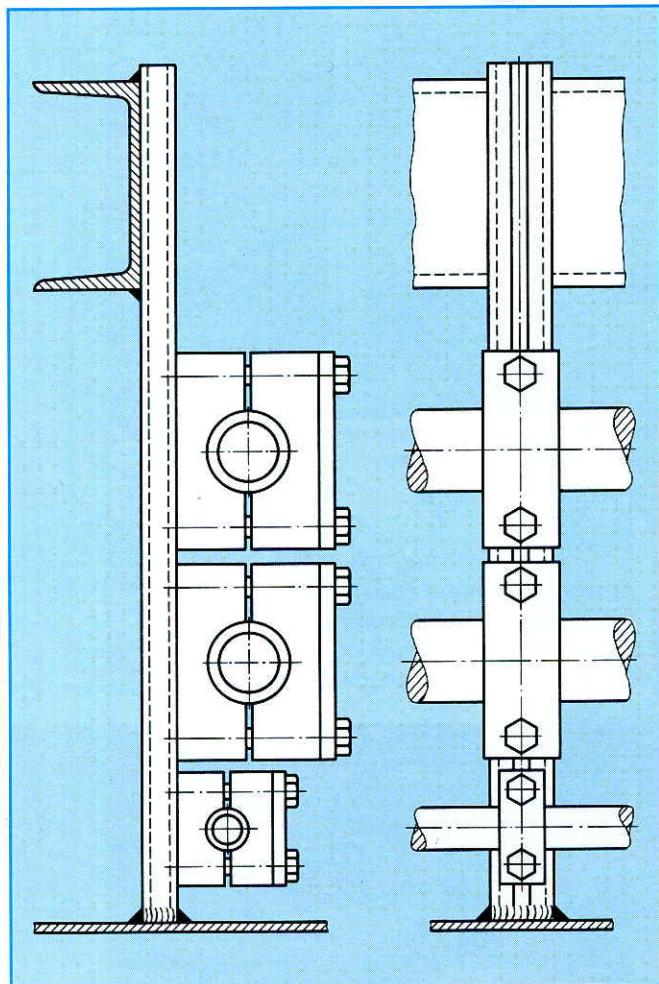


Рис. 195: Конструкция  
для крепления опор трубопроводов

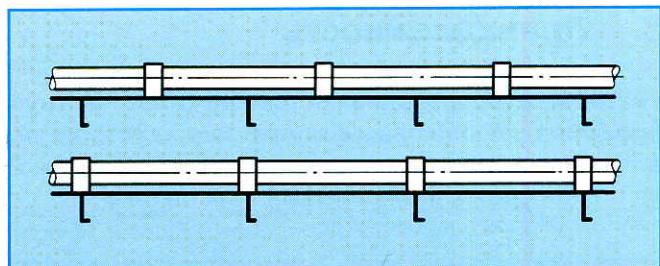


Рис. 196: Правильное (на рисунке вверху) и неправильное (на рисунке внизу) расположение опорных хомутов трубопроводов

## 5.2 Устройства для прохода трубопроводов

Предназначены для прохода трубопроводов через перекрытия. В кораблестроении приняты устройства для прохода, привариваемые к палубе (рисунки 197 и 198). Устройства для прохода, выполняющие одновременно и роль опор, должны быть выполнены с учётом минимальной возможности передачи вибраций (рисунок 199).

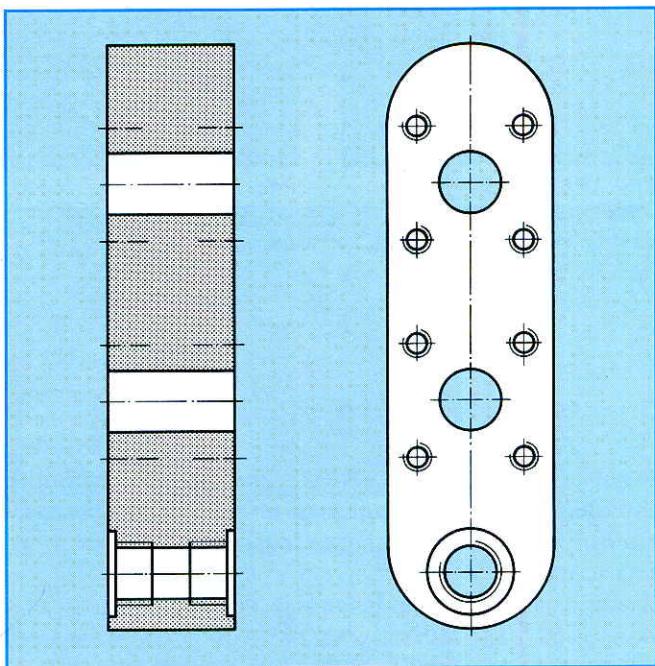


Рис. 197: Неподвижное устройство для прохода  
трубопроводов

Устройства для прохода трубопроводов должны быть выполнены из негорючих материалов.

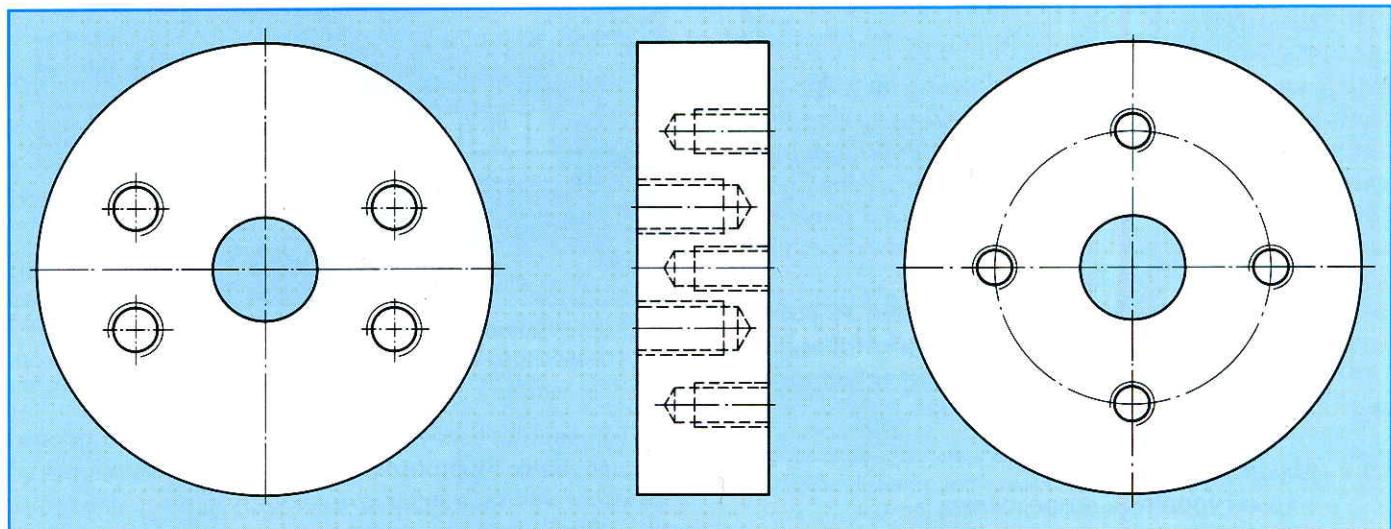


Рис. 198: Неподвижное устройство для прохода трубопроводов в палубе

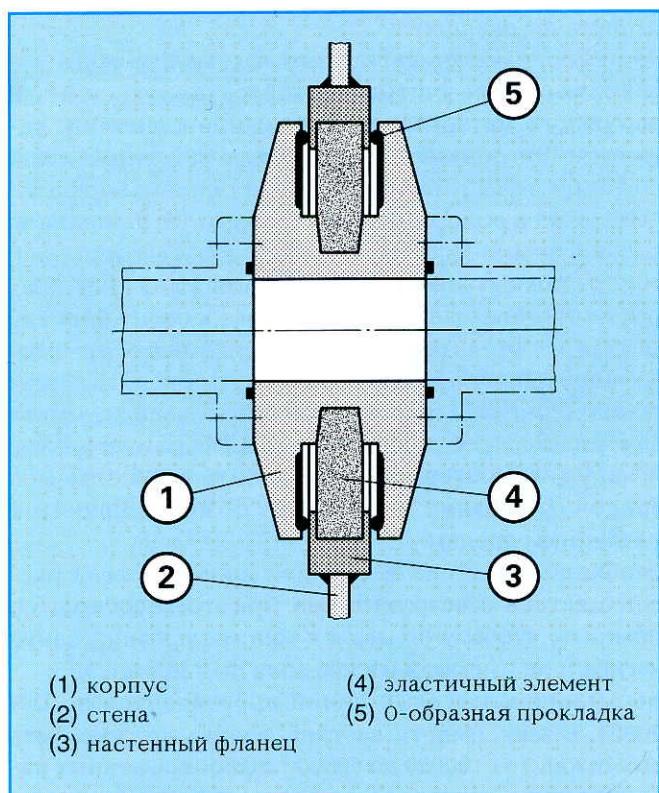


Рис. 199: Подвижное устройство  
 для прохода трубопроводов

## 5.3 Шланги

Шланги являются надёжными элементами энергопередачи в гидравлических системах. Они должны надёжно компенсировать движения трубопроводов или являться продольными компенсаторами на длинных участках систем. Они должны отвечать всем требованиям, выставляемым в каждом конкретном случае.

Шланговые (или рукавные) линии состоят из собственно шлангов и соответствующей арматуры. При этом арматура согласуется с системой соединений, принятой для данных трубопроводов.

### 5.3.1 Шланговые линии с арматурой под запрессовку

Как видно по рисункам 200 до 207, при помощи запрессовки на конец шланга могут быть посажены самые различные виды соединительной арматуры. К ним относятся самые различные соединительные элементы с уплотняющей отбортовкой, наружные конусы с углом 24°, а также соединения для фланцев. Арматура продаётся в прямом исполнении, с коленом 45° и 90°.

Шланг и арматура могут выбираться конструкторами раздельно.

Выбор арматуры зависит от системы трубопроводной обвязки, например, принимается ли она на соединениях с уплотняющей отбортовкой, с врезными кольцами, на приварных конусах или на фланцах. Используемая в гидравлических системах арматура изготавливается из стали, а в особых случаях - из нержавеющей стали.

При выборе шлангов необходимо в общем исходить из ДУ и РУ. Оба этих фактора указываются на схеме объёмным расходом и рабочим давлением. Кроме того при выборе необходимо учитывать стойкость материалов к среде, рабочую температуру и влияние внешних условий.

В напорных шланговых линиях скорость движения жидкости - кроме всего прочего и по причинам уровня шума - не должна превышать 2 до 3 метров в секунду. В линиях возврата эта величина тоже не должна превышаться.

Рабочее давление должно быть не более 1/4 от давления разрыва шланга. Это учтено в каталожных данных по допустимым рабочим давлениям.

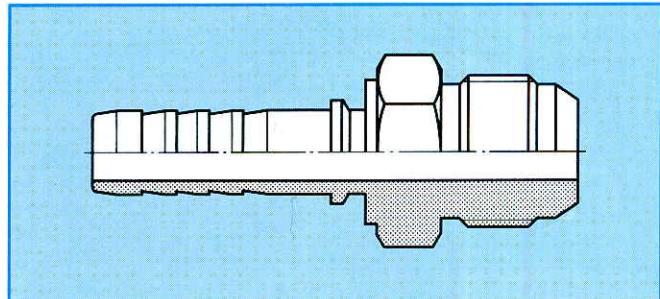


Рис. 201: Прямой ниппель с наружной резьбой для резьбового соединения с уплотняющей отбортовкой

В гидравлических системах с выраженным пиками по давлению - например, при изменении давления со скоростью более 3000 бар в секунду и пиках давления до 20% выше номинального давления (РУ) - необходимо принимать шланги более высокой ступени по давлению, чем это требуется на основании расчёта по давлению.

При выборе материального исполнения шланга необходимо также учитывать стойкость внутреннего и наружного материала к среде и/или к внешним условиям. В продаваемых шлангах внутренний слой резины устойчив к жидкостям на основе минеральных масел и водных растворов гликоля. Для работы с фосфорными эфирами должно предусматриваться особое покрытие внутреннего слоя. Наружное покрытие обычных шлангов устойчиво к озону. Многие заводы-изготовители выполняют его также стойким и к минеральным маслам. Это надо проверять в каждом конкретном случае. При использовании шлангов внутри ёмкостей, заполненных фосфорным эфиром, и наружный материал должен быть согласован со средой. В таблице 58 приведён обзор стойкости к различным средам.

Необходимая длина шланговой линии должна рассчитываться конструкторами. При этом необходимо помнить, чтобы учитывался минимальный радиус изгиба и не имеющая изгиба зона по таблице 59.

Испытание шланговых линий производится по DIN 20021. В зависимости от типа шланга должно быть выдержано от 100000 до 400000 знакопеременных нагрузок при импульсном подъёме давления примерно на 50% выше номинального.

Шланги или шланговые линии должны храниться в прохладном и сухом помещении при температуре около +20° при относительной влажности воздуха 65% и должны быть защищены от попадания солнечных лучей.

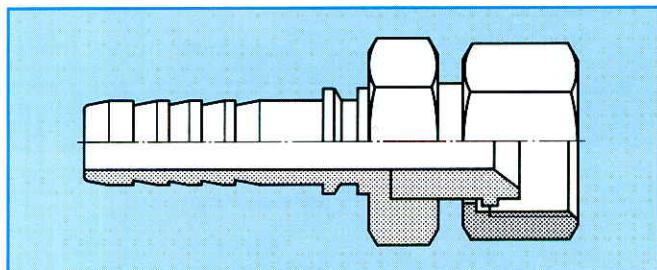


Рис. 200: Прямой соединительный ниппель для резьбового соединения с уплотняющей отбортовкой

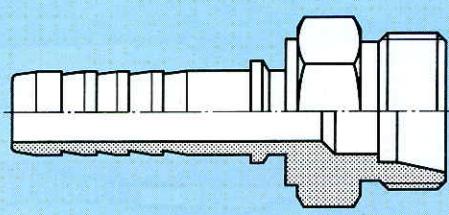


Рис. 202: Прямой ниппель для подключения под углом 24°

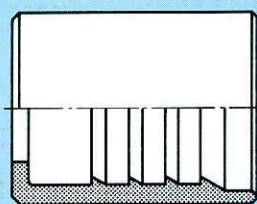


Рис. 203: Посадка под запрессовку

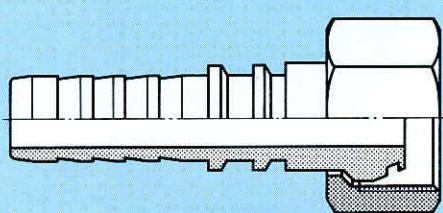


Рис. 204: Прямой ниппель для соединения под углом 24° с O-образной прокладкой

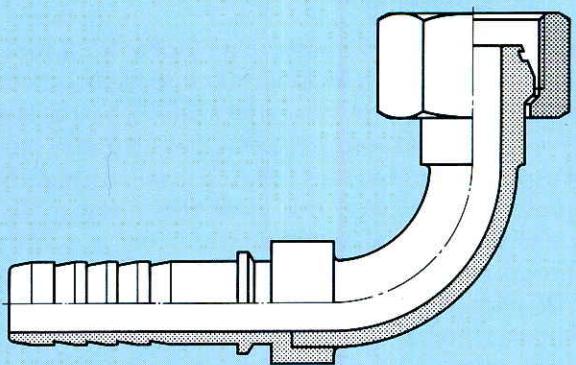


Рис. 205: Колено 90° с подключением под углом 24° и O-образной прокладкой

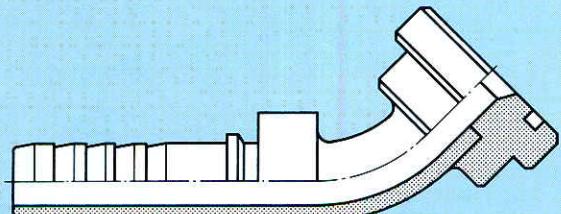


Рис. 206: Колено 45° для соединения на фланце SAE

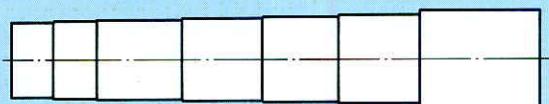


Рис. 207: Шланг,  
например, 4 SP-SAE 100 R9R, 4 SH-DIN 22023/2

### 5.3.2 Резьбовая арматура многократного пользования

Линии с арматурой многократного пользования применяются в гидравлических системах для того, чтобы заменять при ремонте только сам шланг. В этом случае соответствующему ремонтному отделу нужно иметь не готовые линии, а шланги в виде бухт. А арматура, как следует из названия раздела, может быть использована повторно.

В принципе эта арматура имеет те же самые возможности подключения, что и запрессовываемая. Различие состоит в том, что шланг охватывается втулкой арматуры и затем натягивается по коническому штуцеру до плотной посадки на арматуре. Фиксация шланга на арматуре достигается за счёт особой формы втулки. Такое соединение шланга и арматуры ограничивает допустимое рабочее давление. Оно обычно ниже, чем для арматуры под запрессовку.

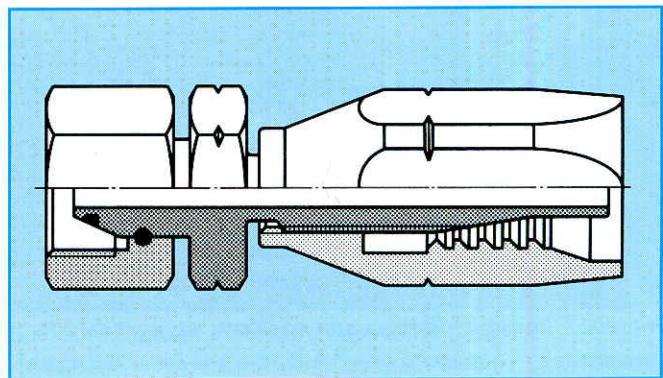


Рис. 208:  
Резьбовая арматура многократного пользования для штуцера с конусом 24°. Уплотнительная головка - с O-образной прокладкой

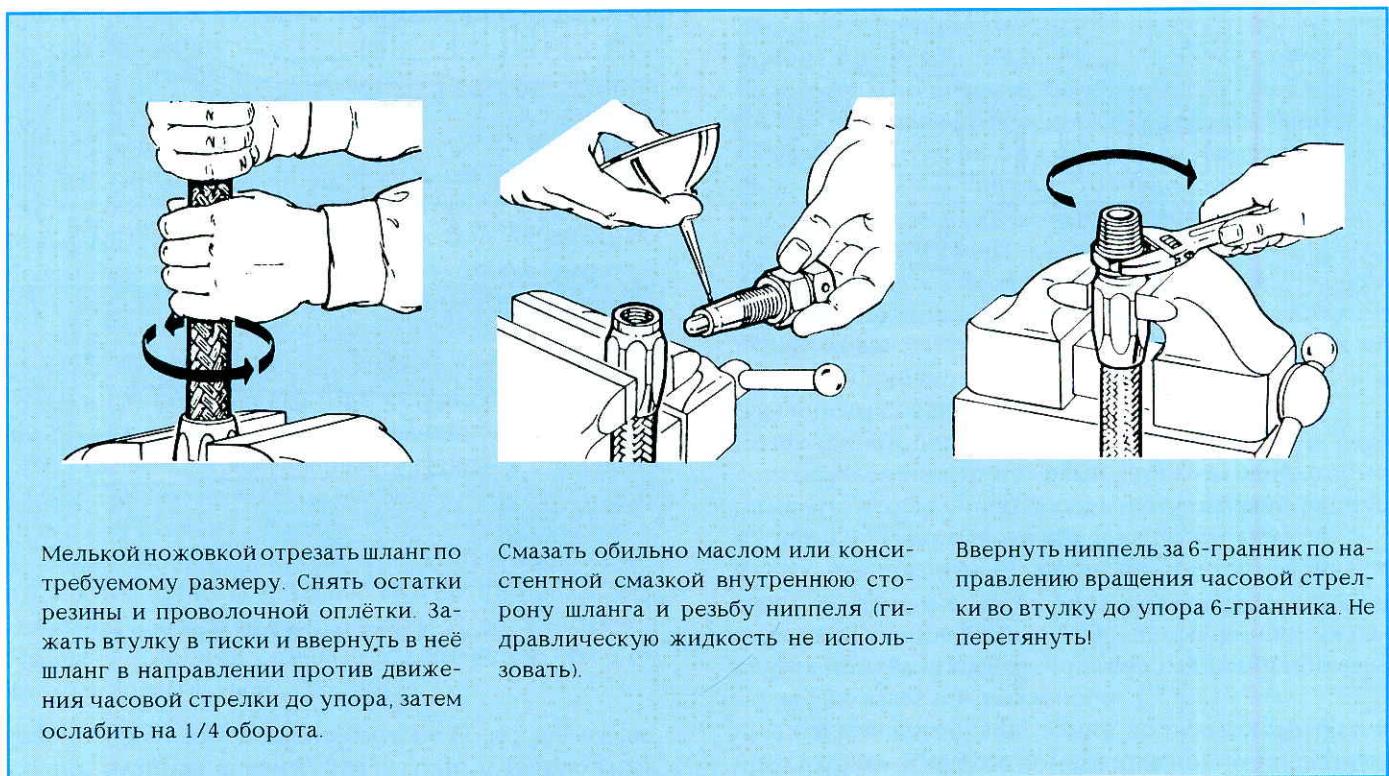


Рис. 209: Указания по монтажу резьбовой арматуры многократного пользования

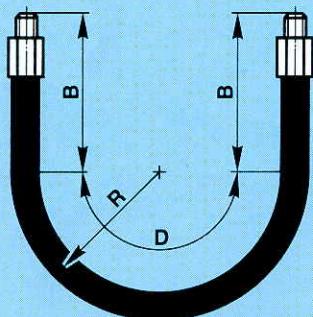
Мелькой ножковкой отрезать шланг по требуемому размеру. Снять остатки резины и проволочной оплётки. Зажать втулку в тиски и ввернуть в неё шланг в направлении против движения часовой стрелки до упора, затем ослабить на 1/4 оборота.

Смазать обильно маслом или консистентной смазкой внутреннюю сторону шланга и резьбу ниппеля (гидравлическую жидкость не использовать).

Ввернуть ниппель за 6-гранник по направлению вращения часовой стрелки во втулку до упора 6-гранника. Не перетянуть!

Гидравлическая жидкость	Материал шланга	Допустимая температура
HL и HLP по DIN 51 524, часть 1 и 2 (минеральные масла)	NBR	100 °C
HFA и HFB по VDMA 24 317 (вода и эмульсии масла в воде)	NBR	55 °C
HFC по VDMA 24 317 (раствор гликоля)	NBR	70 °C
HFD-R по VDMA 24 317 (эфир фосфорной кислоты)	Полиамид/ EPDM	80 °C
HFD-U по VDMA 24 317 (полиолефиновый эфир)	NBR	80 °C

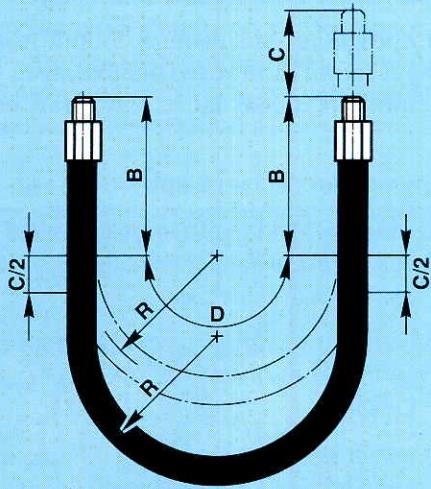
Таблица 59



## Расчёт жёстко установленных линий

Общая длина  $L = 2B + 3,14 \cdot R$   
( $3,14 \cdot R = D$ )

$R \geq$  минимальный радиус загиба



## Расчёт жёстко перевиженых линий

Общая длина  $L = 2B + 3,14 \cdot R + C$   
( $3,14 \cdot R = D$ )

при движении в рабочем  
объёме учитывать дополнительную длину С

качество шланга <sup>*)</sup>	внутренний диаметр (ДУ) дополнительная длина В в мм	6	8	10	12	16	20	25	32	40
		90	100	110	120	130	140	160	180	200
1 ST и 1 SN	допуст. избыточ. рабочее давл. "p" в бар	225	215	180	160	130	105	88	63	50
	минимальный радиус загиба R в мм	100	115	130	180	200	240	300	420	500
2 ST и 2 SN	допуст. избыточ. рабочее давл. "p" в бар	400	350	330	275	250	215	165	125	90
	минимальный радиус загиба R в мм	100	115	130	180	200	240	300	420	500
4 SP и 4 SH	допуст. избыточ. рабочее давл. "p" в бар	450	—	445	415	350	350	280	210	185
	минимальный радиус загиба R в мм	150	—	180	230	250	300	340	460	560

Таблица 60

<sup>\*)</sup> качество шланга по DIN 20 066

длина L в мм	до ДУ25	допуски на ДУ32 до ДУ50	ДУ60 до ДУ100
до 630	+ 7 мм - 3 мм	+ 12 мм - 4 мм	
630 до 1250	+ 12 мм - 4 мм	+ 20 мм - 6 мм	+ 25 мм - 6 мм
1250 до 2500	+ 20 мм - 6 мм	+ 25 мм - 6 мм	
2500 до 8000		+ 1,5 % - 0,5 %	
свыше 8000		+ 3 % - 1 %	

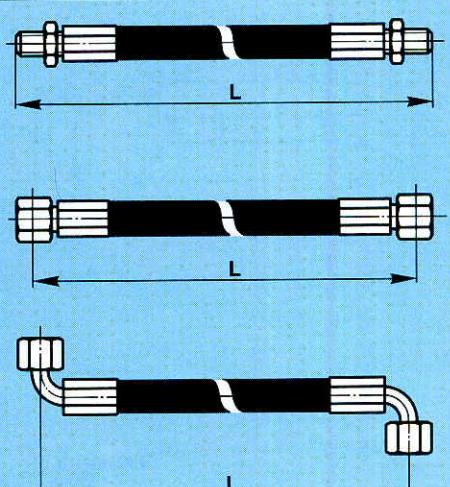


Таблица 61: Допуски на длины монтируемых шланговых линий по DIN 20 066

### 5.3.3 Монтаж шланговых линий

Правильная прокладка шланговых линий повышает срок их эксплуатации. Для этого необходимо учитывать положения DIN 20066, часть 4, монтаж шланговых линий.

Избегать скручивания шланга при монтаже!

Шланговые линии должны монтироваться так, чтобы на них действовала только нагрузка от собственного веса!

При сложной конфигурации прокладки длина шланговых линий должна выбираться так, чтобы оставалась зона без изгиба!

Арматура должна выбираться таким образом, чтобы не было дополнительных нагрузок на шланг!

Шланговые линии должны быть защищены от внешних воздействий. Элементы конструкций с острыми краями должны иметь защитные покрытия. В случае необходимости шланги сами должны иметь защитные покрытия!

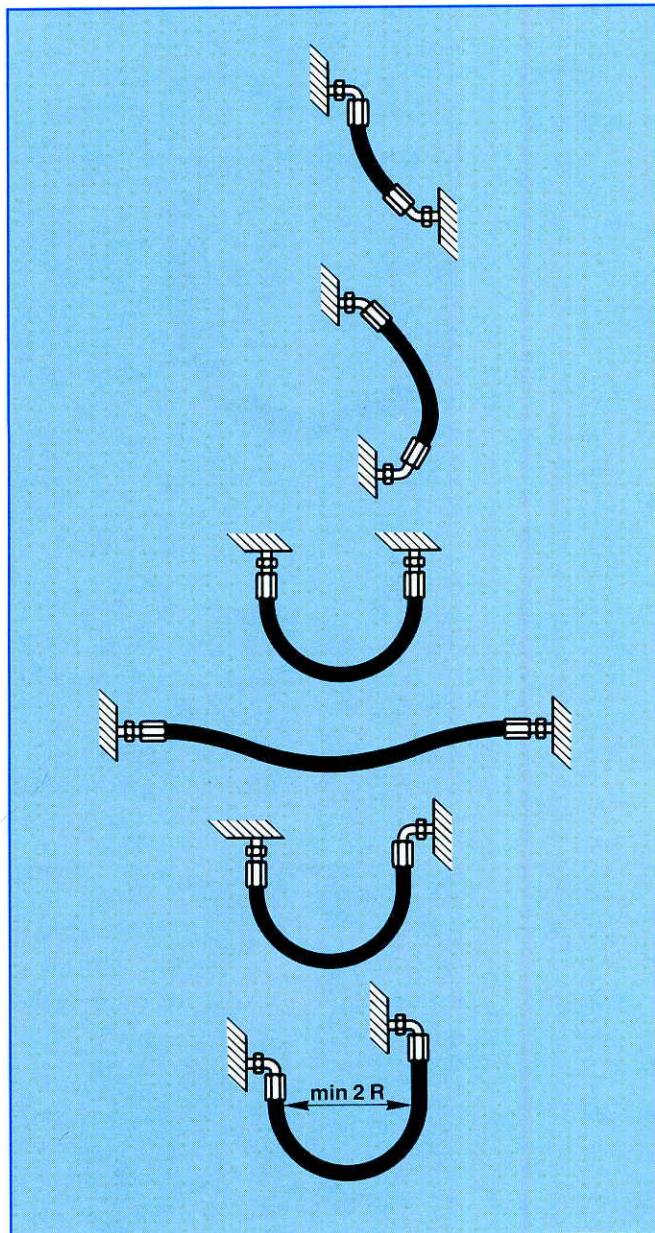


Рис. 210:  
Примеры правильной прокладки шланговых линий

### 5.3.4 Условия безопасной эксплуатации шланговых линий

Выбор шланговых линий в соответствии с рабочим давлением и рабочими условиями при достаточном условном проходе (ДУ).

- Диапазоны применения должны выбираться по соответствующим нормам.
- Соблюдение правильности соединения.
- Тщательное выполнение монтажа.
- Регулярность ревизий для своевременного выявления дефектов.
- Быстрая замена дефектных участков.

Отраслевыми профсоюзами выпущены специальные предписания. Они приведены в брошюре "Правила безопасной эксплуатации шланговых линий гидравлических систем" ZH I/74, издание: октябрь 1984 г.. Приведённые ниже примеры возможных дефектов шланговых линий взяты из этой брошюры.

### 5.3.5 Примеры возможных дефектов шланговых линий

1. Не нарушается ли естественное положение или движение шланговой линии?
2. Не действуют ли на шланговую линию усилия растяжения, скручивания или сжатия?
3. Не занижается ли минимальный указанный заводом-изготовителем радиус изгиба шланговой линии при её движении или в спокойном состоянии?
4. Имеется ли внешнее механическое, тепловое или химическое воздействие на шланговую линию?
5. Имеется ли наружное лаковое покрытие шланговых линий?
6. Имеются ли повреждения наружного слоя (потёртости, порезы, трещины)?
7. Не является ли наружный слой хрупким (нет ли образования трещин на материале шланга)?
8. Имеются ли вмятины?
9. Имеются ли на шлангах переломы?
10. Не наблюдается ли образования пузырей на поверхности шлангов?
11. Нет ли разгерметизации арматуры?
12. Нет ли утечек из шланга?
13. Не соскаивает ли шланг с арматуры?
14. Не ли повреждения или деформации арматуры?
15. Не подвергается ли арматура коррозии?
16. Не меняется ли окраска наружного слоя (например, от действия растворителей)?
17. Не превышен ли установленный срок эксплуатации?

### 5.4 Быстроразъёмные муфтовые соединения

Служат для быстрого отключения и соединения элементов гидравлических систем. Диапазон их применения разнообразен, но преимущественно они используются в тех случаях, когда узлы машинного оборудования должны соединяться с гидравлической системой лишь периодически.

При использовании быстроразъёмных муфт автоматически срабатывают обратные клапаны, открывающие проход при подключении и запирающие его при отключении. Обратные клапаны выполнены так, что они обеспечивают полную герметичность в отключённых элементах, которые могут нагружаться до рабочего давления.

Обычно наконечник соединён с трубопроводом, а муфта - со шлангом. Соединения "муфта - трубопровод" и "наконечник - шланг" выбираются произвольно. Подключение к системе трубопроводов соответствует обычным соединениям. Присоединение к шлангу выполняется в основном при помощи наружного конуса с О-образной прокладкой.

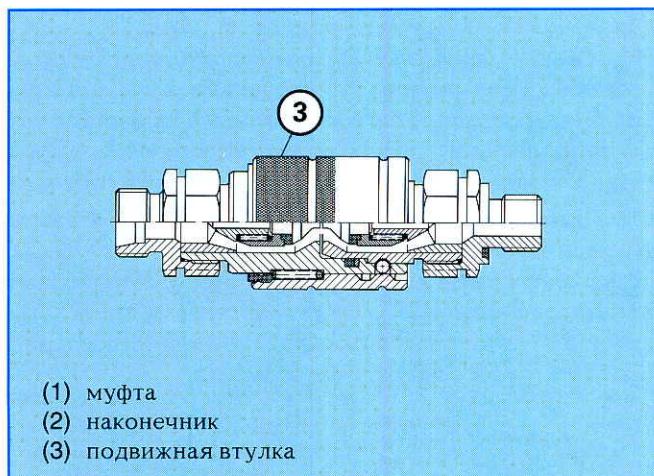


Рис. 211: Быстродействующая муфта в соединённом состоянии

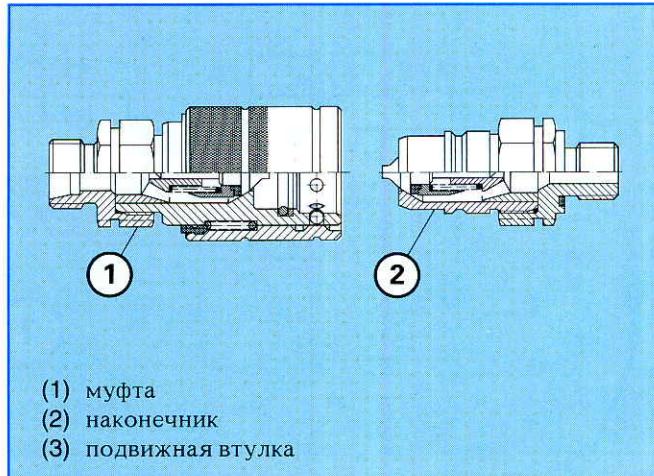


Рис. 212: Быстродейств. муфта в разъединён. состоянии

## 5.5 Компенсаторы

Резиновые компенсаторы служат в трубопроводных системах для компенсации удлинений, напряжений, смещений и движений, вызываемых колебаниями температуры, просадками фундаментов, знакопеременными нагрузками или вибрациями. Они используются также для гашения корпусного шума и толчков, а также для компенсации неточностей выполнения монтажа.

Используемые обычно в гидравлических системах компенсаторы выполняются из резины или искусственного каучука различных марок - например EPDM-хлоропрен или NBR, - которые в зависимости от давления наносятся на мощный каркас из синтетических волокон или стальной проволоки (таблица 62).

Для установки в системе трубопроводов используются от ДУ 40 и выше стальные фланцы из материала St 37.2 или при необходимости из других материалов, а до ДУ 40 - трубная арматура (рисунки 213 до 215).

В продаже имеются обрезиненные компенсаторы на ДУ от 20 до 3600 и на РУ 6, 10 или 16. Можно приобрести также и компенсаторы с особыми условиями подключения, например, на фланцах SAE.

Способность выдерживать давление обрезиненных компенсаторов зависит от их размеров и исполнения, температурной нагрузки, а также от выполняемых перемещений (диаграмма в таблице 63).

Обычно компенсаторы с усиливанием из синтетического волокна используются до температуры +10 °C, а с усилием из стальной проволоки - до +130 °C.

В гидравлических системах обрезиненные компенсаторы ставятся преимущественно на линии всасывания. В этом случае они могут комбинироваться с отсечными задвижками (рисунок 216).

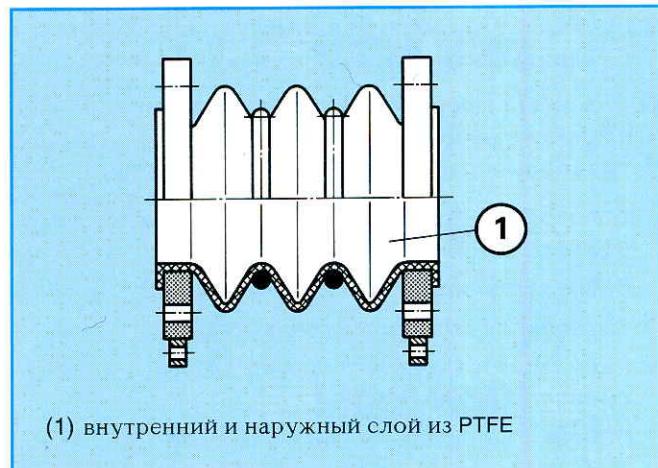


Рис. 213: Компенсатор на фланцах по DIN 2632 и 2633, РУ 10 и 16, ДУ 40 до 400, используется на фосфорной кислоте

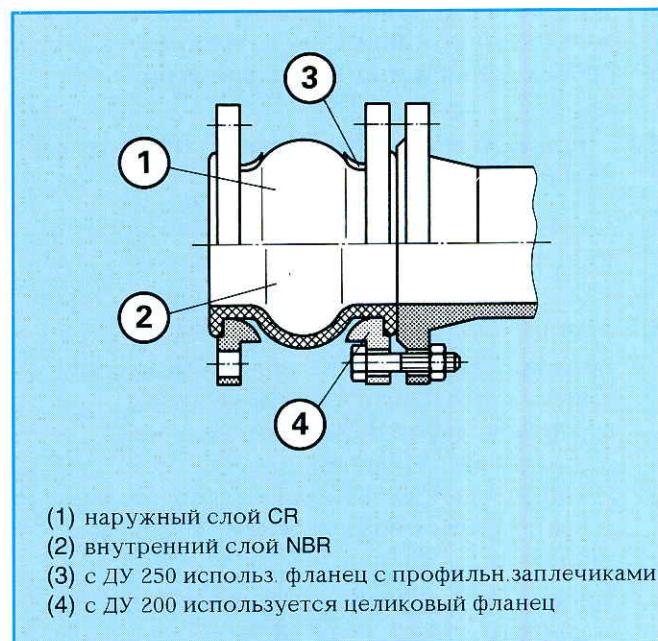


Рис. 214: Компенсатор на фланцах по DIN 2632 и 2633, РУ 10 и 16, ДУ 40 до 400

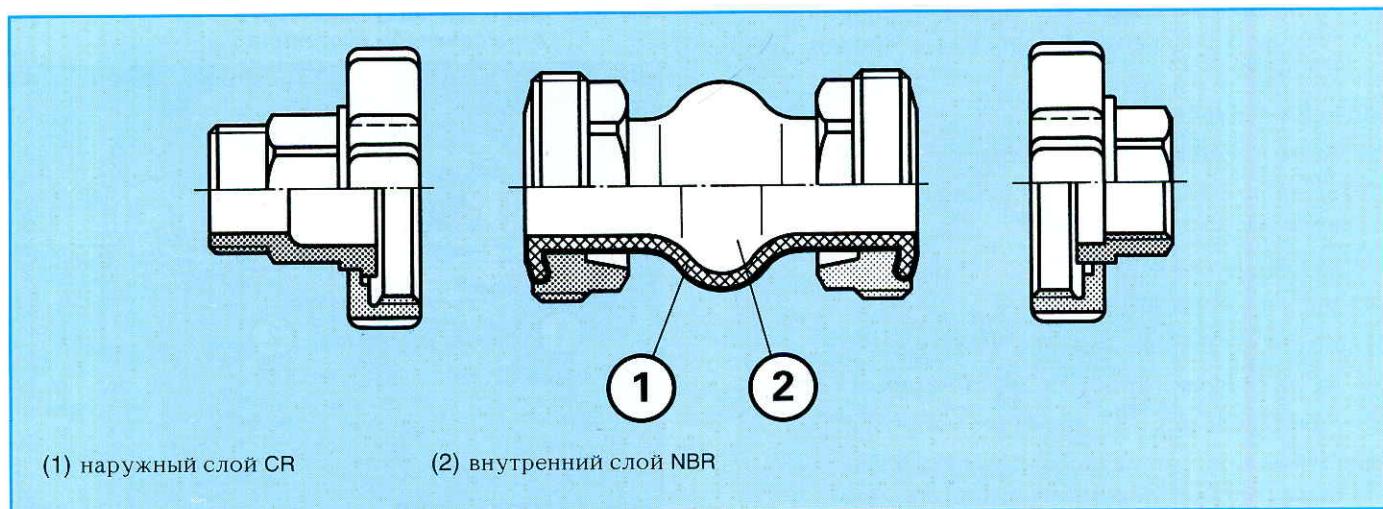
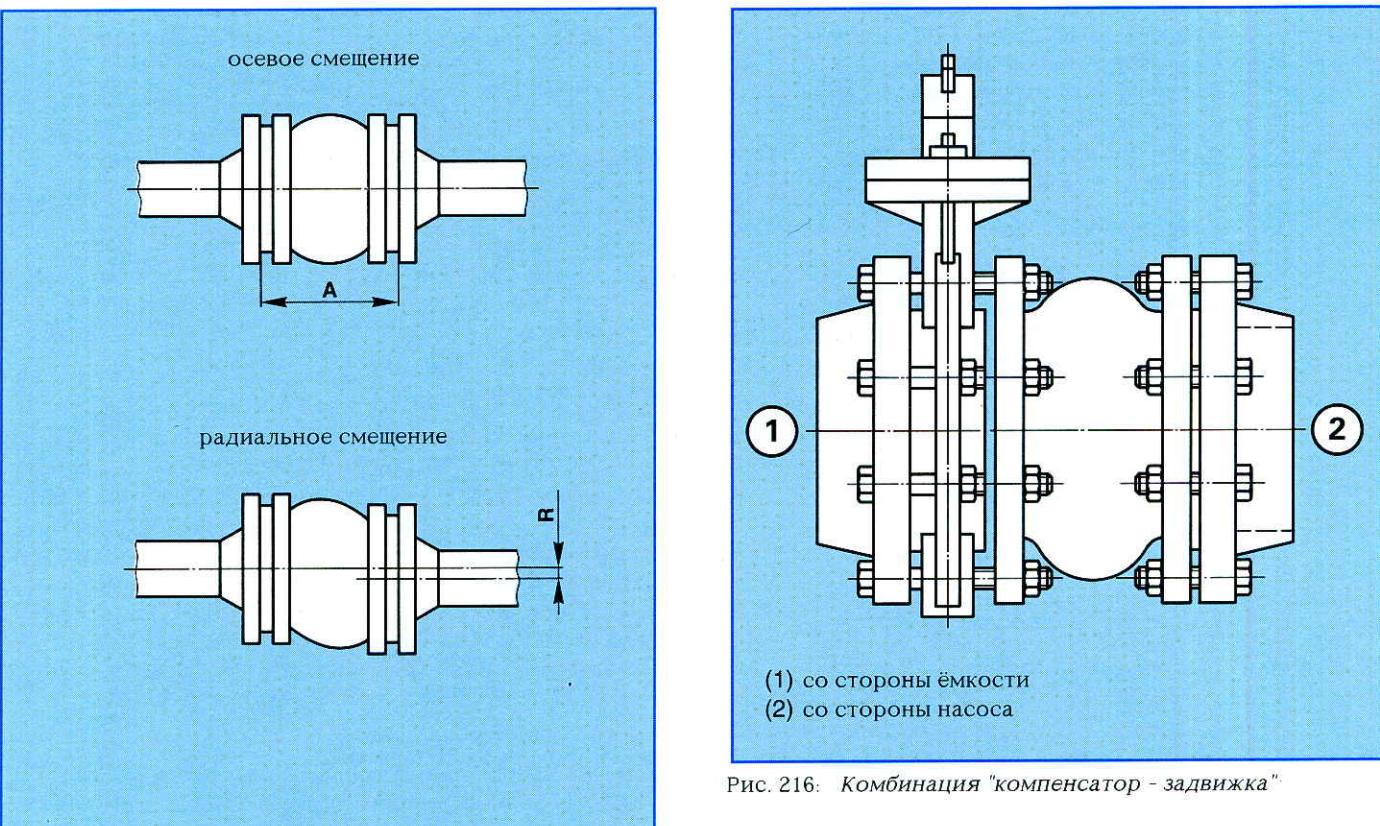


Рис. 215: Компенсатор на резьбовых подключениях от G 3/4 до G 1 1/2; резьба может быть наружной или внутренней; используется для минерального масла и водного раствора гликоля

Тип (условное обозн.) по интернац. номенклатуре / наиболее употребимые торговые обозначения типов каучука	Основные свойства	Применение
<b>EPDM</b> Этилен-пропилен-терполимеризат / Буна АР <sup>3)</sup> Келтан <sup>4)</sup> Висталон <sup>5)</sup>	Жаро- и атмосферостойкий, с особой стойкостью к сильным окисляющим средам, а также к очень многим химикатам; практически газонепроницаем (за исключением углеводородных газов); при длительной эксплуатации выдерживает до +100 °C; сохраняет пластичность до -25 °C (не стоек к маслам).	Для воды, горячей воды, мягкого пара, на химических установках для кислот, щелочей, протравливающих реагентов, растворов гипохлорита и многих других.
<b>NBR</b> Бутадиен-акрилнитриловый каучук / Пербуран <sup>2)</sup>	Прекрасная стойкость к бензину и маслам; особенно стоек к набуханию, например от бензин-бензоловой смеси; практически не пропускает углеводородные газы; при длительной эксплуатации выдерживает до +90 °C; не стоек к горячей воде.	Для городского газа, природного газа, мазута, топлив, минеральных масел, доменного газа, минеральных масел по DIN 51 524, часть 1 и 2, (раствора гликоля) по VDMA 24 317
<b>CR</b> Полихлоропон / Неопрен <sup>1)</sup> Байпрен <sup>2)</sup>	Универсальный, очень стоек к маслам, атмосферным воздействиям, пламени, старению, органическим и неорганическим химикалиям; практически не пропускает углеводороды; не стоек к горячей воде; выдерживает при длительной эксплуатации до +90 °C; достаточная пластичность до -20 °C.	На установках водоснабжения, для охлаждающей воды, морской воды, кислот и щелочей, воздуха, коксового газа, бумажных веществ, фекалиев.
<b>PTFE</b> Тефлон	Устойчив к кислотам в любой концентрации, щелочам, хлоридам, сульфатам, растворителям, отбелителям, перекисям, фенолам, маслам, жирам, воде, пару, топливам; при длительной эксплуатации выдерживает температуры от -70 °C до +230 °C, а при кратковременных пиках - до +280 °C.	Для эфира фосфорной кислоты HSD по VDMA 24 317 (поставляется только многоволновым).

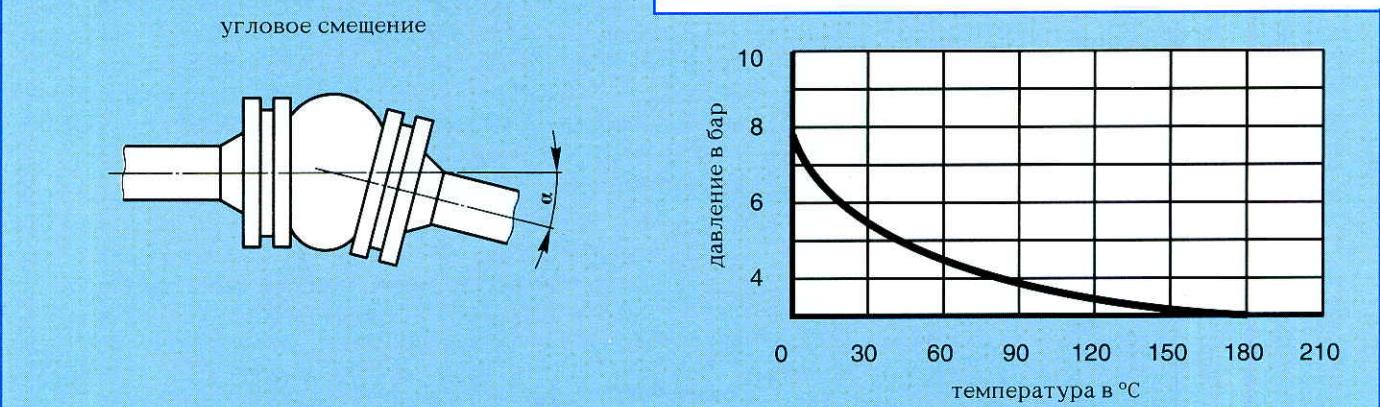
Товарные знаки: <sup>1)</sup> Du Pont (Дюпон), <sup>2)</sup> Bayer Ag (Байер АГ), <sup>3)</sup> Buna Hüls (Буна Хюльс), <sup>4)</sup> DSM, <sup>5)</sup> Esso (Эссо)

Таблица 62: Компенсаторы, стандартные типы, свойства и применение



(1) со стороны ёмкости  
(2) со стороны насоса

Рис. 216. Комбинация "компенсатор - задвижка"



ДУ	смещение в мм							угловое ± 3°	колич. допустим. циклов знакоперем. нагрузки <sup>*)</sup>			усилия смещения в Н/мм ±25%	
	осевое			радиальное			110 °C		50 °C	100 °C	130 °C	сжатие	удли- нение
40	30	25	15	10	6	4	25		20 000	8 000	2 000	34	34
50	30	25	15	10	6	4	25		20 000	8 000	2 000	25	27
65	30	25	15	10	6	4	25		20 000	8 000	2 000	36	55
80	40	35	25	10	6	4	20		20 000	8 000	2 000	25	47
100	40	35	25	10	6	4	15		20 000	8 000	2 000	34	80
125	40	35	25	10	5	4	15		20 000	8 000	2 000	20	90
150	40	35	25	10	6	4	12		20 000	8 000	2 000	25	120
175	40	35	25	10	6	4	10		20 000	8 000	2 000	35	140
200	45	40	30	15	10	6	8		20 000	8 000	2 000	65	300
250	45	40	30	15	10	6	7		20 000	8 000	2 000	120	360
300	45	40	30	15	10	6	6		20 000	8 000	2 000	120	360
350	45	40	30	15	10	6	5		20 000	8 000	2 000	120	360

<sup>\*)</sup> Количество циклов знакопеременной нагрузки принимается для полного смещения в осевом или радиальном направлениях. При колебаниях с малой амплитудой допускается значительное большее количество циклов знакопеременной нагрузки.

Таблица 63: Восприятие перемещений компенсаторами на основе из стальной проволоки

Эластичные трубные соединения должны устанавливаться таким образом, чтобы был возможен их визуальный контроль. Резиновые элементы не должны иметь лакокрасочных покрытий и изоляции.

Эластичные трубные соединения должны по возможности работать на сжатие. Необходимо избегать нагрузок на растяжение в рабочем состоянии. Скручивание недопустимо.

Между двумя жёсткими опорами может устанавливаться только одно эластичное соединение труб.

Эластичные трубные соединения должны быть защищены от излучения и жары, в противном случае они должны иметь покрытие или защитную оболочку.

При прохождении через трубопровод электрических токов (например, при заземлении сварочных трансформаторов) компенсатор должен быть достаточно надёжно зашунтован. При отсутствии таких перемычек трубопровод действует как электрическое сопротивление и может быть разрушен.

В компенсаторах в результате их особой формы может возникать завихрение потока, приводящее к повышению шума. В этих случаях необходимо устанавливать проводящую трубу.

## 6. Изготовление гидравлических трубопроводных систем

### 6.1 Введение

Для изготовления гидравлических трубопроводных систем известны два отличающихся друг от друга метода:

- доизготовление в условиях мастерской и
- изготовление непосредственно на монтажной площадке.

Зачастую по техническим и практическим соображениям используют комбинацию обоих этих методов.

#### 6.1.1 Доизготовление

При доизготовлении трубопроводы выполняются в мастерской отдельно от остальных работ на площадке и затем поставляются на монтаж. Для этого необходимо иметь специальный отдел доизготовления, оснащённый необходимыми производственными средствами.

После установки гидравлических агрегатов производится замер трасс гидравлических линий и представление их на изометрических чертежах, по которым они и изготавливаются в отделе доизготовления.

Для монтажа на площадке используется укомплектованный "вагончик", содержащий аппаратуру, не-

обходимую для ограниченного изготовления трубопроводов или выполнения изменений.

Преимущества доизготовления:

- меньшая потребность в персонале, материалах и объёмах выполняемых работ на площадке без потери производственной гибкости;
- лучшее овладение технологией изготовления трубопроводов при постоянно высоком качестве за счёт:
- оптимизации производства в условиях отдела с постоянным машинным парком, имеющим специальные современные средства, квалифицированный персонал и обеспечивающим автоматизацию работ;
- наличиине коротких производственных связей между проектировщиками, конструкторами и производственным отделом;
- меньшая потребность в транспорте для доставки материалов и оборудования.

Другое преимущество доизготовления заключается в возможности промывки и опрессовки трубопроводов в мастерской. Монтаж на площадке резьбовых соединений менее удобен.

Использование этого метода позволяет значительно сократить сроки выполнения работ.

Использование метода доизготовления ведёт к яльному повышению качества выполнения работ. Но для этого в самом начале требуются капиталовложения и овладение опытом работы.

#### 6.1.2 Изготовление трубопроводов на монтажной площадке

Изготовление трубопроводных систем на монтажной площадке ведётся в соответствии с общим выполнением строительно-монтажных работ.

Заготовленные на месте монтажа трубопроводы изготавливаются и монтируются в небольших объёмах на самой площадке или около неё; затем нарезаются, изготавливаются и монтируются следующие трубопроводы.

Бригады по изготовлению трубопроводов и их монтажу работают в тесном сотрудничестве и зависят при этом друг от друга. Необходимым условием является наличие хорошо оснащённой мастерской. Преимущество метода изготовления трубопроводов на монтажной площадке:

- возможность быстрой реакции на изменения в ходе строительства;
- частая возможность раннего начала строительно-монтажных работ;
- короткие и прямые производственные связи между заказчиком и строителями.

## 6.2 Доизготовление трубопроводов гидравлических систем

Основой для выполнения трубопроводов является схема гидравлической системы.

Указанные в ней гидравлические агрегаты и компоненты системы должны быть размещены и установлены в соответствии с компоновочным чертежом. Определённые части трубопроводных систем могут разрабатываться и доизготавливаться уже по компоновочному чертежу. Частично трубопроводы замеряются по своей длине на монтажной площадке после установки гидравлических агрегатов и компонентов системы.

### 6.2.1 Трассировка трубопроводов

И в этом случае основное значение имеет гидравлическая схема, так как в ней должны быть указаны подключения и размеры трубопроводов.

На основании этой информации на площадке по согласованию с заказчиком определяется общая трассировка линий. Необходимо также поведение согласований и с монтажниками по другим частям проекта (например, с электриками). Согласованные участки должны быть зарезервированы строителями для прокладки трубопроводов. Затем каждая линия точно вымеряется и представляется с дополнительными данными на изометрических чертежах, которые передаются в отдел доизготовления.

### 6.2.2 Изготовление трубопроводов

Доизготовление предполагает, что все машинное оборудование и инструмент, необходимые для этого, будут сконцентрированы в центральной мастерской.

Стационарная установка этого машинного оборудования даёт возможность использования укрупнённых и современных производственных средств, например, гибочных станков с программно-числовым управлением, сварочных автоматов, промывочно-опрессовочных блоков, рентгеноскопии в отдельном помещении, травильных устройств длиной до 7 метров и установок напыления лакокрасочных консервирующих покрытий. Разумеется, при определении структуры отдела учитывается наиболее экономичная схема технологического прохождения материала.

В правильно организованном цехе доизготовления должно быть отдельное помещение для выполнения трубопроводов из нержавеющей стали и соответствующий инструмент. Это необходимо для предотвращения "загрязнения" материала.

При изготовлении трубопровод проходит следующие операции:

- заготовку,
- гибку,
- нанесение соединительных элементов,
- протравливание/пассивирование,
- очистку,
- промывку и опрессовку,
- консервацию,
- подготовку к отгрузке.

Одновременно должны выполняться силами собственного отдела доизготовления и дополнительные строительные работы, как, например:

- изготовление опорных конструкций,
- выполнение требуемых фундаментов,
- выполнение проёмов и проходов,
- выполнение блоков сборных и распределительных разводок,
- выполнение прочих компонентов линий и трасс прокладок трубопроводов.

#### 6.2.2.1 Заготовка труб

Заготовку труб требуемой длины лучше всего производить на труборезных станках, так как при использовании ручных труборезов заужается проходное сечение труб.

#### 6.2.2.2 Гибка

Для снижения возможности утечек лучше использовать гнутые детали, чем ставить сборные узлы на резьбовых соединениях. Кроме того сама гибка производится быстрее, чище, дешевле и с меньшим шумом.

По гидродинамическим соображениям колена должны иметь возможно больший радиус загиба. Компромиссное решение в связи с размерами установочных мест на площадке представляет собой используемое в гидравлике правило: радиус загиба должен быть равен трём наружным диаметрам трубы,  $R = 3 \times d$ .

При малых радиусах загиба ( $R = 1,5 \times d_{\text{нар}}$ ) фактор гидравлического сопротивления становится более существенным.

Различают следующие способы гибки труб:

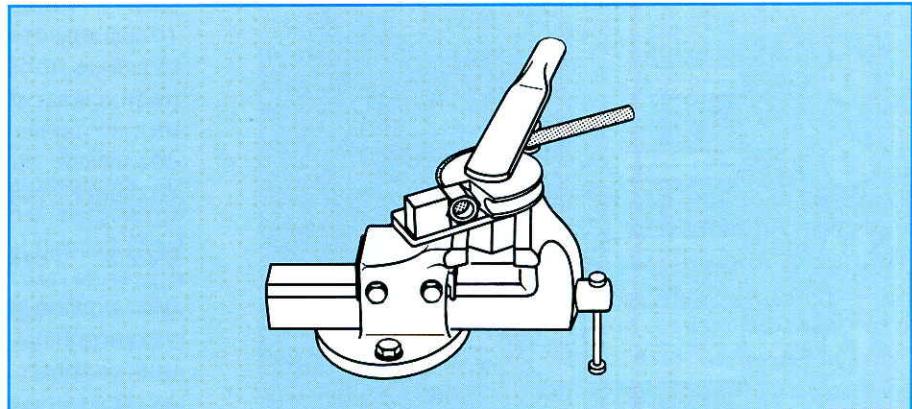


Рис. 217: Ручная гибка

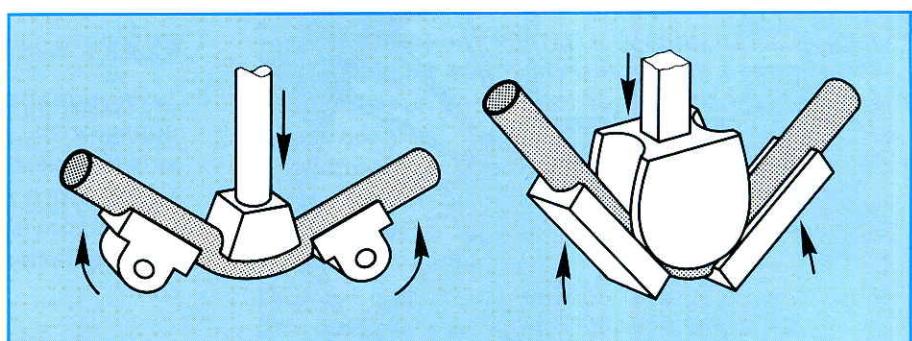


Рис. 218:  
Гибка труб двухсторонним  
давлением

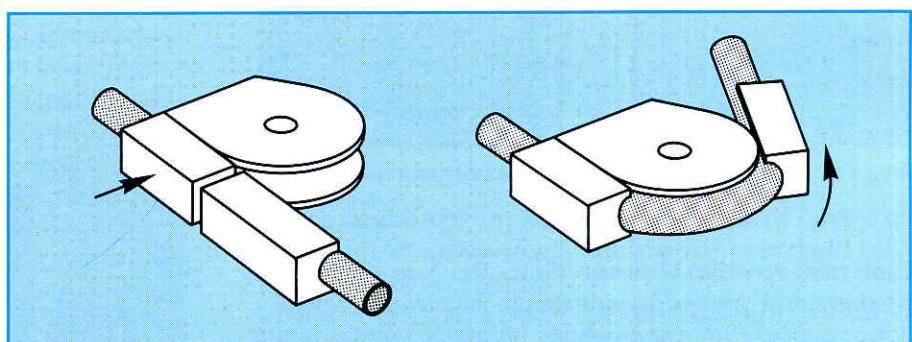


Рис. 219: Гибка труб обжатием

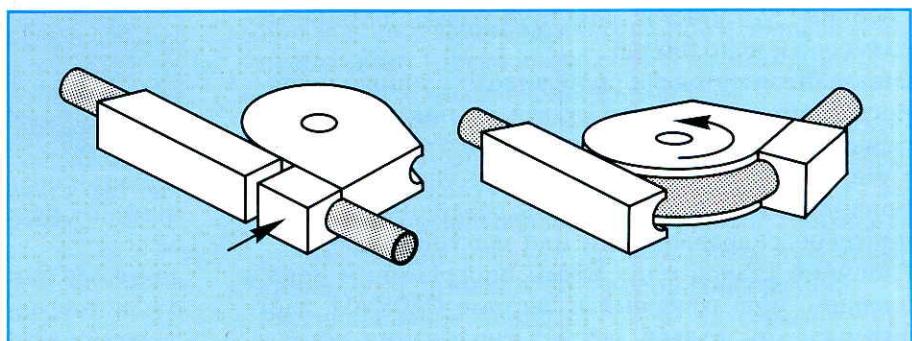


Рис. 220: Гибка труб вытяжением

Лучшим способом является гибка труб вытяжением, обеспечивающая наибольшую точность. Большим его преимуществом является и тот факт, что труба может иметь при этом внутреннюю опору. Это осуществляется при помощи оправок.

Для предотвращения получения овального сечения или других деформаций тонкостенные трубы должны иметь в точке изгиба внутреннюю опору. Это осуществляется при помощи оправок.

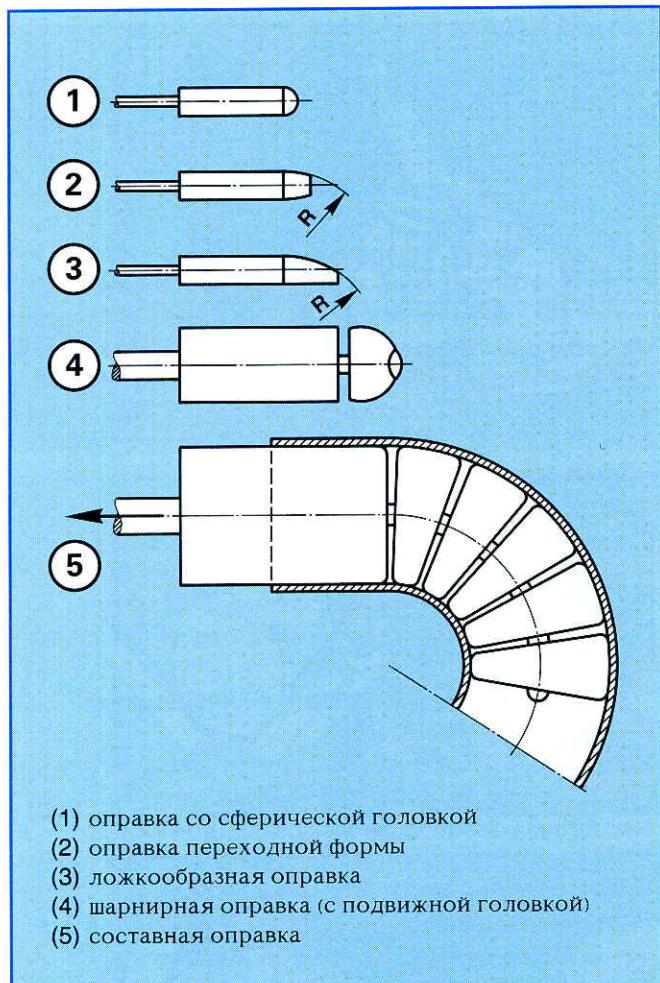


Рис. 221: Оправки различной формы

При гибке труб без оправок часто получается потеря правильной формы и занижение толщины стенки в зоне загиба. При увеличении радиуса загиба такие явления могут встречаться в ограниченном объеме. Гибочные устройства для труб бывают различных размеров и исполнений.

В продаже имеется оборудование от ручного гибочного станка, гибочного станка на подставке и до одинарного или многопозиционного гибочного автомата с числовым программным управлением. И приводы станков могут быть различными: механические, гидравлические или электрические. Гибочный станок с числовым программным управлением, подключённый к системе CAD/CAM, даёт возможность только за счёт считывания номера

трубы выполнения одного или нескольких полностью автоматизированных циклов гибки, включая забор материала со склада и до выдачи готового изделия.

Этот способ быстрый и точный. Экономичность же его выявляется только на больших сериях.

Особое место занимает индуктивный способ гибки труб. Он используется в основном на трубопроводах больших диаметров и большой толщины стенки.

Обычно при индуктивном способе гибки труб получается большая овальность и большое изменение толщины стенки трубы. В тех случаях, которые могут быть проблематичными, необходимо увеличить радиусы загиба до  $R=5 \times d$  или даже больше. Имеются индуктивные гибочные станки, которые при гибке обжимают трубу, даже увеличивая таким образом толщину стенки в зоне загиба.

### 6.2.2.3 Установка соединительных элементов

После выполнения гибки трубы на ней могут быть установлены соединительные элементы. При наличии сварных соединений в любом случае рекомендуется выполнять ответственные сварочные работы в доизготовлении.

#### 6.2.2.3.1 Механические соединения

Зажимное кольцо и врезное кольцо могут быть установлены на малых диаметрах при помощи соответствующего соединительного элемента и ключа. Кроме этого можно очень просто механически натянуть кольцо с накидной гайкой на трубу при помощи гидравлического инструмента.



Рис. 222: Станок для предварительной установки врезных колец

### 6.2.2.3.2 Сварные соединения

Использование сварных соединений позволяет в силу эластичности уплотнения лучше предотвращать утечки и работать на повышенном давлении (свыше 160 бар). Быстрое развитие в области сварки привело к возможности автоматизации этого процесса и тем самым - к высокой степени надёжности этого способа. Контроль может осуществляться при помощи рентгеноскопии и ультразвуковой дефектоскопии.

С точки зрения выполнения различают:

- ручную сварку и
- автоматическую сварку.

Использование сварочных автоматов привело к повышению качества исполнения трубопроводных систем. Современное поколение сварочных автоматов регулирует во время по определённым параметрам (к которым относятся также качество материала и толщина стенки) в автоматическом режиме скорость выполнения сварки, подачу сварочного материала и силу тока, что обеспечивает отличное выполнение сварочных работ, способных выдержать любые испытания.

При выполнении сварочных работ используются следующие способы:

- сварка вольфрамовым электродом в инертном газе;
- сварка металлическим электродом в инертном газе;
- электродуговая, или ручная сварка;
- сварка под флюсом (для больших толщин стенок).

#### Сварка вольфрамовым (неплавящимся) электродом в инертном газе

При этом электрический ток подаётся через прочный вольфрамовый электрод, окружённый аргоном. Присадочный материал подаётся вручную или автоматически. Часто этот вид сварки в силу технологических свойств используется для проварки корневого шва. При этом через трубу подаётся формиргаз для предотвращения внутреннего пережога. В результате подачи обоих газов этот способ сварки является очень чистым, т.е. при этом не образуется шлаков. Широкое распространение он получил благодаря возможности автоматизации выполняемых при этом работ. Использование автоматов с программным управлением и вращающейся сварочной головкой на пульсирующем токе обеспечивает высшее качество.

#### Сварка металлическим электродом в инертном газе

Это способ сварки, особенно удачно используемый на трубах большого диаметра и большой толщины стенки.

Присадочным материалом также является электрод, плавящийся настолько быстро, что требуется его автоматическая подача. Дуга может выдерживаться

вручную, а на вращающихся заготовках - зафиксировано.

При этом способе зона сварки для предотвращения образования шлаков также находится в среде газа.

#### Электродуговая сварка

Сварочная дуга испаряет оболочку металлического электрода, образуя защиту сварочной ванны. Стальной стержень электрода, плавясь, образует присадочный материал. Скорость сварки при этом способе лежит где-то между скоростей при сварке вольфрамовым электродом и металлическим электродом (оба - в инертном газе).

#### Сварка под флюсом

Этим способом сварка может выполняться качественно и быстро на трубах с очень большой толщиной стенки (например, на цилиндрах). Используется тот же самый принцип, что и при сварке металлическим электродом в среде инертного газа, но сварочная ванна дополнительно защищается слоем флюса, который при сварке образует защиту электрода, и надёжно предотвращает смешение со сварочной ванной.

Трубы, приварные конусы и фланцы из материала ST 35.4, наиболее часто используемые в гидравлических системах, не требуют термообработки ни до, ни после сварки.

Трубопроводные системы из материала St 52.4 должны подвергаться термообработке до и после сварки, особенно если система предназначена для работы в жёстких условиях.

Сварные швы, корень которых выполнен вольфрамовым или металлическим электродом с использованием формиргаза, не требуют или почти не требуют зачистки. Особенно в этих случаях видны преимущества использования сварочных автоматов. Значительно может быть сокращён объём вы сверливания на малых и шлифования на больших диаметрах.

### 6.2.3 Протравливание и пассивирование

Протравливание служит для удаления из труб загрязнений, образующихся при сварке, особенно шлаков и сварочных брызг.

Трубы по DIN 2391 и 2445 - так называемые прецизионные стальные трубы - поставляются заводами-изготовителями протравленными и пассивированными. При использовании таких труб протравливание их необходимо только после горячей гибки или после сварки без использования формиргаза.

Трубы по DIN 2448 поставляются не протравленными, поэтому они должны подвергаться этой обработке в любом случае. Необходимо помнить, что перед механической обработкой, т.е. перед гибкой или перед сваркой, следует удалить прокатную корку, крупные загрязнения и/или слой консервации.

Пассивирование защищает трубы на ограниченное время от образования ржавчины.

Различают протравливание в травильных ваннах и в кольцевой системе (см. раздел 6.3.3.4).

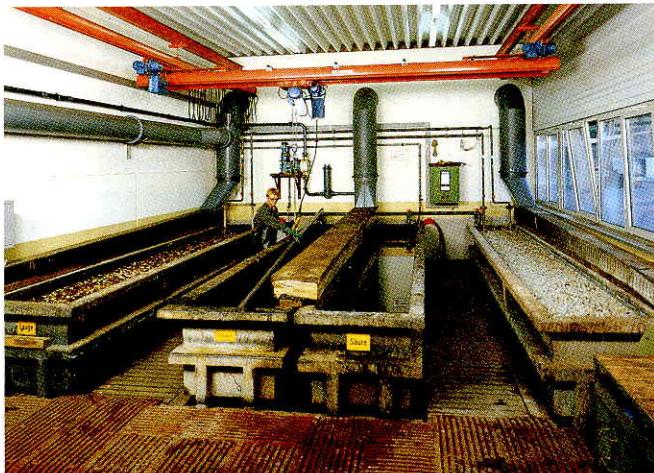


Рис. 223: Помещение с ваннами для протравливания.

Слева направо расположены следующие ванны:

- для обезжиривания ( $+70^{\circ}\text{C}$ )
- для кислотного протравливания (HCL), холодная
- для водной промывки
- для нейтрализации щёлочь натрия с пассивирующими присадками,  $+70^{\circ}\text{C}$

Последовательность расположения ванн соответствует последовательности технологических операций.

#### 6.2.3.1 Протравливание в ваннах

Обычно эта операция используется при доизготовлении элементов трубопроводных систем. Ванна для протравливания должна находиться в непосредственной близости от помещения, в котором выполняются сварочные работы. Будет ли протравливание производиться как многоступенчатое или разовое зависит от количества обрабатываемых труб. Большие количества обрабатываются как правило многоступенчатым протравливанием, небольшие - в разовых ваннах.

Независимо от вида протравливания трубы должны быть предварительно обезжирены. При многоступенчатом протравливании для этого предусматривается отдельная ванна, наполненная специальным раствором (раствор Р3), температура которого обычно составляет  $70^{\circ}\text{C}$ . Для обезжиривания среднезагрязнённой трубы достаточно кратковременного макания. Сильно замасленные, покрытые смазкой трубы необходимо очищать вручную, пользуясь холодными средствами.

Затем при многоступенчатом протравливании трубы погружаются в 20 до 30%-ный раствор соляной кислоты, в котором выдерживаются около 2 часов, в зависимости от количества имеющегося на них шлака.

Чтобы не загрязнять нейтрализационную ванну кислотой, трубы после их протравливания помещаются в ванну с водой для частичной отмычки кислоты.

Затем трубы проходят нейтрализацию в ванне со щёлочью натрия, которая также подагревается примерно до  $70^{\circ}\text{C}$  для ускорения процесса. В эту ванну подаются также и пассивирующие присадки, предотвращающие образование ржавчины на протравленных трубах. При разовом протравливании в одну и ту же ванну подаются кислота, нейтрализующие средства и пассивирующие присадки. Для ускорения процесса температура в этой ванне должна составлять около  $70^{\circ}\text{C}$ . Время пребывания в ванне колеблется в зависимости от вида и количества загрязнений до 8 часов. Уже сам по себе фактор такого большого времени пребывания определяет, что разовое протравливание используется только для малых количеств труб. Но качество выполнения и при разовом протравливании является достаточным. Конечно, перед погружением трубы должны быть обезжирены.

Независимо от вида протравливания трубы после их обработки должны быть ещё раз промыты, а именно - гидравлической жидкостью на которой они в последующем будут использоваться. Это необходимо для очистки труб и консервации их внутренней поверхности. После этого трубы тщательно закрываются с торцов для отправки их на площадку монтажа.

В зависимости от существующих требований трубы покрываются затем консервирующими смазками в соответствии с положениями раздела "Антикоррозионная защита наружных поверхностей при помощи консервирующих покрытий".

Большим преимуществом протравливания в ваннах является то, что каждая труба может быть проконтролирована. Нет опасности, что используемые реагенты останутся в системе.

Трубы из нержавеющей стали тоже должны протравливаться после сварки. При этом на край сварного шва наносится протравливающая паста, которая после 1 часа выдержки смывается водой. Затем вся труба ещё раз обрабатывается в травильной ванне, что обеспечивает возможность удаления возможно оставшихся загрязнений. Линии из нержавеющей стали также должны быть перед их отправкой на монтаж промыты в цехе доизготовления.

#### 6.2.4 Промывка и очистка трубопроводов

После полной просушки протравленные трубы - как и не протравливаемые прецизионные стальные трубы - промываются минеральным маслом. Лучше всего это делать на открытых трубах в ёмкости при помощи центробежного насоса. Большое значение при этом имеет фильтрация и регулярное обновление промывочной жидкости. Дополнительно через трубы несколько раз протягиваются чистые белые тряпки с небахромящимися краями. Перед закрыванием торцов участков трубопроводов их внутренняя поверхность консервируется тонким слоем масла, наносимого при помощи пневматического пистолета-разбрзывателя.

В зависимости от назначения гидравлической установки, для которой предназначаются трубопроводы, проводится обширный цикл их промывки при помощи отдельного промывочного агрегата. Для этого подключают эти трубопроводы к кольцевой системе, в которой стоит этот агрегат. Затем промывочная жидкость прокачивается до тех пор, пока не будет получена требуемая степень чистоты, контролируемая отбором и анализом проб (см. раздел "Назначение и выполнение фильтрации в гидравлических системах").

Если промывка трубопроводов проводится до их монтажа, то рекомендуется выполнить повторную промывку по окончании монтажа, что может быть сделано или при помощи насоса, предусмотренного в системе, или при помощи отдельного промывочного блока, так как несмотря на самое тщательное выполнение операций не всегда удается предотвратить попадание загрязнений в систему.

#### 6.2.5 Отгрузка трубопроводов

Оптимально загруженное производство доизготовления трубопроводов выполняет одновременно заказы для нескольких строительных объектов. Поэтому при отгрузке труб необходимо следить за тем, чтобы было выдержано правильное адресование. В некоторых случаях необходимо упаковывать трубы тщательным образом в контейнеры, обеспечивая тем самым их защиту от внешних повреждений, попадания влаги и загрязнений как при транспортировке, так и на монтажной площадке.

На крупных предприятиях доизготовления трубопроводов вопросы отгрузки решаются с помощью ЭВМ.

#### 6.2.6 Контроль качества изделий

Требования контроля и поддержания высокого качества изделий, обеспечиваемого использованием технологии доизготовления, требуют создания службы технического контроля (ОТК). Основные принципы контроля качества изложены в справочнике ОТК, в котором должны быть описаны все рекомендации и действия, направленные на обеспечение уровня качества, а также структура, показывающая иерархию, порядок подчинённости и уровень компетентности. Для больших проектов должны быть определены дополнительные указания, содержащиеся в специальных, относящихся к данным проектам предписаниям по обеспечению качества.

Хорошо организованное доизготовление располагает следующими возможностями контроля качества:

- устройством для магнитной дефектоскопии,
- устройством для рентгеноскопии,
- устройствами для ультразвуковой дефектоскопии,
- лабораторией для анализа масел.

### 6.3 Изготовление гидравлических трубопроводных систем на строительно-монтажной площадке

Могут быть самые разные причины, вызывающие необходимость изготовления линий на строительно-монтажной площадке. К ним относятся:

- отсутствие возможности доизготовления;
- требование заказчика (предоставление работы местному населению);
- требования, предъявляемые к системе (например, чтобы все линии были сварены в одну нитку).

Сами работы - такие, как заготовка по длинам, гибка и сварка - почти одинаковы как для условий доизготовления, так и для условий монтажной площадки. Но есть целый ряд отличий в их выполнении:

- на площадке выполняется наибольшая часть работ;
- количество рабочих, занятых на площадке, больше;
- необходимость организации на площадке или около неё производственного помещения;
- машинное оборудование проще, имеет меньшие возможности и меньшую производительность;
- очень усложнена обработка труб больших диаметров или специальная обработка;
- производственные условия на площадке менее удобны;
- в связи с этим заказчик часто требует контроля в повышенном объёме, например, рентгеноскопию;
- наряду с наличием производственных средств на площадке должно быть предусмотрено место для рабочих резервов материалов;
- при соединении трубопроводов сваркой - без фланцев или муфт - невозможен контроль их внутренних поверхностей.

#### 6.3.1 Замер длины трубопроводов

И в данном случае основой является схема, которая очень часто размещается рядом с гидравлической установкой, и сеть трубопроводов изготавливается на основе замера и подгонки в соответствии с данными этой схемы.

#### 6.3.2 Гибка труб

В большинстве случаев трубы до ДУ 32 гнут на ручных гибочных станках или на небольших переносных электрогидравлических.

Трубы больших диаметров гнут с подогревом или в мастерской. Иногда бывает необходимо сваривать угольники или колена, а они имеют меньшие радиусы загиба и потому являются менее удачными с гидродинамической точки зрения.

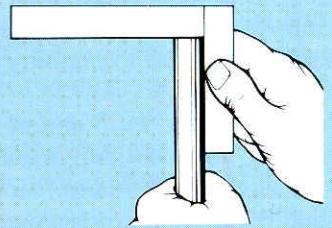
Кроме того увеличение количества сварных швов увеличивает затраты.

### 6.3.3 Установка соединительных элементов

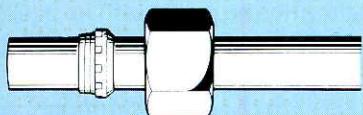
#### 6.3.3.1 Резьбовые соединения

Они могут устанавливаться как в условиях доизготовления, так и вручную при помощи ключей или при помощи описанных в разделе 6.2.2.3.1 приспособлений.

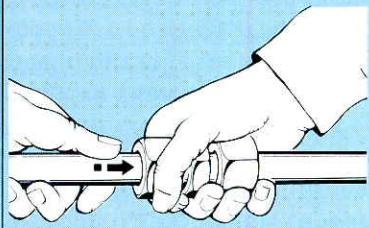
- 1 Отпилить заготовку трубы под прямым углом, не пользуясь труборезом, и снять заусенцы. По возможности использовать отрезной станок.  
Слегка зачистить концы трубы снаружи и внутри.



- 2 Надеть на трубу накидную гайку и профильное кольцо, как показано на рисунке.



- 3 Вставить трубу до упора в резьбовой штуцер.  
Затянуть от руки накидную гайку.

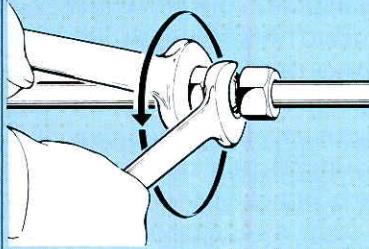


- 4 Затянуть накидную гайку пока профильное кольцо не найдёт на трубу.  
Это почувствуется за счёт увеличения усилия натяга.



- 5 Затянуть окончательно, повернув гайку на 1 оборот.

Примечание: удерживать резьбовой штуцер ключём!



- 6 Контроль: проверить врезание режущей кромки.  
Приподнявшийся поясок должен заполнить пространство перед торцевой стороной профильного кольца. Профильное кольцо может вращаться в радиальном направлении, но не должно сдвигаться по оси.

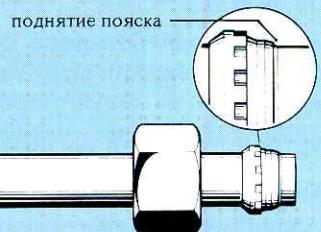


Рис. 224: Указания по монтажу резьбовых соединений с врезными кольцами

### 6.3.3.2 Сварные соединения

При выполнении обвязки на площадке используются те же самые сварные соединения, что и при доизготовлении. Дорогие сварочные автоматы не могут при этом использоваться вообще или могут использоваться только в очень ограниченном объёме.

В условиях монтажных площадок часто невозможно выполнять оптимальные сварные соединения.

### 6.3.3.3 Очистка трубопроводов

Если трубопроводы не свариваются в одну нитку, а собираются на муфтах и фланцах, то их чистку можно произвести по разделу 6.2.3.

### 6.3.3.4 Протравливание в кольцевой системе

Этот способ протравливания представляет собой метод, который используется только на монтажной площадке. При выполнении монтажа с возможностью протравливания отдельных труб предпочтается их протравливание в ваннах. Протравливание же в кольцевой системе используется только в тех случаях, когда трубопроводная система сварена в одну сплошную нитку.

Это протравливание в принципе производится так же, как и описанная в разделе 8 промывка гидравлических систем.

Но throughout необходимо следить, чтобы не были протравлены компоненты системы и блоки управления - протравливаться должна только сама система трубопроводов.

Агрегаты для протравливания состоят из насосов, обогревательной аппаратуры, ёмкостей и соответствующих шланговых соединений, рассчитанных на протравливающую жидкость.

Скорость прохождения жидкости через трубопроводы не очень высока.

При использовании в качестве протравливающей жидкости кислот их температура также не имеет большого значения. При использовании травильных ванн рекомендуется более высокая температура, около 70 °C.

Если в качестве протравливающих средств применяются кислоты, то после протравливания трубопроводная система должна быть промыта нейтрализующим раствором.

После протравливания, а при наличии нейтрализации - после нейтрализации, в любом случае промыть трубопроводную систему гидравлической жидкостью, совместимой с предусмотренной для последующего использования средой. Промывка гидравлических систем описана в разделе 8.

## 6.4 Заключение

В заключение можно сказать, что оба метода - доизготовление в условиях цеха и изготовление на монтажной площадке - имеют свои преимущества и свои недостатки. Они обладают существенными различиями, которые сказываются и на качестве изготовления.

При доизготовлении почти вся работа может быть сконцентрирована в специально для этих целей организованном цехе, где в оптимальных условиях независимо от работ на монтажной площадке ведётся выполнение элементов трубопроводной сети с использованием машинного оборудования, обеспечивающего хорошие возможности автоматизации выполняемых работ.

Ограничение возможности изготовления блочных участков трубопроводов с максимальной длиной 6 до 7 метров даёт в то же время большие преимущества с точки зрения возможности их чистки, инспекции и испытаний, гарантируя при этом постоянно высокое качество изготовления.

При изготовлении трубопроводной сети на монтажной площадке и производственные средства, и персонал должны находиться на ней или вблизи от неё.

Это даёт возможность быстро реагировать при выполнении возникающих изменений. Положительным фактором в этих условиях являются короткие связи с заказчиком и субподрядчиками.

Как правило в этих случаях в распоряжении имеется меньшее количество оборудования, а выполнение монтажных работ осложняется присутствием других бригад. Часто возникают осложнения по поводу чистоты и качества выполняемых работ.

В связи с этим следует ещё раз указать необходимость по возможности избегать выполнения трубопроводных систем сварными в сплошную нитку.

## 7. Монтаж трубопроводов гидравлических систем

### 7.1 Подготовительные работы

Подготовительные работы могут быть различными в зависимости от состава проекта и способа изготовления трубопроводных систем.

#### 7.1.1 Оборудование на площадке, необходимое для выполнения работ

Для монтажа трубопроводов гидравлических систем требуется:

- ручной инструмент;
- сварочные аппараты для крепления опор;
- шлифовальные машинки;
- ручные подъёмные устройства и приспособления;
- возможности складирования (например, контейнеры).

При изготовлении трубопроводов на монтажной площадке эти вспомогательные средства частично предоставляются заказчиком, при доизготовлении же их в условиях цеха эти средства как правило предоставляются поставщиком узлов трубопроводов. В практике обычно используются вагончики-мастерские (мастерские-контейнеры), оснащённые верстаком, сварочным аппаратом, отрезным станком, гибочным оборудованием и инструментом. Дополняют содержимое таких вагончиков комплектующие элементы трубопроводов. При помощи таких контейнеров может осуществляться и транспортировка доизготовленных узлов трубопроводов.

#### 7.1.2 Прочие подготовительные работы

К подготовительным работам относится также проведение согласований между заказчиком, поставщиками и субподрядчиками.

Для выполнения совместных работ должны быть обсуждены и определены положения об ответственности, технологии выполнения этих работ и правила техники безопасности.

### 7.2 Проведение монтажных работ

Монтаж сети трубопроводов гидравлических систем должен выполняться тщательнейшим образом, его качество должно соответствовать уровню производства.

Необходимо учитывать:

- чистоту при выполнении работ;
- вес системы трубопроводов;

- прямолинейность, краткость и наглядность трассировки;
- разгруженность прокладки трубопроводов;
- мероприятия по возможному расширению системы.

#### 7.2.1 Чистота при выполнении работ

При проведении монтажа во всех случаях необходимо избегать попадания загрязнений в гидравлическую систему. Это значит, что место монтажа должно быть отгорожено от потоков воздуха, способных заносить такие загрязнения. Трубы, узлы трубопроводов и компоненты гидравлических систем должны поставляться на монтаж в надёжно закрытом состоянии.

#### 7.2.2 Вес системы трубопроводов

Вес трубопроводной сети увеличивается с увеличением серии по давлению. Это сказывается и на технологии монтажа, и на конструкции опор. По практическим соображениям крупные трубопроводы прокладываются подземкой или непосредственно над полом с обеспечением достаточного крепления.

#### 7.2.3 Прямолинейность, краткость и наглядность трассировки

Прямолинейность трассировки трубопроводных систем является экономичной, облегчает их обзорность и тем самым их ремонт.

Представляется целесообразным:

- вести трассировку по основным контурам конструкции;
- группировать трубопроводы в пучки;
- избегать сложных разводок;
- иметь возможность отличия разных систем.

#### 7.2.4 Разгруженность прокладки трубопроводов

Трубопроводы должны прокладываться так, чтобы на них не действовали напряжения, вызываемые монтажом. В тех случаях, где ожидаются проблемы, вызываемые действием напряжений за счёт допусков, температурных влияний, опор, должны быть приняты контрмеры, предусматривающие:

- использование шлангов и компенсаторов;
- использование возможностей установки петлевых компенсаторов;
- использование вставок, замеряемых и изготавливаемых по мере продвижения монтажа.

#### 7.2.5 Мероприятия по возможному расширению системы

Проверить, не потребуется ли в дальнейшем расширения предполагаемой системы. Если "да", то соот-

ветствующие меры должны быть учтены уже при разработке конструкции и изготовлении. Они заключаются в том, чтобы была предусмотрена возможность индивидуального дренажа элементов системы за счёт использования запорной арматуры или в том, чтобы в местах предполагаемого расширения были установлены подключения также с запорной арматурой.

## 7.3 Выполнение монтажных работ

Для предотвращения попадания загрязнений монтаж трубопроводов должен производиться в чистом месте, достаточно защищённом от пыли и других загрязнений. По возможности необходимо избегать сквозняков, заносящих микроскопические частицы грязи.

При выполнении монтажа места подключения труб и других компонентов системы должны оставаться закрытыми; колпачки должны сниматься только при действительном подключении. Перед подключением необходимо проверить сами узлы и присоединительные поверхности на наличие пыли. Нельзя полагаться только на промывку системы, которая проводится по окончании монтажных работ.

Мастерская, инструмент и оборудование также постоянно должны находиться в чистом состоянии.

### 7.3.1 Монтаж трубопроводов

После определения трассировки трубопроводов работы на площадке начинаются с установки опорных конструкций и хомутов, определяющих окончательный вариант прокладки.

Необходимо помнить, что большой ущерб гидросистеме может быть причинён действиями вибраций, которые могут создаваться самой гидравлической системой, например, за счёт кавитации, движений поршня, пульсации давления, неправильной выверки, механического движения, способных повредить опорные конструкции или здание. На кораблях - а также и в других случаях - вибрации могут возникнуть от действия на систему внешних факторов.

Выбор правильных мест размещения опор помогает сократить влияние действия вибраций. Солидный грунт или жёсткие опорные конструкции в сочетании с мощными хомутами являются средствами, способными предотвратить причинение ущерба от вибраций. Хомуты с резиновыми прокладками, шланги и компенсаторы снижают передачу и распространение вибраций. В экстремальных случаях могут использоваться опорные конструкции на "рессорах" в виде пружин или резиновых элементов.

При проходах через перекрытия - например, на кораблях - должны использоваться резиновые элементы.

Расстояние между двумя опорами нормировано в DIN 24 346.

При креплении в бетоне могут использоваться механические анкера. Для тяжёлых трубопроводов более предпочтительно использование анкеровки на клее.

Очень важно, чтобы трубопроводы после монтажа не вызывали действия напряжений. Трубопроводы, при монтаже которых возникают напряжения в системе, должны быть правильно выверены или изготовлены заново.

Трубопроводы должны прокладываться с лёгким наклоном в сторону ёмкости.

Температурные удлинения должны учитываться ещё на стадии проектирования предусматриванием установки петлевых или волновых компенсаторов или использованием шлангов. Эти линейные изменения должны быть учтены и при решении вопросов креплений.

Для облегчения монтажа и демонтажа при ремонте соединения и фланцы должны располагаться со смещением и на необходимом расстоянии до расположенной рядом трубы.

При монтаже трубопроводов из нержавеющей стали не должно быть контакта между трубой из нержавеющей и элементами конструкции из ферритной стали. Это достигается за счёт использования соответствующих хомутов. Возможность очень быстрой коррозии отмечается прежде всего при наличии солесодержащих и агрессивных сред.

## 7.4 Монтаж шланговых линий

Шланговые линии часто применяются для:

- предотвращения вибраций;
- обеспечения возможности движения;
- перекрытия недостаточно точно вымеренных расстояний.

Наиболее важны первые два из упомянутых пунктов, обеспечивающие возможность движения шлангов.

Рекомендации по монтажу шланговых линий содержатся в разделе 5.3.1.

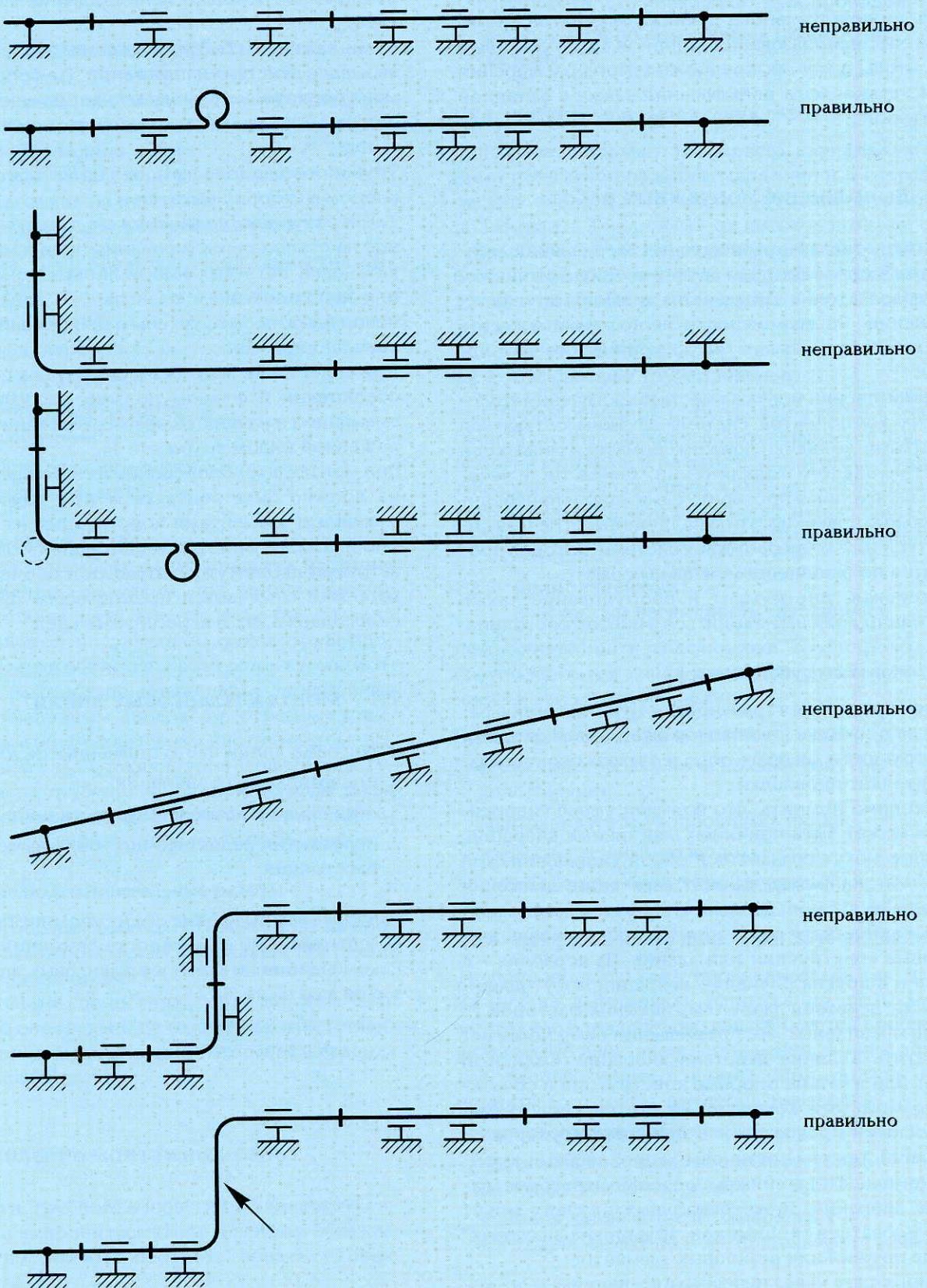


Рис. 225: Примеры правильного и неправильного монтажа трубопроводов гидравлических систем

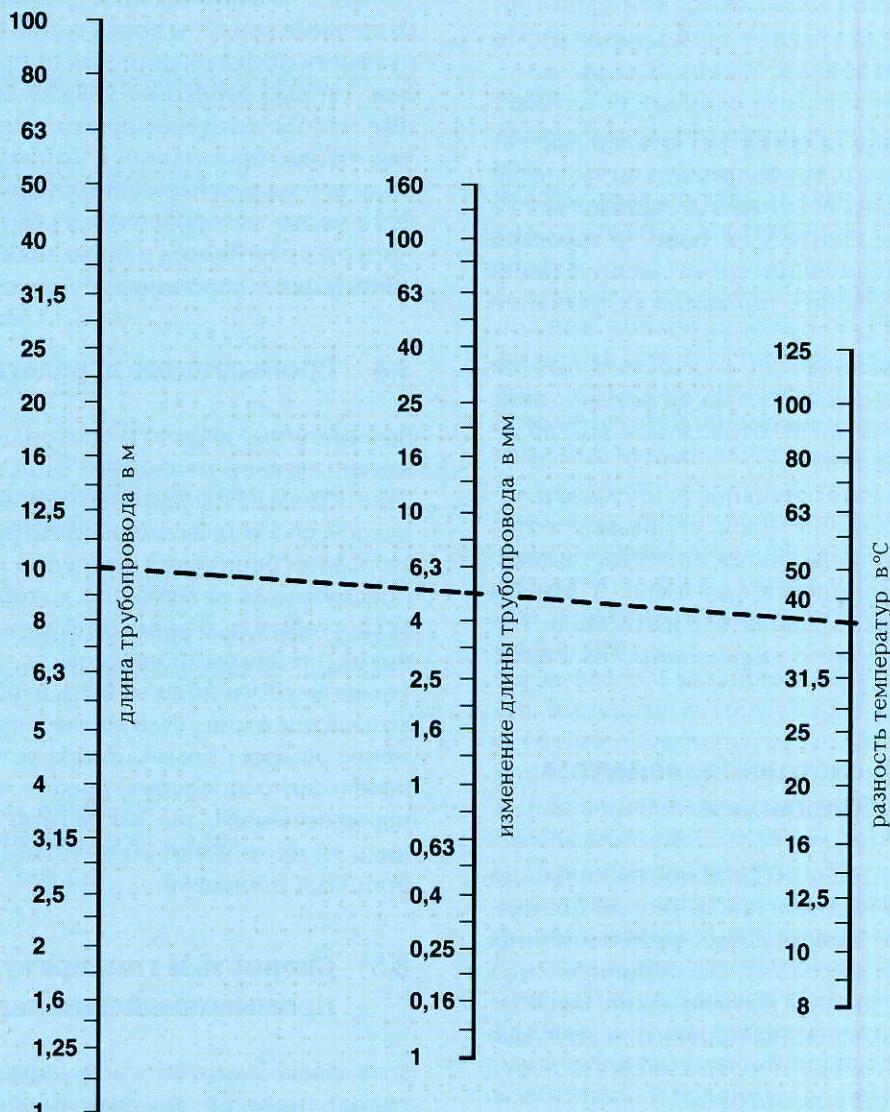


Диаграмма 61: Влияние температурных изменений на длину линии

## 7.5 Заключение

Стадии проектирования, изготовления и монтажа систем трубопроводов тесно связаны друг с другом. Монтаж начинается уже при проектировании, так как монтажные узлы должны учитываться уже на ватмане. Подготовительные работы повышают экономичность реализации проекта.

Производственная надёжность гидравлической системы зависит от исполнения сети трубопроводов. Поэтому важно, чтобы работы по системе трубопроводов выполнялись тщательно и с высоким качеством.

Решающее значение при этом имеют связи между заказчиком и поставщиком.

## 8. Промывка гидравлических систем

### 8.1 Введение

При монтаже крупных, широко разветвлённых гидравлических систем с трубопроводами большой длины в трубопроводы и элементы системы могут попасть загрязнения. Поэтому на таких установках необходимо для увеличения срока эксплуатации элементов системы удалять попавшие загрязнения промывкой.

При промывке гидравлическая жидкость подаётся через систему с высокой скоростью, вынося частицы загрязнений, которые могут отделяться в отдельном контуре фильтрации.

Продолжительность и интенсивность промывки определяются требуемой чистотой установки, которая в свою очередь определяется проектировщиками и проверяется в процессе промывки. В данном случае действуют те же правила, что и в разделе "Использование фильтрации в гидравлических системах".

### 8.2 Поставочное состояние элементов системы трубопроводов

Все узлы, агрегаты и трубы должны поставляться на площадку готовыми под монтаж в чистом состоянии, защищёнными от действующих на ней внешних условий. Особенно касается это присоединительных отверстий, которые должны быть надёжно закрыты. Находящиеся на подключениях пробки или заглушки должны сниматься только непосредственно перед установкой соответствующей трубы.

Поставляемые на монтажную площадку трубы не должны иметь окалины, ржавчины и быть чистыми от проправливающих сред.

### 8.3 Подготовка установки к промывке

Элементы, которые могут быть повреждены промывкой, должны быть заменены соответствующими вставками или байпасироваться по специальным линиям или по шлангам.

Так, например, входящие в состав установки насосы высокого давления должны байпасироваться по соответствующим промывочным линиям, а имеющиеся на установке сервоклапаны должны заменяться промывочными катушками. Во избежание загрязнения должны быть сняты рабочие полотна и насадки фильтров, они должны заменяться специальными промывочными фильтрами.

Для обеспечения заполнения всех элементов трубопроводов промывочной жидкостью необходимо предусмотреть в верхней точке системы воздушник.

Для возможности стока загрязнённой промывочной жидкости необходимо предусматривать в нижних точках и на мёртвых пространствах дренажи.

Отдельные контуры циркуляции на установке должны иметь подключения для промывки. Для этих целей хорошо зарекомендовали себя быстроразъёмные муфты, которые однако должны быть выбраны так, чтобы промывочная жидкость могла бы проходить с малым перепадом давления.

Если малые установки могут быть промыты за один проход, то на более крупных необходимо выполнять этот процесс ступенчато.

### 8.4 Промывочные агрегаты

Промывочные агрегаты состоят из насосов, обогревающих приборов, двойных фильтров, ёмкостей и соответствующих шланговых подключений.

Насосы должны быть оснащены регулируемыми вентилями ограничения давления, устанавливаемыми при промывке на значение, которое будет обеспечивать, чтобы через промываемые части проходил весь поток, подаваемый насосом.

Объём ёмкости должен быть втрое больше, чем расход насоса в минуту, и кроме того он должен быть не менее объёма промываемого устройства.

Необходимо предусматривать двойные фильтры с переключением, так как можно при этом производить их чистку или замену элементов, не прерывая процесса промывки.

### 8.5 Скорость и температура потока промывочной жидкости

Для обеспечения быстрой и эффективной промывки гидравлической системы необходимо поддерживать скорость движения и температуру промывочной жидкости максимально высокими.

Практика показала, что температура при этом должна по возможности быть выше рабочей температуры. Для минеральных масел рекомендуется температура промывки 60 °C, для водно-масляной эмульсии и водного раствора гликоля 50 °C.

Скорость движения потока промывочной жидкости должна быть не менее, чем вдвое выше скорости потока в рабочих условиях и быть во всех точках в диапазоне турбулентного течения, которое будет иметь место в круглых, гладких, прямых обычных для гидродинамики трубах, если

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \geq 2320, \text{ где}$$

$d$  = внутренний диаметр трубы,

$v$  = скорость движения потока жидкости,

$\nu$  = кинематическая вязкость.

Расход в одном трубопроводе составляет

$$\dot{Q} = v \cdot A = v \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

Если подставить это значение в первую формулу, то получится

$$\dot{Q} = \frac{Re \cdot v \cdot d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{Re \cdot v \cdot d \cdot \pi}{4}$$

А если подставить предельное значение турбулентности, то получится

$$\dot{Q} = \frac{2320 \cdot v \cdot d \cdot \pi}{4}$$

При пересчёте на единые размерности и расчёте числовых значений получается

$$\dot{Q} \geq 0,11 \cdot v \cdot d$$

как предельное значение расхода, который должна иметь труба, чтобы обеспечить турбулентность потока.

В этой формуле:

- $\dot{Q}$  = расход в литрах в минуту;
- $d$  = внутренний диаметр трубы, в мм;
- $v$  = вязкость в  $\text{мм}^2/\text{сек}$ .

## 8.6 Промывочная жидкость

Используемая промывочная жидкость должна быть совместимой с предусмотренной для этой установки рабочей жидкостью и с используемыми на установке материалами, особенно материалами уплотнений.

Может использоваться та же жидкость, которая предусматривается для установки как рабочая. Использование промывочной жидкости с меньшей вязкостью и без содержания высокоценных присадок может ускорить процесс промывки и сделать его более благоприятным по затратам.

## 8.7 Выполнение промывки

Промывочное масло также должно подаваться в ёмкость промывочного агрегата через фильтр.

Затем промывочная жидкость подогревается до требуемой температуры, после чего производится включение насоса для подачи этой жидкости на промывку.

Необходимо следить за тем, чтобы из гидравлической системы в достаточной степени был сброшен воздух.

В процессе промывки показывающими приборами должна контролироваться степень загрязнения фильтров для обеспечения своевременной замены или чистки рабочих элементов.

Рекомендуется примерно через один час промывки изменить направление движения потока промывочной жидкости.

Промывка продолжается до тех пор, пока индикаторы загрязнённости фильтров не покажут наличия загрязнённости в течение часа. При этом направление движения потока промывочной жидкости меняется вновь.

После этого с установки берутся пробы промывочной жидкости, которые исследуются на достижение требуемой чистоты. Методики отбора и анализа проб описаны в разделе "Использование фильтрации в гидравлических системах".

Необходимо следить за тем, чтобы были промыты все гидравлические контуры. При необходимости нужно разбить систему на отдельные участки и провести их последовательную промывку.

По окончании промывки необходимо проверить, чтобы из всех "мешков" (мёртвых пространств) были удалены остатки промывочной жидкости.

Само собой разумеется, что по окончании промывки все байпасы и вспомогательные линии, которые были необходимы для выполнения этого процесса, должны быть демонтированы, чтобы гидравлическая система была в полном рабочем состоянии.

Если же гидравлическая система будет находиться до окончательного пуска длительное время в незаполненном состоянии, то промывку нужно проводить консервирующими маслами.

Следует указать, что установки, оснащенные сервоклапанами, должны находиться на промывке до 48 часов для обеспечения требуемой чистоты.

**Для заметок**

# Консервация внутренних поверхностей гидравлических устройств и гидравлических агрегатов

Эрхард Висман

## 1. Общие положения

При длительном хранении гидравлических устройств или агрегатов на них могут выявляться дефекты, затрудняющие последующий пуск этого оборудования. Остающиеся на внутренних поверхностях оборудования масла склонны по истечении определённого промежутка времени к загустению, что может вызвать, например, осложнения при движении поршня или недостаточно быстрого образования смазочной пленки на вращающихся деталях.

Появление таких дефектов может быть задержано, если предусмотренные для хранения узлы будут опрессованы или заполнены консервирующим маслом, предотвращающим на более длительное время появление коррозии и загустение.

Меры, принимаемые для обеспечения работоспособности оборудования в зависимости от условий и сроков хранения, приведены в таблице 64.

Для условий длительного хранения или экспортных поставок в большинстве случаев необходимо использование морской упаковки. Консервация внутренних поверхностей и условия упаковки дополняют друг друга и поэтому должны быть согласованы друг с другом как единый комплекс выполняемых мероприятий.

Время хранения не должно превышать 24 месяцев, так как по истечении этого срока уже могут появиться дефекты на уплотнительных элементах гидравлических устройств.

Описанные ниже меры защиты применяются для гидравлических устройств и агрегатов, работающих на указанных гидравлических жидкостях:

Минеральное масло	HL, HLP	по DIN 51 524 часть 1 и 2
Эмульсия "масло в воде"	HFAE	по DIN 24 320
Эмульсия "вода в масле"	HFB	по VDMA 24 317
Водные растворы полимеров	HFC	по VDMA 24 317
Эфир фосфорной кислоты	HFD-R	по VDMA 24 317

## 2. Способы консервации

Для работы на минеральном масле консервация внутренних поверхностей производится при помощи или минерального масла, используемого как гидравлическая жидкость (консервант А), или при помощи анткоррозионного масла (консервант В).

Для работы на трудновоспламеняющихся, водосодержащих жидкостях групп HFAE, HFB или HFC консервация внутренних поверхностей может выполняться или при помощи консерванта А (минеральное масло), или при помощи консерванта В (антокоррозионное масло) в том случае, если перед пуском оборудования из него будет вымыт этот консервант. Допускается содержание консерванта в гидравлической жидкости в концентрации не более 0,1%.

Для работы на трудновоспламеняющихся, обесвоженных жидкостях группы фосфорной кислоты HFD-R консервация производится при помощи консерванта С. При этом необходимо следить, чтобы при пуске и эксплуатации использовалась одна и та же гидравлическая жидкость. Если при пуске будет использоваться другой продукт, чем при консервации внутренних поверхностей, то его необходимо удалить из устройств и агрегатов промывкой. Содержание консерванта в гидравлической жидкости не должно превышать концентрации макс. 0,2%.

### Примечание:

Если уплотнения устройств или агрегатов, или элементов оборудования (например, баллоны гидроаккумуляторов) выполнены из резины на основе этилен-пропилен-диенового каучука (EPDM), то необходимо предотвратить попадание остатков минерального масла в гидравлическую жидкость, так как наличие минерального масла ведёт к порче эластомеров на основе EPDM.

Элементы, имевшие контакт с минеральным маслом, перед их монтажом должны промываться гидравлической жидкостью.

### 3. Описание консервантов А, В и С

Указываемые в данном случае консерванты представляют собой продукты, используемые - например, фирмой "Маннесманн Рексрот" - для консервации внутренних поверхностей.

#### 3.1 Консервант А

##### Минеральное масло HLP 68 DIN 51524, часть 1 и 2

Плотность: около 0,89 кг/дм<sup>3</sup>

Вязкость при 50 °C: около 40 мм<sup>2</sup>/сек.

#### 3.2 Консервант В

##### Антикоррозионное масло

Созданное на основе минеральных масел отличается прекрасными противостареющими и антикоррозионными качествами.

Плотность: около 0,89 кг/дм<sup>3</sup>

Вязкость при 50 °C: около 44 мм<sup>2</sup>/сек.

Антикоррозионное масло, используемое для испытаний и заполнения компонентов гидравлических систем, должно сбрасываться перед пуском из системы, пред назначенной для работы на минеральном масле.

#### 3.3 Консервант С

##### Эфир фосфорной кислоты HFD 46-R по VDMA 24317.

Плотность: около 1,125 кг/дм<sup>3</sup>

Вязкость при 50 °C: около 32 мм<sup>2</sup>/сек.

### 4. Выполнение консервации внутренних поверхностей

Консервация внутренних поверхностей гидравлических устройств или агрегатов производится на основании данных таблицы 64 путём испытания или заполнения.

"Испытание" обозначает кратковременный пуск ёмкости или агрегата, заполненного консервантом, с последующим опорожнением. Все места подключения трубопроводов должны быть после этого закрыты пробками.

Если же на основании таблицы 64 консервация должна проводиться заполнением, то сначала необходимо испытать оборудование соответствующим консервантом, который остаётся в устройствах и узлах системы. Подключения трубопроводов закрываются резьбовыми пробками или фланцами. При этом ёмкости не должны оставаться заполненными. В таких случаях достаточно заполнения устройств типа насосов, органов управления и фильтров.

Ёмкости, предназначенные для гидравлических жидкостей HL или HLP, защищаются от коррозии прошиванием внутренних поверхностей покрытием на основе полиуретана с добавлением цинковой пыли.

Ёмкости для жидкостей HFAE, HFB, HFC или HFD-R изготавливаются в основном из нержавеющей стали. Ёмкости же из углеродистой стали имеют внутреннее покрытие, стойкое к воздействию гидравлической жидкости. (Справки по стойким покрытиям дают заводы-изготовители гидравлических жидкостей.)

В исключительных случаях внутренние поверхности ёмкостей могут оставаться для кратковременного пуска незащищёнными, после чего на них наносится разбрзгиванием слой антикоррозионного масла (консервант В), который необходимо перед пуском этих ёмкостей удалить при помощи растворителя (например, растворителя, не требующего подогрева).

#### Примечание

Перед пуском провести визуальный контроль внутренних поверхностей ёмкости. Удалить возможно имеющиеся загрязнения или образовавшийся конденсат.

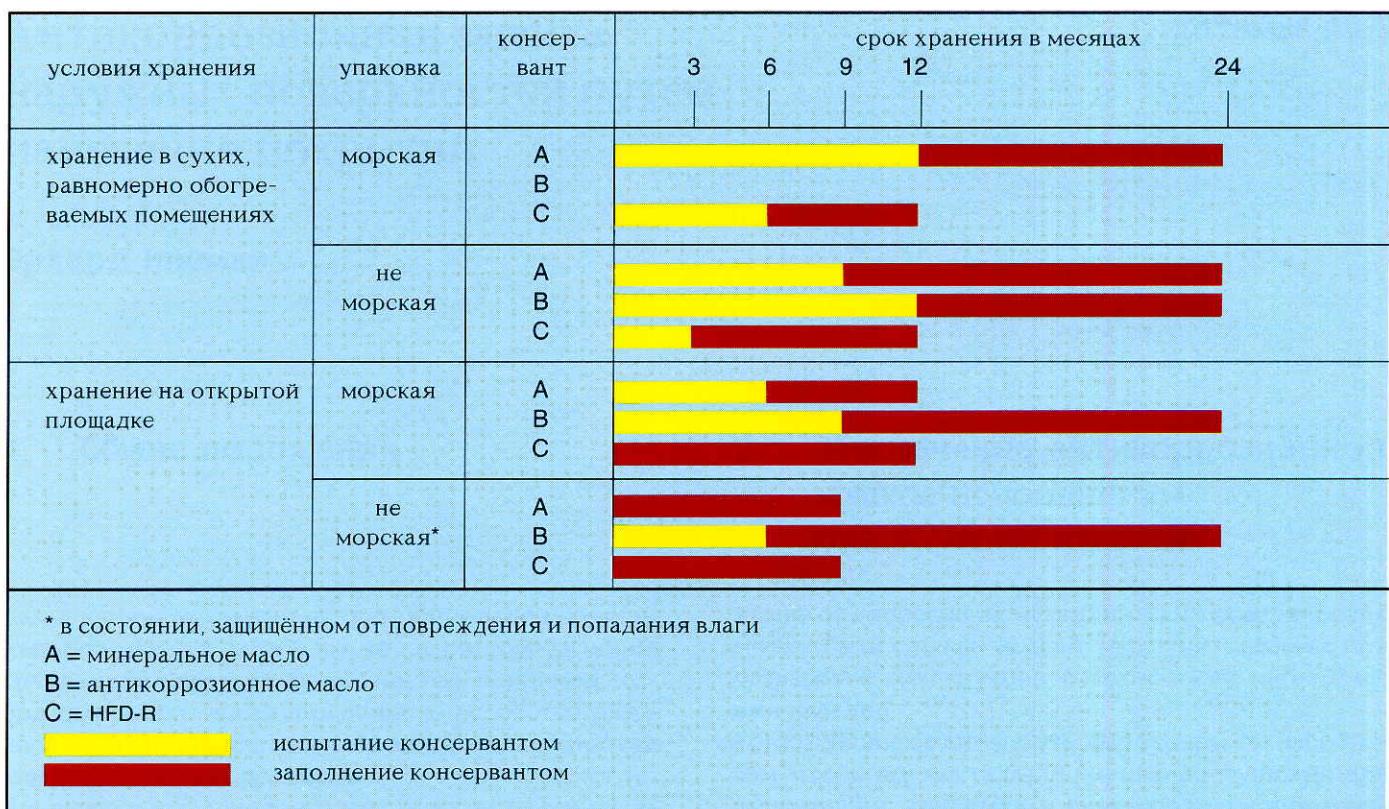


Таблица 64

При сроках транспортировки и хранения, превышающих указанные в таблице 64, необходимо согласовать соответствующие меры защиты с заводом-изготовителем оборудования.

## 5. Выполнение консервации наружных поверхностей

Консервация наружных поверхностей (антикоррозионная защита) выполняется нанесением специальных покрытий.

Описание этого процесса см. раздел "Антикоррозионная защита наружных поверхностей нанесением покрытий".

При сроках хранения до 6 месяцев в сухих, равномерно обогреваемых помещениях достаточно в качестве антикоррозионной защиты нанесения слоя грунтовки на основе эпоксидных смол.

При сроках хранения более 6 месяцев должно быть нанесено соответствующее окончательное покрытие. Выбор системы защитных покрытий определяется набором агрессивных сред, действующих на защищаемые поверхности, (так называемые одно- и двухкомпонентные системы).

Обработанные наружные поверхности должны быть защищены напылением воскообразного консерванта.

**Примечание по условиям хранения упакованных гидравлических устройств и агрегатов:**

После контрольного вскрытия упаковки она должна быть тщательно закрыта. После контрольного вскрытия морской упаковки необходимо заложить в неё новый осушитель.

**Для заметок**

# Антикоррозионная защита наружных поверхностей путём нанесения покрытий

Эрхард Висман

## 1. Общие положения

Назначением покрытий является приданье определённого цвета и защита от коррозии, обеспечение специальных свойств поверхностей, например, хорошая отражательная способность и удобство уборки, а также приданье химической стойкости против действия внешних факторов.

Универсальных покрытий нет. Используемый материал, соответствующий требованиям, выбирается в зависимости от покрываемой поверхности и окружающего влияния.

Материалы покрытий представляют собой вещества и смеси - от жидких до пастообразных, физически и/или химически сухие - наносимые на поверхности прокрашиванием, шприцеванием или какими-нибудь другими способами.

Важной составной частью материалов покрытий является связующее вещество, соединяющее частицы находящегося в материале пигmenta (цветного порошка) друг с другом и с покрываемой поверхностью.

Пигменты определяют окраску материалов покрытий. Цветовая гамма определяется колориметрической картой RAL, основу которой положен колориметрический регистр RAL 840 HR.

При нанесении покрытий необходимо следить, чтобы вся конструкция имела равномерную высококачественную антикоррозионную защиту. В конструкциях с различной степенью коррозионной опасности особо опасные места должны иметь специальную антикоррозионную защиту, например, пламенное оцинкование или использование нержавеющих материалов.

## 2. Обеспечение антикоррозионной защиты исполнением конструкции изделий

Ущерб от коррозии на металлических поверхностях может быть снижен за счёт мер,ываемых при разработке конструкции и технологии изготовления изделий.

Конструкции должны быть выполнены таким образом, чтобы все места были хорошо доступными для выполнения, контроля и ремонта антикоррозионной защиты. Если это по каким-то причинам невозможно, то зачистка и нанесение покрытий на недоступные после монтажа места должны производиться перед сборкой изделия.

Необходимо избегать наличия в конструкциях узких щелей, полостей и несквозных отверстий, в которых может собираться грязь и влага.

Полости и обратная сторона листового материала, где может образовываться конденсат, должны иметь достаточную вентиляцию.

При установке агрегатов на открытой площадке следует избегать из-за повышенной коррозионной опасности наличия в конструкциях прерывистых сварных швов и открытых в верхней части профилей.

Следует избегать также наличия острых кромок и наливов, так как жидкие покрывающие материалы оттягиваются под действием сил поверхностного напряжения назад с острых углов и кромок.

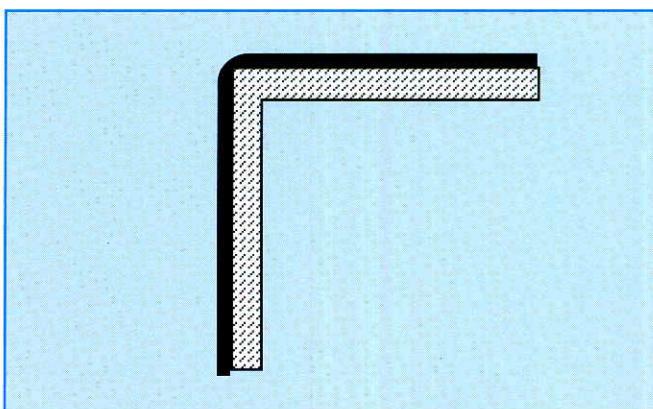


Рис. 226

### 3. Подготовка основания для нанесения покрытий

Эффективность и продолжительность действия антикоррозионной защиты на металлических поверхностях в значительной степени зависят от правильной подготовки защищаемых поверхностей.

#### 3.1 Подготовка основания стальных элементов

Подготовка основания стальных элементов осуществляется пескоструемием с достижением степени чистоты поверхности по нормам SA 2 1/2. Нормированные степени чистоты поверхности определены в DIN 55928, часть 4.

Нормированная степень чистоты поверхности SA 2 1/2 требует, чтобы было выдержано следующее условие: окалина, ржавчина и покрытия считаются удалёнными, когда их остатки на стальной поверхности видны только как лёгкий оттенок в порках.

#### 3.2 Подготовка основания на гидравлических агрегатах перед нанесением второго слоя грунтовки

Тщательно и полностью очистить поверхности от загрязнений, пыли, жира и всех нежелательных для последующего покрытия веществ. Очистку производить специальными детергентами, при обращении с которыми необходимо соблюдать существующие правила и распоряжения по технике безопасности.

### 4. Выбор материалов покрытий в зависимости от агрессивности действующих сред и внешних условий

Материалы покрытий изготавливаются в виде одно-(1-К) и двухкомпонентных (2-К) систем, выбор которых определяется действием агрессивных сред на защищаемые поверхности.

Необходимо помнить, что, например, для условий действия морской или солоноватой воды должна выбираться другая структура покрытия, чем для сухого или тёплого и влажного климата.

действующая среда и окружающие условия	структуре покрытия 1-К-система окончат. покрыт.: из алкидных смол (AK)	структуре покрытия 2-К-система окончат. покрыт.: из полиуретана (PUR)
сухой и умеренный климат (DIN50019)	●	
тёплый и влажный климат (DIN50019)	●	
морской климат (DIN50019)	●	
пресная вода	●	
морская или солонов. вода		●
минеральное масло(DIN 51524)	●	
эмulsionия "масло в воде" HFA(DIN24320)		●
эмulsionия "вода в масле" HFB(VDMA24317)		●
водные растворы полимеров HFC(VDMA24317)		●
эфир фосфорной кислоты HFD-R(VDMA24317)		●
● значительно устойчиво		

Таблица 65

## 5. Структура материалов покрытия в 1-компонентной системе (1-К)

Для получения требуемых свойств покрытий необходимо использовать многослойные структуры, состоящие из грунтовки и окончательного покрытия.

Следует помнить, что структуры покрытий (сначала - грунтовка, а потом - окончательный слой) построены в необратимом порядке.

На отделанные окончательным слоем детали нельзя наносить какие-либо другие грунтовочные слои.

является нечувствительным к ударным нагрузкам. По нему возможно выполнение сварочных работ, после чего места сварных швов должны быть тщательно защищены и покрыты новым слоем. Нанесение грунтовки и окончательного слоя может производиться не сразу же после выполнения сварочных работ.

### 5.1.2 Грунтовка на основе эпоксидных смол

Грунтовка на основе эпоксидных смол состоит из связующего (1-К-эфир эпоксидных смол) с добавлением 54% твёрдых частиц.

Преимуществами этого покрытия являются:

- оптимальная коррозионная стойкость;
- хорошая устойчивость к действию химикатов, воды и растворителей;
- очень высокая эластичность при повышенных температурах;
- высокая адгезионная способность.

### 5.1.3 Покрытие на основе алкидных смол (окончательный слой)

Это покрытие состоит из связующего на основе алкидной смолы с добавлением 56% твёрдых частиц и отличается высокими качествами поверхности (твёрдостью, глянцем, прочностью).

#### Примечание:

Часто используемое обозначение "лак на основе искусственных смол" не даёт однозначного определения качества материалов покрытий, поскольку имеются лаки на основе искусственных смол самого различного состава и самых различных свойств.

Окончательн. покрытие гидравлич. агрегата	Покрытие из алкидных смол (любой цвет по RAL)
2-ой слой грунтовки на гидравлическом агрегате	Грунтовка на основе эпоксидных смол RAL 7031 или RAL 6011
1-ый слой грунтовки на гидравлическом агрегате	Грунтовка на основе эпоксидных смол RAL 7031
1-ый слой грунтовки на стальных элементах	На основе цинковой пыли RAL 7000
Металлическая основа	Сталь с нормированной степенью чистоты SA 2 1/2

Таблица 66: Структура покрытий

### 5.1 Материалы покрытий

#### 5.1.1 Покрытие на основе цинковой пыли

Это покрытие состоит из высокооценной 1-К-полиуретановой основы с добавлением примерно 84% цинка в виде твёрдых частиц и наносится на обработанные пескоструением поверхности распылением (необходимая чистота поверхности для нанесения покрытий на основе цинковой пыли 50 мкм). При повреждениях, царапинах и порах это покрытие обладает значительно более длительным защитным действием на небольших ограниченных отдельных участках металлических поверхностей. Идёт электролитический процесс, и образующийся при этом объёмный продукт коррозии цинка охватывает эти места. Таким образом, защитное действие меньше основано на электролитическом эффекте, который действует только сначала, а на том, что образующиеся при катодной защите покровные слой (продукты коррозии) задерживают процесс растворения цинка, повышая тем самым стойкость покрытия.

Это покрытие обладает хорошей адгезионной способностью, высокой устойчивостью к истиранию и

## 5.2 Спецификация материалов покрытий в системе 1-К

описание покрытий		1-ый слой грунтовки стальные детали	2-ой слой грунтовки комплектный агрегат с обвязкой	окончательный слой комплектный агрегат (любой цвет по RAL)
обозначение материала		покрытие на основе цинковой пыли RAL 7000	грунтовка на основе эпоксидных смол RAL 7031 или RAL 6011	Покрытие из алкидных смол по RAL 6011
химическая характеристика		полиуретан 1-К цинковая пыль	эфир эпоксидных смол (не содержащий хромата цинка, свинца и асбеста)	на основе алкидных смол (не содержащий свинца)
вид сушки		химический, под действием влаги воздуха	на воздухе	на воздухе
лак	% твёрдых частиц, удельный вес в кг/дм <sup>3</sup>	84 2,8	54 1,2	56 1,2
	темпер. воспламен. в °C класс опасности <sup>1)</sup> необходим. маркировки <sup>1)</sup>	30 All	25 All 	24 All
вязкость при поставке в мм <sup>2</sup> /сек. рабочая вязкость в мм <sup>2</sup> /сек.		от 60 до 70 от 17 до 18	100 25	130 40
подача разбавителя в % жизнеспособность в часах при 20 °C		10 от 6 до 8	15 —	15 —
разбавление, температура воспламенения в °C класс опасности <sup>1)</sup> необходимость маркировки <sup>1)</sup>		43 All	специальн. разбавитель 24 All 	специальн. разбавитель 24 All 
нанесение		прокрашивание, напыление	прокрашив., напыление	прокрашив., напыление
технология нанесения		пульверизатор, под давлен. продукта, Airless	пульверизатор, под давл. продукта, электростатич. Airless, Esta	пульверизатор, под давл. продукта, Airless
теоретический расход в г/м <sup>2</sup> при толщине слоя 30 мкн, толщина слоя одного прохода в мкн, максимальная толщина слоя в мкн, укрывистость в м <sup>2</sup> /кг при 30%-ной прибавке на потери (при толщине слоя 40 мкн)		от 200 до 250 40 70 3	120 30 60 4	120 30 60 4
высыхание от пыли при 20 °C в часах транспортн. сушка при 20 °C в часах перелакировка 20 °C в часах		0,25 8	0,5 1 8	4 16 6
складируемость (в месяцах) в бочках оригин. упаковки при 5 до 40 °C		6	6	6
температурная стойкость слоя покрытия в °C		-40 до 150	-40 до 150	-40 до 150
качество поверхности основания		пескоструйное до класса SA 2,5 или удаление ржавчины, пыли, жиров; чистота поверхн. = 50 мкн	свободная от ржавчины, пыли и жира	свободная от ржавчины, пыли и жира

Таблица 67: Структура покрытий в системе 1-К

<sup>1)</sup> Описание классов опасности и необходимость маркировки см. раздел 11

## 6. Структура материалов покрытия в 2-компонентной системе (2-К)

Преимущество покрытий 2-К заключаются в их исключительной вязкости, стойкости и износу, адгезионной способности и стойкости к химическим воздействиям. Получение таких свойств обеспечивается многослойной структурой, состоящей из грунтовки и окончательного слоя.

Необходимо помнить о порядке нанесения слоёв (сначала - грунтовка, затем - окончательный слой). На детали, покрытые окончательным слоем, грунтовка не наносится.

Окончательн. покрытие гидравлич. агрегата	Полиуретановое покрытие 2-К (любой цвет по RAL)
2-ой слой грунтовки на гидравлическом агрегате	Грунтовка на основе эпоксидных смол RAL 7032
1-ый слой грунтовки на гидравлическом агрегате	Грунтовка на основе эпоксидных смол RAL 7031
1-ый слой грунтовки на стальных элементах	На основе цинковой пыли RAL 7000
Металлическая основа	Сталь с нормированной степенью чистоты SA 2 1/2

Таблица 68: Структура покрытий

### 6.1 Материалы покрытий

#### 6.1.1 Покрытие 2-К на основе эпоксидных смол

Грунтовочное покрытие 2-К на основе эпоксидных смол содержит 67% твёрдых частиц.

Преимущества этого грунтовочного покрытия:

- универсальность использования практически на всех металлических основаниях (включая детали с пламенным оцинкованием);
- хорошая заполняемость;
- высоковязкая эластичность, стойкость к образованию царапин, очень высокая стойкость к набуханию;
- стойкость к растворителям;
- особо высокая стойкость к химическим нагрузкам.

#### 6.1.2 Полиуретановое покрытие

Полиуретановое покрытие представляет собой отверждающееся покрытие на полиуретановой основе с 67% твёрдых частиц.

Процесс сушки этой системы состоит из испарения растворителя и химической реакции.

При условии хорошего смешения полиуретановое покрытие отличается:

- стойкостью к действию химикатов, воды и растворителей;
- трудновоспламеняемостью;
- исключительной твёрдостью, стойкостью к истиранию, заполняемостью и глянцем;
- стойкостью к трудновоспламеняемым гидравлическим жидкостям.

#### Примечание:

Поверхности с окончательными покрытиями 2-К могут быть в течение 14 дней перелакированы материалами окончательных покрытий системы 2-К.

По истечении этого времени для этого требуется наличие матовой поверхности (обработка мелкой шкуркой).

Название "лак DD" дано по названиям отдельных компонентов "десмодур" и "десмофен", товарным знакам фирмы "Байер АГ", Леверкузен. По окончании реакции между отдельными компонентами образуется полиуретановая пленка.

## 6.2 Спецификация материалов покрытий в системе 2-К

описание покрытий		1-ый слой грунтовки стальные детали	2-ой слой грунтовки комплектный агрегат с обвязкой	окончательный слой комплектный агрегат (любой цвет по RAL)	
обозначение материала		покрытие на основе цинковой пыли RAL 7000		грунтовка 2-К на основе эпокс. смол RAL 7032	
химическая характеристика		полиуретан 1-К цинковая пыль		эпоксидная смола 2-К с полиамидным отвердит. (не содержащая хромата цинка, свинца и асбеста)	
вид сушки		химический, под действием влаги воздуха		химическая реакция	
лак	% твёрдых частиц, удельный вес в кг/дм <sup>3</sup>	84 2,8	краситель 60 1,67	отвердит. 7 0,97	покровн. лак 67 1,3
	темпер. воспламен. в °C класс опасности <sup>1)</sup> необходим. маркировки <sup>1)</sup>	30 All	25 All	25 All	67 1,1
вязкость при поставке в мм <sup>2</sup> /сек. рабочая вязкость в мм <sup>2</sup> /сек.		от 60 до 70 от 17 до 18	от 100 до 110 25		от 40 до 80 от 20 до 25
подача разбавителя в % жизнеспособность в часах при 20 °C		10 от 6 до 8	от 5 до 10 12		са. 10 8
соотношение "лак/отвердитель"		87,5 : 12,5		100 : 40	
разбавление, температура воспламенения в °C класс опасности <sup>1)</sup> необходимость маркировки <sup>1)</sup>		43 All	специальный разбавит. 25 All	Xn	специальн. разбавитель 24 All
нанесение		прокрашивание, напыление		прокрашивание, напыл. пульверизатор, под давлен. продукта, электростатич. Airless, Esta	
теоретический расход в г/м <sup>2</sup> при толщине слоя 30 мкн, толщина слоя одного прохода в мкн, максимальная толщина слоя в мкн, укрывистость в м <sup>2</sup> /кг при 30%-ной прибавке на потери (при толщине слоя 40 мкн)		от 200 до 250 40 70 3	120 40 80 4	150 от 35 до 40 50 4	
высыхание от пыли при 20 °C в часах транспортн. сушка при 20 °C в часах перелакировка 20 °C в часах		0,25 8	10 2 16	20 от 6 до 8 6	
складируемость (в месяцах) в бочках оригин. упаковки при 5 до 40 °C		6	6	6	
температурная стойкость слоя покрытия в °C		-40 до 150	-40 до 150	-40 до 150	
качество поверхности основания		пескоструйение до класса SA 2,5 или удаление ржав- чины, пыли, жиров; чистота поверхн. = 50 мкн		свободная от ржавчины, пыли и жиров	
свободная от ржавчины, пыли и жиров					

Таблица 69: Структура покрытий в системе 2-К

<sup>1)</sup> Описание классов опасности и необходимость маркировки см. раздел 11

## 7. Использование материалов покрытий

При использовании материалов покрытий необходимо учитывать инструкции заводов-изготовителей.

Поверхности стальных элементов, недоступные после сварки или монтажа, должны покрываться цинковой пылью предварительно (см. раздел 5.1.1).

При нанесении покрытий необходимо выдерживать минимальные толщины слоёв, указанные в таблицах 68 и 69. Общая толщина покрытия не должна превышать 120 микрон, так как при более высоких значениях могут возникать поверхностные напряжения, снижающие антикоррозионную защиту.

Не покрываются следующие детали:

- таблички  
(например, заводские или указательные),
- выполненные из пластмасс,
- смотровые и мерные стёкла,  
указатели уровня масла,
- штоки и шланги.

При использовании материалов покрытий необходимо учитывать специальные нормы и правила.

в полостях возможно за счёт применения специальных сопел или удлинений.

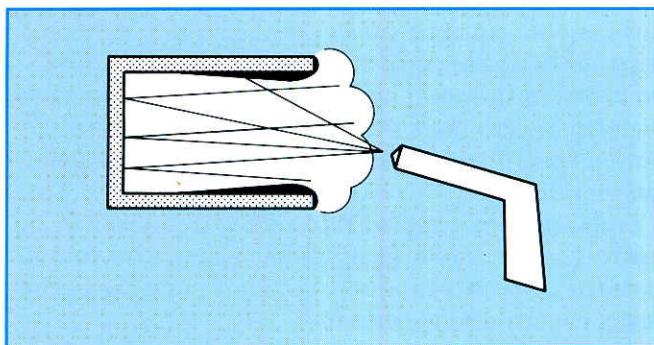


Рис. 227: При использовании пульверизации в полостях возникает обратный подпор, который при экстремальных условиях вообще исключает возможность нанесения покрытия.

## 8.2 Нанесение покрытий материалами, находящимися под давлением

Использование этого способа даёт возможность избежать некоторых специфических трудностей, возникающих при пульверизации. В этом случае наносимый продукт сам находится под давлением и не требует подачи сжатого воздуха в качестве носителя. Основными его преимуществами являются высокая производительность (возможность использования для покрытия больших поверхностей) и почти полное отсутствие обратного подпора при нанесении покрытий на внутренние полости и галтели. Но как правило материал не распыляется настолько тонко, как при нанесении покрытий при помощи пульверизации, имеющей в большинстве случаев лучшие возможности регулирования.

### 8.2.1 Горячее напыление

Преимущества этого способа заключаются в возможности нанесения высоковязких лаков, содержащих небольшое количество растворителя.

Наносимый материал разогревается в питающей ёмкости или в теплообменнике до температуры от 55 до 70 °C.

Повышение температуры материала необходимо для снижения его вязкости.

Преимущества этого способа:

- экономичность режима за счёт экономии разбавителя (при холодном напылении требуется от 5 до 15% весовых разбавителя),
- ускоренная сушка,
- возможность выполнения более толстых слоёв,
- экологическая чистота.

## 8. Способы нанесения покрытий

Нанесение материалов покрытий напылением даёт при правильном исполнении прекрасное качество поверхности. Но под напылением понимают целый ряд способов, имеющих свою специфику.

### 8.1 Напыление при помощи сжатого воздуха

Этот способ даёт прекрасные результаты на больших и ровных поверхностях.

На деталях с малой удельной поверхностью этот способ в силу больших потерь материалов используется меньше. (При нанесении покрытий на подвешенные мелкие детали расход материалов как правило очень высок.)

Возникают трудности при использовании этого способа и при нанесении покрытий на галтели и полости (рисунок 227). При этом большое количество воздуха в струе создаёт обратный подпор, осложняющий нанесение покрытия или препятствующий ему. Использование этого способа при нанесении покрытий

### 8.3 Электростатический способ напыления

Частички лака движутся к заготовке под действием электрического поля, образующегося между распылителем и обрабатываемой поверхностью, благодаря чему может быть снижен расход материала. По своей сути электростатический способ в первую очередь может быть использован для деталей с хорошей электропроводимостью, т.е. для металлических деталей.

В отношении расхода материалов этот способ отличается наивысшим КПД, особенно на деталях с большими проёмами (например, на гидравлических агрегатах с частичной обвязкой).

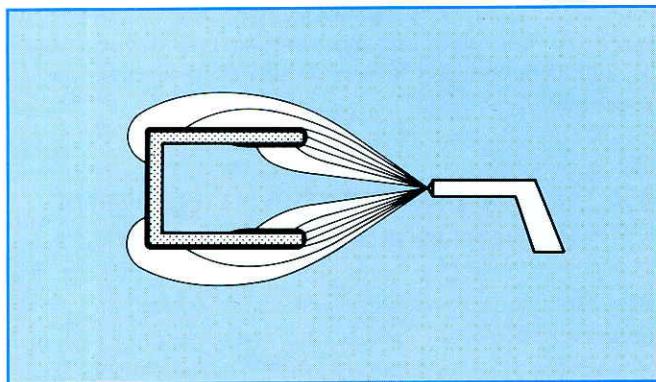


Рис. 228: Электростатическое напыление обеспечивает, с одной стороны, хороший охват деталей и тем самым возможность нанесения покрытий на поверхности, не обращённые к распылителю. Но с другой стороны, возникают сложности с нанесением покрытий в полостях (например, в клетках Фарадея), в которые не входят силовые линии.

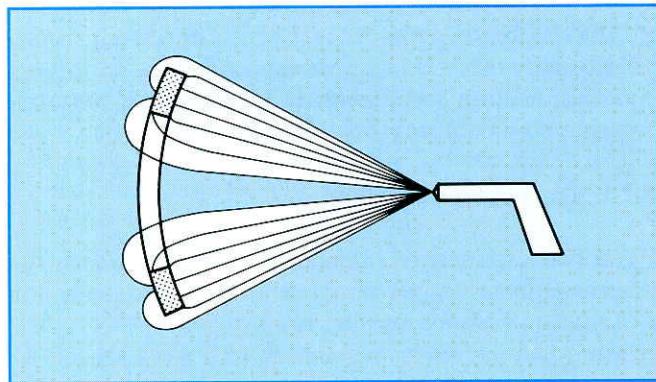


Рис. 229: Электростатическое напыление обеспечивает максимальное использование материалов.

### 9. Структура покрытий для гидравлических устройств и агрегатов, используемых в гидротехнике

Антикоррозионная защита гидравлических устройств и агрегатов, используемых в гидротехнике, предписывается как правило заказчиком или эксплуатационниками установки по DIN 55928, часть 5.

В DIN 55928, часть 5, таблица 6 определены распространённые и хорошо себя зарекомендовавшие системы защиты в виде индексов и указаны различные нагрузки от атмосферных, химических и механических воздействий.

По DIN 55928, часть 5 рекомендуются покрытия с толстыми слоями, выполнение которых возможно за счёт выбора вязкости наносимых материалов.

В зависимости от агрессивности антикоррозионная защита определяется заказчиком в виде индекса.

**"a"** При лёгкой агрессивности - например, при установке оборудования в закрытых помещениях - используются индексы с 6.11.1 по 6.11.5.

**"b"** При средней агрессивности - например, при установке оборудования на открытой площадке - используются индексы с 6.30.1 по 6.30.3.

**"c"** При сильной агрессивности - например, при наружном расположении цилиндра - используется индекс 6.31.1.

Пример обозначения антикоррозионной защитной системы по DIN 55928, часть 5, таблица 6, индекс 6.30.2:

"Антикоррозионная защита по DIN 55928 - T05 - 6.30.2".

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
вид покрытия																									
ин-декс	связующее	грунтовка 1) GB	окончательное покрытие 1) DB	общая толщина слоёв в мкн	общая толщина слоёв в мкн	подготовка основания по DIN 55926 часть 4)	принятые связующие для окончательного покрытия, индекс	стальные элементы на открытой площадке [DIN 55928, часть 1]	атмосферные испытания в сельской местности, городской																
6-10.1	масло, комбинация масел	1 40	1 40	1 2	40 80	80 120	Sa 2 1/2	—	x 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x —	—	—	—	—	—	
6-10.2	алкидная смола,	2 80	2 3	2 1	80 40	160 200	F <sup>(4)</sup>	—	x •	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x •	—	—	—	—	—	
6-10.4	алкин. аликин. смол,	1 40	1 40	2 80	80 200	80 120	—	—	x 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x —	—	0	—	—	—	
6-11.1	комбин. эпоксидной смолы	1 40	2 80	2 30	80 120	11 24	—	x 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x —	—	x —	—	—	—	—	
6-11.3	эфир эпоксидной смолы	2 80	2 30	2 30	80 120	200 300	—	x •	x x																
6-11.4	смолы	2 <sup>(5)</sup> 2 <sup>(6)</sup>	2 <sup>(5)</sup> 160	1 80	80 240	240 —	—	x •	x x																
6-11.5	комбинация битумов и масел	1 40	3 210	210 250	250 —	—	F <sup>(6)</sup> ; Sa 2 <sup>(6)</sup>	—	x •	x x	x 0	0	0	0	0	—									
6-12.1	хлоркаучук, виниллорид,	2 70	2 70	70 140	140 240	240 320	Sa 2 1/2	24 52	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-20.1	хлоркаучук, виниллорид, сopolимеризат	1 80	1 80	80 160	80 160	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	53	x •	x x	толстолистовая система														
6-20.2	хлоркаучуков, комбинации	2 70	2 70	70 140	140 240	70 140	Sa 2 1/2	11	x 0	толстолистовая система															
6-21.1	хлоркаучуков, виниллорида, сополимеризата	1 90	1 90	80 160	80 160	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	24	x 0	толстолистовая система															
6-21.2	стойкая к истирану, эпоксидная смола	2 <sup>(5)</sup> 160	1 100	80 200	80 200	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-21.3	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 100	2 80	80 160	80 240	100 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-30.1	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 80	2 80	80 160	80 240	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-30.2	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 80	3 80	80 160	80 240	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-30.3	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 80	1 80	80 160	80 240	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-30.4	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 80	1 80	80 160	80 240	80 240	Sa 2 1/2; F <sup>(7)</sup>	30	x •	x x	x 0	толстолистовая система													
6-30.5	стойкая к истирану, эпоксидная смола, полиуретан	2 <sup>(5)</sup> 600	1 4000	600 4000	600 4000	600 4000	Sa 2 1/2	30	x •	x x	толстолистовая система														
6-31.1	дёготь-пек-эпокс. смола, пек-эпокс. смола, смола, эпокс. смола, полиуретан	1 360	3 360	360 360	360 360	360 360	Sa 2 1/2	30	x •	x x	толстолистовая система														
6-31.2	дёготь-пек-эпокс. смола, дёготь-пек-полиуретан	1 240	2 240	240 240	240 240	240 240	Sa 2 1/2	30	x •	x x	толстолистовая система														
6-40.1	битумно-полиуретан	1 40	3 40	40 30	40 30	40 30	F <sup>(8)</sup> Sa 2 <sup>(8)</sup>	11 24	x •	x x	толстолистовая система														
6-41.1	каучуко-полиуретан	1 30	3 50	30 50	30 50	30 50	F <sup>(8)</sup> Sa 2 <sup>(8)</sup>	11 24	x •	x x	толстолистовая система														
6-50.1	силиксановая смола	1 80	3 80	80 80	80 80	80 80	Sa 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	возможное применение DВ + 2 DВ.
6-52.1	цинк-алкалинидикат	1 80	1 80	80 80	80 80	80 80	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	при действии морской атмосферы, госталки соли и химических загрязнений.	
6-53.1	цинк-этапликат	1 80	1 80	80 80	80 80	80 80	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	x 0	возможно применение DВ + 2 DВ.	
7)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.
8)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.
9)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.
10)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.
11)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.
12)	стекловолокно-эмаль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	только с дополнительным фосфатированием.

Таблица 70:  
Примеры использованияемых систем антикоррозийных элементов, гидротехн. сооружений, кораблестроения

## 10. Выполнение специальных покрытий по требованиям заказчика

При выполнении специальных покрытий необходимо учитывать высокие затраты, связанные с приобретением, хранением, использованием и утилизацией специальных материалов.

При этом должны учитываться следующие условия:

- материалы не должны содержать канцерогенных веществ, например, хромата и кадмия;
- не использовать вещество, имеющих маркировку "ядовито!", например, свинец;
- нельзя использовать лаки, разбавители и отвердители с классом опасности "A1" (например, нитро-лаки).

## 11. Описание классов опасности и необходимость маркировки

Маркировка ядовитости осуществляется на основании распоряжения об использовании ядовитых веществ от 26.8.1986.

Примеры маркировки:



Определение класса опасности А производится на основании распоряжения об использовании горючих жидкостей от мая 1982.

- |              |   |
|--------------|---|
| Класс А I:   | жидкости с температурой воспламенения ниже 21 °C.           |
| Класс А II:  | жидкости с температурой воспламенения от 21 °C до 55 °C.    |
| Класс А III: | жидкости с температурой воспламенения выше 55 °C до 100 °C. |

## 12. Перечень основных норм

### DIN 55 928

Антикоррозионная защита стальных элементов посредством покрытий

Часть 1: Общие положения

Часть 2: Обеспечение антикоррозионной защиты исполнением конструкции изделий

Часть 4: Подготовка и проверка поверхностей

Часть 5: Материалы покрытия и защитные системы

### DIN 55 945

Лаки, лакокрасочные материалы и похожие материалы покрытия Понятия

## 13. Литература

Юрген Фихтнер:

Лучшая лакировка путем квалифицированной работы на чертежной доске

Инженер Дигест,

Март 1977 г.

Карл-Альберт ван Йотерен:

Лакокрасочные материалы на основе цинковой пудры и их применение.

Машиненмаркт, Вюрцбург,

1970 г. № 30

Для заметок

Для заметок

# Упаковка и транспортировка

Эрхард Висман

## 1. Общие положения

Поставщик обязан поставить свои изделия в нормальном, соответствующем требованиям покупателя и контрактным соглашениям состоянии.

Гидравлические устройства и агрегаты должны иметь упаковку, обеспечивающую при нормальных условиях транспортировки их доставку покупателю без повреждений. Это значит, что они должны быть защищены от влаги, осадков, коррозии, ударов при транспортировке, пыли, загрязнений и других воздействий для предотвращения повреждений.

Для выполнения требований поставки изделий такого же качества, с каким они выходят с завода-изготовителя, важно, чтобы изделия имели достаточную антикоррозионную защиту и консервацию.

Упаковка должна выполняться с учётом возможности использования в зависимости от веса и габаритов транспортных средств (вилочных погрузчиков) или кранов.

Исполнение ящиков, рам и салазок должно учитывать вес, чувствительность грузов, расположение их центра тяжести, а также предполагаемые условия перевозки, погрузки и перегрузки.

Для этого необходимо:

- Выбирать систему упаковки, обеспечивающую поступление грузов в место назначения в нормальном состоянии. Упаковка должна быть экономичной и соответствовать нагрузкам.
- Обеспечить выполнение требований заказчика по упаковке и отгрузке.
- Хранить готовые устройства и агрегаты перед отгрузкой так, чтобы не было повреждений и путаницы.
- Зашить обработанные поверхности таким образом, чтобы до пуска на них не появилась коррозия.

## 2. Консервация гидравлического оборудования и установок, поставляемых в упаковке

При транспортировке - особенно морской - на грузы действуют условия, для которых при определённых обстоятельствах заводская антикоррозионная защита оказывается недостаточной.

Этими условиями могут быть:

- дождь и /или морская вода,
- высокая влажность воздуха,
- высокая засолённость воздуха,
- чрезвычайно высокие или низкие температуры или колебания температур,
- химическое воздействие.

Вид и интенсивность этих воздействий зависит от выбора трассы, сроков транспортировки, промежуточного хранения, а также от вида и чувствительности грузов.

Описанные ниже методы консервации предотвращают отрицательное воздействие на упаковываемые грузы и обеспечивают дополнительную антикоррозионную защиту.

### 2.1 Использование осушителей

Для обеспечения антикоррозионной защиты и эффективного использования осушителей необходимо исключить действие наружных климатических условий на микроклимат в объёме упаковки.

Упаковываемый груз заваривается в полиэтиленовую плёнку толщиной не менее 0,2 мм, а при особо неблагоприятных условиях - алюминиевую фольгу, обеспечивающую 100%-ную герметичность по газам и водяному пару. Благодаря применению осушителей относительная влажность воздуха в упаковке составляет максимально 50%.

Расход используемых осушителей определяется положениями DIN 55474. При этом необходимо учитывать также и климатические условия в месте назначения.

Для контроля насыщения осушителей могут быть установлены гигроскопы.

В упаковку из алюминиевой фольги могут быть вварены смотровые окна из полиэтиленовой пленки или аналогичных материалов, в которых могут быть установлены индикаторы. При длительном хранении грузов в ящиках на этих ящиках вырезаются в соответствующих местах достаточно большие отверстия, закрываемые жалюзийными решетками, для контроля установленных в оболочке из фольги индикаторов.

## 2.2 Использование летучих ингибиторов

Для защиты обработанных металлических деталей от коррозии их помещают в упаковку с атмосферой, насыщенной летучими ингибиторами коррозии. Эти ингибиторы используются в основном для защиты при хранении и отгрузке, так как защитная атмосфера удерживается упаковочной оболочкой.

Обработанные металлические детали (например, поршни, втулки или уплотнительные поверхности клапанов) консервируются таким ингибитором в виде анткоррозионного масла или упаковываются в ингибирированную бумагу.

Летучие ингибиторы коррозии постоянно выделяют микроскопические количества защитных веществ. Поэтому анткоррозионная смазка или ингибирированная бумага оказываются эффективными не только при непосредственном контакте с металлом, но и на расстоянии и поэтому чрезвычайно удобны для консервации сложных конфигураций (полостей, резьбовых отверстий, труб и машинного оборудования).

Летучие ингибиторы не только препятствуют агрессивному действию кислорода воздуха, водяного пара и морского воздуха, кислот, пота и производственных выбросов на металлическую поверхность, но и приостанавливают уже начавшуюся коррозию. Условием эффективного использования летучих ингибиторов является герметизация объема упаковочной оболочки.

Летучие ингибиторы коррозии могут использоваться для стали, железа, хрома, чугуна и алюминия. Кроме того существуют специальные летучие ингибиторы для меди и её сплавов, а также для обоих этих материалов отдельно.

Метод летучих ингибиторов не применяется для цинка, олова, кадмия, магния, свинца и сплавов из этих металлов.

## 3. Габариты провоза, пределы весовых нагрузок и правила отгрузки

Во избежание трудностей при транспортировке габариты провоза должны учитываться уже при разработке конструкции изделий. Изделия, имеющие габариты провоза и пределы весовых нагрузок, не превышающие указанных в таблицах 71 и 72, не требуют согласований на провоз.

### 3.1 Габариты изделий, не требующие согласования на провоз

	конструкция	длина	габариты		дверь		высотная отметка днища	макс. грузоподъемность
			ширина	высота	ширина	высота		
ж-д	E: открытый нормальный вагон	12 500	2 760	2 000	1 800		1 235	21 t
ж-д	G: крытый нормальный вагон	9 000	2 700	2 100	2 000	2 000	1 245	21 t
ж-д	KLM: нормальная платформа	12 500	2 700	2 000			1 250	23 t
ж-д	RS: платформа на тележках	18 500	2 700	1 200			1 375	45 t
автотр.	грузовик	6 500	2 400	2 650			1 350	8 t
автотр.	прицеп	8 000	2 400	2 650			1 350	14 t
автотр.	седловой прицеп	12 500	2 400	2 350			1 650	25 t
автотр.	полуприцеп	12 000	2 500	3 000			1 000	23 t
автотр.	низкорамный прицеп	8 000	2 500	3 500			500	20 t

Таблица 71: Габариты, не требующие согласования на провоз в ФРГ

### Примечание:

Низкорамный прицеп и седловой прицеп с брезентовым тентом являются специальными транспортными средствами.

Максимальные габариты провоза и грузоподъемность принимаются по условиям одного упаковочного места. При поставке машинного оборудования с оснасткой вес оснастки не должен превышать 10% от веса оборудования.

	конструкция	габариты груза			высотная отметка днища	предель- ный вес
		длина	ширина	высота		
автотр.	грузовик	6 500	2 400	2 650	1 350	*
автотр.	прицеп	8 000	2 400	2 650	1 350	*
автотр.	седловой прицеп	12 500	2 400	2 350	1 650	*
автотр.	полуприцеп	12 000	2 500	3 000	1 000	*
автотр.	низкорамный прицеп	5 000	2 500	3 500	500	*

\* = предельный вес для разных стран-разный, от зависит от допустимых нагрузок на ось и расстояний.

Таблица 72: Габариты провоза, не требующие в странах Западной Европы специального согласования

### 3.2 Габариты грузов, требующие особого согласования для провоза

Грузы, ширина которых превышает значения таблиц 71 и 72, должны быть согласованы для провоза властями стран (штатов), по которым проходит трасса.. При этом предписывается маршрут движения транспорта.

Предприятия, занимающиеся перевозками тяжёлых и объёмных грузов, имеют как правило долгосрочные разрешения властей на перевозку грузов шириной до 3000 мм.

Перевозимые автотранспортом грузы не должны иметь высоту, превышающую значений по таблицам 71 и 72. В противном случае гидравлические агрегаты должны быть перед отгрузкой разобраны, чтобы указанная высота, включая упаковку, не была бы превышена. (И в этих случаях целесообразно обращаться к специализированным автотранспортным предприятиям для проверки возможностей провоза завышенных узлов.)

При железнодорожных перевозках определяющим является продольный профиль пути германских железных дорог. Провоз изделий с особыми габаритами должен быть согласован с руководителем погрузочных работ германских железных дорог.

### 3.3 Отгрузка гидроаккумуляторов, находящихся под давлением

Предварительно наполненные азотом гидроаккумуляторы могут поставляться отдельно или в смонтированном состоянии с учётом положений о поставке опасных грузов.

Поставка может производиться автомобильным, железнодорожным, морским или авиационным транспортом. Поставка почтовым отправлением в настоящее время не возможна.

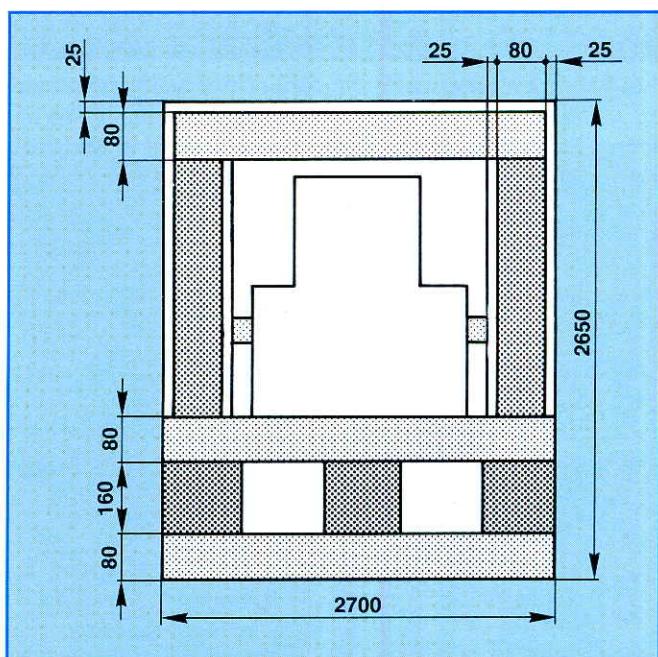
При поставке любым видом транспорта на гидроаккумуляторы должна быть наклеена зелёная маркировочная лента с надписью "Негорючий сжатый газ". В сопроводительной документации должны быть сделаны соответствующие предписаниям записи.

Следить за устойчивостью крепления агрегатов при транспортировке во избежание их опрокидывания или падения с опорных поверхностей.

Поставка несмонтированных гидроаккумуляторов производится в картонных коробках или в деревянных ящиках.

### 3.4 Перевозки морским транспортом

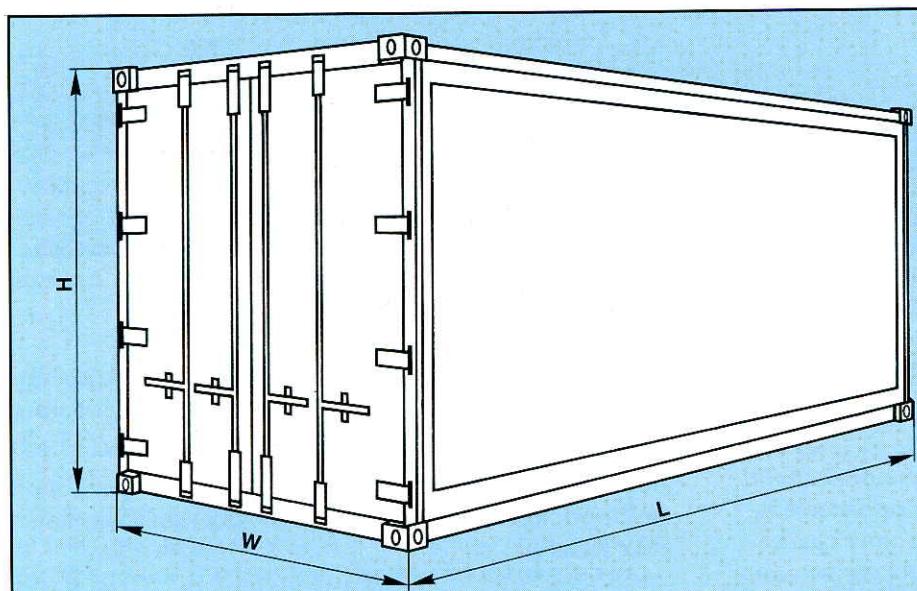
Для выдерживания габаритов ящиков (рисунок 230), предназначенных для морских перевозок, размеры упаковываемых агрегатов не должны превышать:



**Рис. 230:**  
*Ящик для тяжёлых грузов, перевозимых морским путём*

- ширина: 2490 мм,
  - высота: 2225 мм,
  - длина: 4000 мм.

### 3.5 Габариты и веса грузов, перевозимых в морских контейнерах



<sup>1)</sup> В результате различного исполнения (конструкции) контейнеров может быть незначительное отклонение внутренних размеров и весов.

Для специального транспорта имеются специальные контейнеры

- контейнеры 10 и 30 футов,
- контейнеры с открытым верхом,
- вертикальные контейнеры.

размеры стандартного контейнера в футах	габариты			приблизит. внутр. разм. <sup>1)</sup>			дверной проём		приблизительные веса <sup>1)</sup>			объём в м <sup>3</sup>
	длина в мм	ширина в мм	высота в мм	длина в мм	ширина в мм	высота в мм	ширина в мм	высота в мм	допуст. общ.вес в кг	собст-вн. вес в кг	макс вес груза в кг	
20' x 8' x 8'	6058	2438	2438	5900	2335	2258	2335	2145	20320	2000	18320	31,8
20' x 8' x 8,6'	6058	2438	2591	5900	2335	2395	2335	2292	20320	2200	18120	33,1
40' x 8' x 8,6'	12192	2438	2591	12011	2342	2407	2335	2292	30480	3800	26680	67,7

Рис. 231

## 4. Строповочные средства для транспортировки гидравлических агрегатов

Конструкция гидравлических агрегатов должна учитывать возможность их транспортировки без повреждений транспортными и грузоподъемными средствами (вилочными погрузчиками и кранами). Строповочные средства (места подвески для перемещения краном) требуются для внутризаводского транспорта, для погрузки и разгрузки и для установки оборудования у заказчика.

### 4.1 Размещение строповочных устройств

Во избежание изгиба транспортные проушины должны устанавливаться в направлении натяжения строповочных тросов.

Агрегаты, транспортируемые в горизонтальном положении (например, сборки гидроаккумуляторов), должны иметь транспортные проушины, обеспечивающие их перевод в горизонтальное положение.

### 4.2 Пределы нагрузок на транспортные проушины

При определении предельных нагрузок на проушины необходимо учитывать их снижение в зависимости от угла строповки.

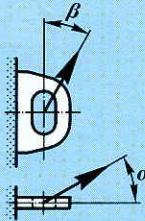
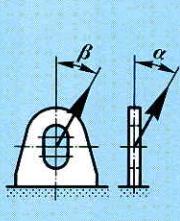
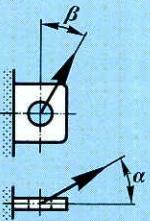
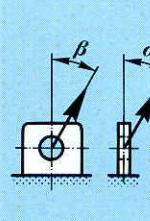
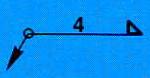
					
$\alpha$ в °	$\beta$ в °	предел нагрузки в тоннах	предел нагрузки в тоннах	предел нагрузки в тоннах	предел нагрузки в тоннах
0	0	3,4	2,6	1,00	1,20
0	30 до 45	2,3	2,0	0,80	1,40
0	45 до 60	2,1	1,6	0,90	0,90
0	60 до 90	1,7	1,3	0,50	0,50
30 до 45	30 до 45	1,0	0,8	0,20	0,20
30 до 45	45 до 60	0,8	0,6	0,20	0,20
30 до 45	60 до 90	0,6	0,5	0,16	0,16
45 до 60	30 до 45	0,3	0,3	0,08	0,08
45 до 60	45 до 60	0,3	0,2	0,07	0,07
45 до 60	60 до 90	0,2	0,2	0,06	0,06
исполн. трансп. проушин		Тип: А	Тип: В	Тип: С	Тип: С
сварной шов					

Таблица 73: Пределы нагрузок на транспортные проушины

#### 4.3 Размеры транспортных проушин и монтажных штуцеров

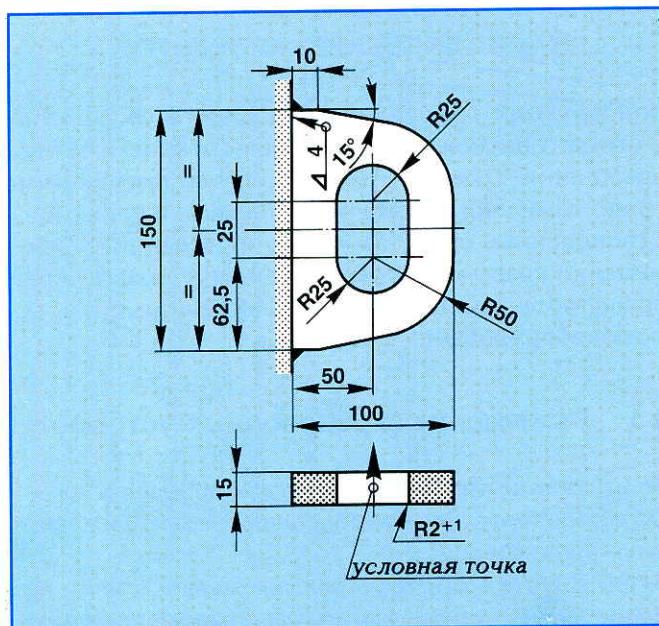


Рис. 232: Проушина типа А под строповочные крюки, располагаемая на вертикальных стенках

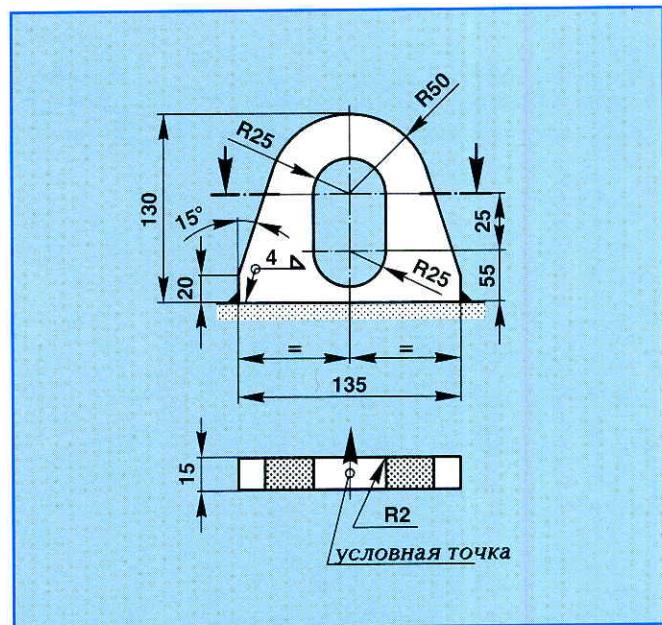


Рис. 234: Проушина типа В под строповочные крюки, располагаемая на горизонтальных стенах

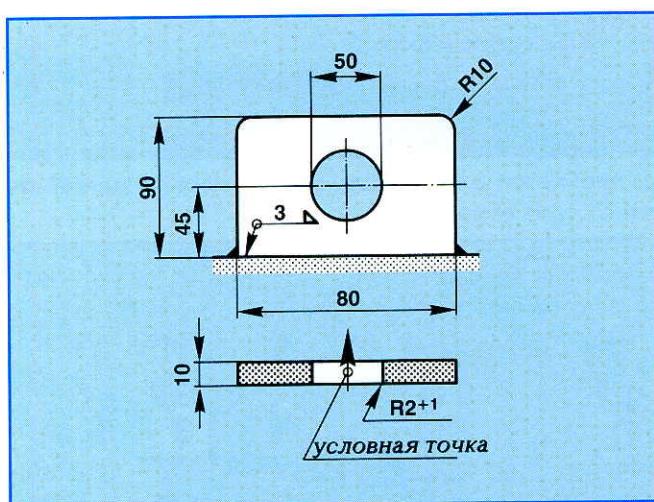


Рис. 233: Проушина типа С под строповочные крюки, располагаемая на вертикальных и горизонтальных стенах

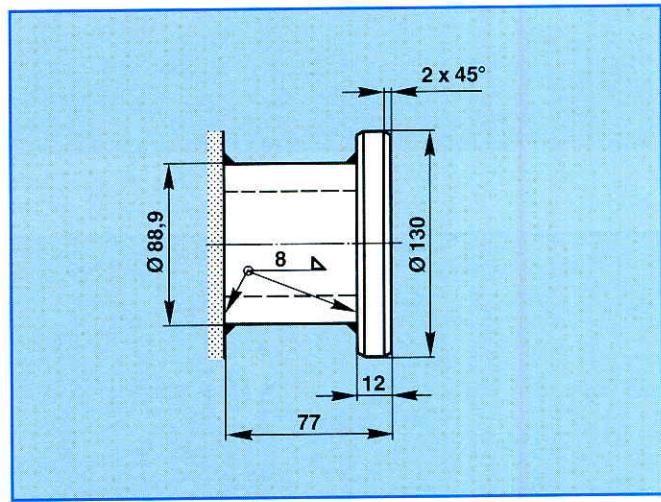


Рис. 235: Монтажные штуцеры под строповочные тросы

## 5. Упаковка гидравлических устройств

Описанные ниже меры выполняются при упаковке в зависимости от требований страны-получателя.

### 5.1 Поставка в пределах ФРГ

Поставка небольших изделий (весом до 50 кг) осуществляется в толевых или картонных коробках. Изделия укладываются в коробках с использованием соответствующих прокладочных материалов, исключающих возможность повреждения при транспортировке. Пустые пространства забиваются наполнительным материалом.

При весе упаковочных грузов брутто более 50 кг упаковка должна иметь на днище подставочные бобышки или крепиться на поддоне для возможности транспортировки грузов при помощи средств малой механизации (вилочных погрузчиков).

Антикоррозионная защита обработанных металлических поверхностей производится консервантами под давлением (см. раздел 2.2).

### 5.2 Поставка в пределах стран Общего рынка

Исполнение упаковки принимается по разделу 5.1.

Антикоррозионная защита грузов производится консервантами под давлением.

### 5.3 Поставка в страны Восточной Европы и за океан

Отгрузка производится преимущественно в морской упаковке (в ящиках).

Антикоррозионная защита выполняется при помощи осушителей и консервантами под давлением.

### 5.4 Поставка в СССР

Отгрузка производится всегда в морской упаковке. Антикоррозионная защита выполняется при помощи осушителей и консервантом под давлением с использованием защитной алюминиевой фольги.

Остальное выполняется по разделу 5.1.

## 6. Упаковка гидравлических агрегатов

Ниже описаны меры, выполняемые при упаковке гидравлических агрегатов с учётом требований стран-получателей.

Экспортная упаковка должна рассчитываться на общий срок транспортировки и хранения от 6 до 24 месяцев.

Наружные металлические обработанные поверхности должны быть покрыты напыляемой антикоррозионной защитой.

### 6.1 Поставка в пределах ФРГ

Гидравлические агрегаты типа ёмкостей, вентильных групп, вентильных сборок и насосных агрегатов прибалчиваются к деревянным подложкам и покрываются для дополнительной защиты от влаги и пыли полиэтиленовой плёнкой.

Запирающиеся гидравлические устройства типа цилиндров и аккумуляторов упаковываются в зависимости от габаритов на поддонах или салазках.

### 6.2 Поставка в пределах стран Общего рынка и Восточной Европы

Отгрузка гидравлических агрегатов производится в деревянных рамках с предварительной упаковкой в полиэтиленовую плёнку. По желанию заказчика может быть предусмотрена антикоррозионная защита при помощи осушителей.

### 6.3 Поставка за океан в морской упаковке

Для транспортировки морем гидравлические агрегаты отгружаются в ящиках, обитых водонепроницаемой пропитанной битумом бумагой (за исключением днищ для возможности отвода попавшей воды). Консервация агрегатов на период транспортировки до 6 месяцев предусматривается при помощи осушителей.

## 6.4 Поставки в СССР или на период транспортировки более 6 месяцев и на период хранения до 24 месяцев

Транспортировка гидравлических агрегатов осуществляется в ящиках, обитых пропитанной битумом бумагой (за исключением дниш).

Консервация агрегатов производится при помощи осушителей с использованием алюминиевой защитной фольги.

По желанию заказчика в замкнутом объёме могут быть установлены индикаторы для контроля эффективности действия осушителей (см. раздел 2.1).

Для обеспечения работоспособности гидравлических устройств при длительных сроках транспортировки и хранения необходима внутренняя консервация при помощи защитной смазки (см. главу "Внутренняя консервация гидравлических устройств и агрегатов").

## 7. Маркировка и обозначения

### 7.1 Маркировка отдельно поставляемых и запасных деталей

Все отдельно поставляемые детали, а также детали, поставляемые отдельно в пределах одного упаковочного места, должны быть отдельно замаркованы изготовителем/поставщиком. Эта маркировка должна быть приведена в упаковочной ведомости.

## 7.2 Маркировка упакованных грузов

Упакованные грузы должны быть замаркованы или при помощи шаблонов стойкой к морской воде и свету контрастной краской, или предоставляемыми заказчиком маркировочными табличками. При маркировке с помощью шаблонов величина букв определяется габаритами груза. При поставке неупакованных деталей и грузов на салазках маркировка должна наноситься непосредственно на груз. Все грузы должны в принципе маркироваться на обеих продольных сторонах.

### 7.3 Условные обозначения

Для обозначения грузов, требующих особого обращения, должны использоваться следующие международные условные знаки.

Знаки опасности должны приниматься по коду IMDG (рисунок 236). Обозначения наносятся на той же стороне, что и маркировка, а положение центра тяжести указывается также и на торцевых сторонах.

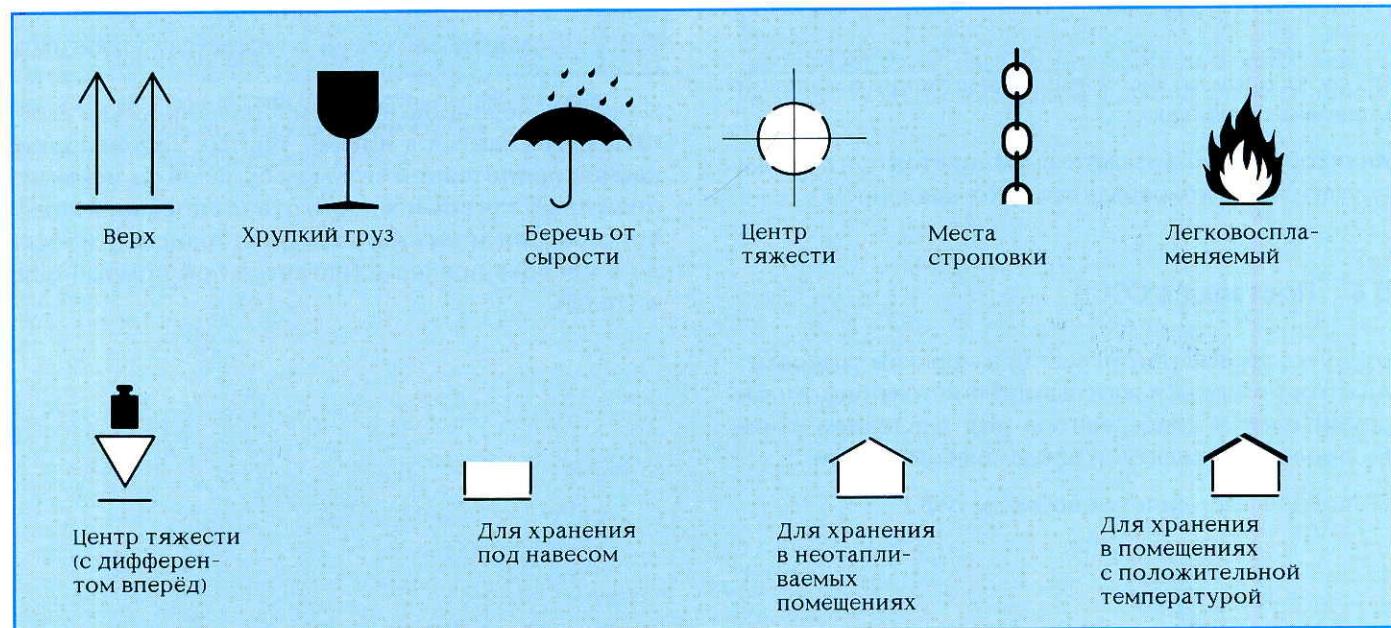


Рис. 236. Условные обозначения обращения и опасности

## 8. Литература

Фирменная публикация:

Предписания об упаковке и отправке для баллонных пневмогидроаккумуляторов и мембранных аккумуляторов фирмы Хыдак, которые поставляются с давлением подпитки (азот) Хыдак ГмбХ, Сульцбах/ФРГ

Фирменная публикация:

Общие условия упаковки для деталей машин и установок  
Маннесманн Анлагенбау АГ, Теодорштрассе 90, 4000 Дюссельдорф 30/ФРГ

**Для заметок**

# Пуск гидравлических установок

Франц Х. Файхт

## 1. Подготовка к пуску

### 1.1 Контроль ёмкости для рабочей жидкости

Перед отгрузкой ёмкости гидравлических установок для рабочей жидкости проверяются на чистоту, а все отверстия закрываются надлежащим образом. Особо неблагоприятные условия при транспортировке с завода на площадку, возможная необходимость промежуточного хранения в неблагоприятных условиях могут привести к тому, что ёмкости будут "загрязнены" прежде, чем установка придёт на площадку.

Если заранее предполагаются длительные сроки промежуточного хранения (более 6 месяцев), то по условиям консервации может выявиться необходимость отглущения возвратных и всасывающих линий и внутри ёмкостей для предотвращения утечки консервантов.

При монтаже на площадке бывает так, что места подключения обратных линий долгое время остаются открытыми.

На основе всего сказанного следует контролировать ёмкости гидравлических установок и в случае необходимости очищать их, не используя при этом бахромящихся тряпок.

### 1.2 Контроль соединительных линий между гидравлической установкой и потребителями

Если пуск установки производится не тем персоналом, который выполнял монтаж трубопроводов между гидравлической установкой, системой управления и потребителем, необходимо хотя бы выборочно провести контроль обвязки. От внутренней чистоты обвязки в значительной степени зависит безаварийность эксплуатации и срок пробега компонентов гидравлической установки.

Кроме того необходимо проверить правильность подключения отдельных потребителей к гидравлической установке по схеме соединений, так как лю-

бая переобвязка связана с потерями рабочей жидкости и всегда нежелательной спешкой.

### 1.3 Выверка агрегата "насос-электродвигатель"

В результате транспортировки, установки дополнительных деталей и др. может получиться так, что электродвигатель окажется смешённым относительно насоса.

Различные конструкции насосов не допускают наличия ни радиальных, ни осевых нагрузок. Эластичные элементы муфт допускают лишь незначительные параллельные или угловые смещения.

Об этом не следует забывать, даже если все очень и торопят с пуском.

### 1.4 Заполнение гидроаккумуляторов газом

Для заполнения может использоваться только азот. Заполнение азотом следует производить до достижения указанного в схеме предварительного давления  $p_0$  (по жидкостному тракту система должна оставаться при этом без давления!). Для возможности использования баллонного азота имеются так называемые наполнительные установки, с помощью которых давление азота из баллонов может подниматься до соответствующей величины.

Для поршневых аккумулирующих установок с подключёнными газовыми баллонами при определённых условиях для поднятия давления азота может использоваться и гидравлическая установка.

Для баллонных аккумуляторов с подключёнными газовыми баллонами этот способ очень опасен в связи с возможностью перегрузки баллонов.

## 1.5 Заполнение рабочей жидкостью

Поскольку рабочая жидкость - независимо от того, в какой таре она поставляется - не обладает достаточной степенью чистоты, необходимо производить заполнение гидравлической установки ею через фильтр.

Абсолютная фильтрующая способность этого фильтра должна быть не ниже, чем у фильтров, смонтированных на установке.

## 1.6 Пуско-наладочный персонал

В целях обеспечения безопасности на площадке должен находиться только персонал, непосредственно занятый на пуске установки.

Сделать это не просто, так как к этому моменту на площадке находится ещё целый ряд бригад, в спешке заканчивающих свои дела. А утверждение, что "знать надо было, знать!" приходит всегда слишком поздно.

## 2. Пуск

### 2.1 Исходное положение арматуры по давлению

Все клапаны ограничения и снижения давления, регуляторы давления насосов должны находиться в разгруженном состоянии. Исключение составляют клапаны, настройка которых выполняется Технической инспекцией.

### 2.2 Состояние исполнительных органов

С исполнительных органов снимаются сервоклапаны и заменяются промывочными плитками или - что ещё лучше - позиционными клапанами такого же условного диаметра. Потребители должны заменяться байпасными линиями. При промывке во всей гидравлической системе должны быть достигнуты температуры не ниже рабочих при последующей эксплуатации. В соответствии с требованиями необходимо производить замену фильтрующих элементов.

Время промывки может быть принято по формуле:

$$t = \frac{V}{Q} \times 5 \quad [\text{ч}], \text{ где}$$

$V$  = объём ёмкости в литрах,  
 $Q$  = производительность насоса высокого давления в л/мин.

## 2.3 Пуск насосов

Если необходимо, заполнить насосы перед первым пуском рабочей жидкостью для предотвращения сухого хода подшипников и деталей механизма движения.

Произвести короткий пуск двигателя циркуляционного насоса и проверить направление вращения. При правильном вращении циркуляционный насос оставить включённым и проверить систему на герметичность и правильность расхода.

При отсутствии дефектов можно медленно вывести ограничительный клапан на значение давления, указанное в схеме, и зафиксировать его.

По такой же схеме могут быть пущены наполнительные и подпиточные насосы. При этом необходимо открыть на системе воздушники, обеспечивающие отвод воздуха из линий.

После этого должны быть пущены насосы гидравлической системы управления, если таковые имеются на установке. После того, как и в этом контуре не будет никаких дефектов, давление управления может быть выведено до предусмотренного значения и зафиксировано. На этом контуре также должны быть открыты воздушники. И уже потом могут быть последовательно пущены основные рабочие насосы. При этом также должны быть учтены требования деаэрации питающих линий и системы и проверки правильности направления вращения коротким пуском. При пуске отдельных насосов необходимо контролировать уровень масла в ёмкости и добавлять масло до полного заполнения всей системы.

Следить за работой отдельных насосов до достижения ими равномерной и непрерывной подачи. Насосы, работающие при пуске на жидкости, содержащей большее или меньшее количество пузырьков воздуха, издают громкие "хлопки" или громкий постоянный шум. Так как на вытеснительных насосах достигается очень высокая скорость подъёма давления, то рабочая жидкость может местами очень сильно нагреваться за счёт компрессии пузырьков воздуха, что приводит к потере ею рабочих свойств.

Если же после нескольких минут работы к насосам будет подаваться рабочая жидкость, содержащая воздух, то необходимо срочно выявить и устранить причины, вызывающие это явление.

### 2.4 Пуск системы управления и потребителей

Для предотвращения повреждений, вызываемых неправильной коммутацией электрических или гидравлических цепей, пуск системы управления и потребителей должен производиться на малых расходах и низком давлении.

Давление и расходы могут быть подняты до предусмотренных значений только после того, как будет

установлено, что цепи скоммутированы правильно, управление потребителями выполняется правильно и правильно зафиксированы ограничения при помощи выключателей конечного положения и других средств.

В течение всего времени непрерывно должны контролироваться следующие показатели:

- уровень рабочей жидкости в ёмкости,
- температура рабочей жидкости в ёмкости,
- наличие утечек во всех узлах установки,
- наличие и уровень шумов,
- температуре корпуса гидравлических насосов и двигателей,
- степень загрязнения установленных фильтров.

## **2.5 Выполнение прочих работ по наладке**

Установить и зафиксировать клапаны ограничения давления по указанным значениям.

Установить и зафиксировать значения регуляторов давления на насосах.

Установить значения давления на понижающих, включающих и отключающих клапанах.

Настроить прибор контроля уровня жидкости в ёмкости.

Настроить реле давления и перепада давления.

Настроить регуляторы температур на требуемые значения.

Установить пределы температурного контроля.

## **2.6 Необходимый контроль**

- достаточности крепления обвязки при смене нагрузок по давлению,
- правильности расположения точек опор,
- правильности прокладки шланговых линий, исключающей их повреждение и при действии давления.

## **2.7 Пуск установок, оснащённых клапанами пропорционального регулирования**

Такие установки пускаются следующим образом.

Вывод на режимы может осуществляться при помощи ручной системы аварийного управления. Сами же клапаны пропорционального регулирования во избежание повреждений должны пускаться при помощи вспомогательной электроники, которая предлагается заводами-изготовителями средств контроля

и автоматизации и которая в последующем может быть использована как для контроля этих клапанов, так и для контроля модулей усилителей.

## **2.8 Пуск установок, оснащённых сервоклапанами**

Пуск этих установок должен осуществляться без сервоклапанов. Вместо них должны устанавливаться или промывочные плитки, или - если это возможно - позиционные клапаны такого же условного диаметра. Сервоклапаны устанавливаются после промывки системы. При этом необходимо следить за их полнейшей чистотой. И в этом случае вся система гидравлического управления должна пускаться вручную. Для управления самих сервоклапанов также предлагаются приборы с питанием от батарей или от сети, которые значительно облегчают как сам пуск, так и последующее обнаружение дефектов.

## **2.9 Пуск быстродействующих установок**

Во многих случаях такие установки уже не могут быть пущены при помощи традиционных контрольно-измерительных средств и стандартных инструментов, не говоря уже о возможности оптимизации их режимов технологической эксплуатации.

Такими установками являются, например, кузнецкие прессы, червячнолитьевые машины при производстве изделий из пластмасс, специальные металлообрабатывающие станки, вальцовочное оборудование, системы управления кранов, машинное оборудование с электро-гидравлическими станциями управления и т.д..

Для пуска и оптимизации таких установок необходимо соответствующее конкретному назначению большее или меньшее оснащение средствами контроля и автоматизации, обеспечивающее одновременную многоканальную запись различных параметров (например, нескольких значений давления, электрических сигналов, перемещений, скоростей, расходов и т.д.) для возможности определения времени запаздывания, регистрации пиков и кратковременных посадок давления, определения неправильных режимов работы отдельных приборов, оценки существующей безопасности при наложении движений и регистрации производительности установки к моменту её приёмки/передачи.

### 3. Наиболее распространённые ошибки при пуске

Пуск установки наряду с её техническим обслуживанием является очень важным фактором, определяющим срок и надёжность её эксплуатации. Поэтому необходимо насколько это возможно избегать при пуске какихлибо ошибок.

Наиболее распространёнными из них являются следующие:

- Отсутствие контроля уровня рабочей жидкости в ёмкости.
- Подача неотфильтрованной рабочей жидкости.
- Отсутствие контроля правильности выполнения монтажа перед пуском, приводящее к необходимости переделок, связанных с потерями рабочей жидкости.
- Наличие воздуха в узлах системы.
- Малый перепад по давлению между значениями ограничения и рабочим, т.е. отсутствие учёта перепада давления, необходимого для запирания.
- Установка давления на гидравлических насосах выше или на уровне давления ограничительного клапана.
- Занижение времени промывки сервоустановок.
- Отсутствие реакции на ненормальный шум при работе насосов в результате кавитации, негерметичности подающей линии, наличия большого количества воздуха в рабочей жидкости.
- Наличие боковых нагрузок на штоки из-за неправильности сборки.
- Наличие воздуха в цилиндрах в результате повреждения уплотнений.
- "Зажатая" установка значений срабатывания выключателей конечного положения.
- Неучёт задержки при настройке реле давления.
- Отсутствие рабочей жидкости в корпусах гидравлических насосов и двигателей перед пуском.
- Отсутствие регистрации установочных значений.
- Отсутствие фиксации или опломбирования регулирующих шпинделей.
- Большое количество народа на установке при пуске.

### 4. Заключение

В зависимости от размеров и степени сложности установки её пуск может осуществляться персоналом, предусмотренным для её последующей эксплуатации, если он располагает необходимыми сведениями по гидравлике, или пусконаладочным персоналом завода-изготовителя, имеющего соответствующее оборудование контроля и автоматизации. Опыт показывает, что многие ничего не выиграли, пытаясь сэкономить на средствах, затрачиваемых на специалистов по пуску и наладке, предлагаемых заводами-изготовителями установок.

Для заметок

**Для заметок**

# Техническое обслуживание гидравлических установок

Франц К. Файхт

## 1. Введение

В соответствии с DIN 31051 понятие "техническое обслуживание" включает в себя следующее:

### 1.1 Собственно техническое обслуживание

Представляет собой совокупность мер, направленных на поддержание требуемого состояния оборудования, т.е. на обеспечение того, чтобы износ так называемых рабочих запасов в течение эффективного срока эксплуатации установки был минимальным.

### 1.2 Ревизии

Представляют собой совокупность мер для определения истинного состояния оборудования, т.е. для определения, как и почему идёт процесс использования рабочих запасов.

### 1.3 Ремонт

Представляет собой совокупность мер для восстановления требуемого состояния оборудования, т.е. восстановления его производительности и рабочих запасов.

Для гидравлических установок под рабочими запасами можно понимать:

- возможность увеличения зазора между поршнями и гильзами цилиндров,
- возможность износа динамических уплотнений,
- запас на эрозию управляющих кромок,
- запас на усталость материалов подшипников качения,
- возможность увеличения зазора между подшипником скольжения и валом,
- запас на возможность развития кавитации на насосах и клапанах,
- запас на возможность химических изменений рабочих жидкостей.

Все эти явления износа определяют медленный расход предусмотренных при проектировании резервов до того момента, когда уже больше не выдерживаются указанные значения (этот момент времени не должен отождествляться с выходом установки из строя) или до внезапного выхода из строя отдельных компонентов.

## 2. Ремонт гидравлических установок

Всестороннее использование гидравлики определяет и большой спектр используемых для этого установок, от самых простых (например, стационарного насоса для обеспечения работы одного потребителя) до крупных установок (например, многонасосных систем регулирования).

Ремонтные работы должны планироваться и выполняться с учётом стоимости и режима эксплуатации (периодический или длительный многосменный), последствий останова (отдельная установка для выполнения второстепенных задач или установка в рамках процесса с остановом всей линии при выходе из строя одного звена) и требуемой надёжности.

### 2.1 Ревизия

Отдельные проверки должны быть сведены в так называемую ревизионную ведомость, составляемую с учётом специфики соответствующей установки, для того, чтобы отдельные работы могли быть выполнены достаточно качественно сотрудниками различной квалификации.

Для крупных установок требуется различные ревизии в зависимости от различных сроков эксплуатации, например, ежедневные, месячные или ревизии незадолго до продолжительного останова установки (например, перед производственным отпуском).

К основным ревизиям относятся:

### 2.1.1 Проверка уровня жидкости в ёмкости

Занижение уровня рабочей жидкости обычно показывает наличие внешних утечек. После проведения больших ремонтных работ уровень рабочей жидкости в ёмкости может в течение некоторого промежутка времени медленно опускаться, если установка имеет систему автоматического деаэрирования. Завышение же уровня жидкости в ёмкости может указывать на сток жидкости с узлов установки, расположенных выше, во время останова за счёт попадания воздуха. За счёт разгерметизации теплообменников, работающих на системе "вода - масло", в гидравлическую систему может попадать вода.

### 2.1.2 Проверка работоспособности теплообменников

#### Воздушные холодильники рабочей жидкости

В зонах большой запылённости теплообменная способность аппаратуры резко снижается за счёт отложений пыли на её поверхности. А если же охлаждающий воздух содержит ещё и "масляный туман" от наружных утечек, то теплообмен вскоре почти совсем прекращается.

#### Водяные холодильники рабочей жидкости

Для предотвращения снижения теплообмена за счёт отложений шлама охлаждающая вода должна быть достаточно чистой. Это особенно важно в тех случаях, когда температура рабочей жидкости поддерживается постоянной за счёт дросселирования охлаждающей воды, в результате чего не могут поддерживаться высокие скорости потока воды, необходимые для вымывания отложений. Важно также, чтобы ни по тракту воды, ни по тракту рабочей жидкости водяные холодильники не работали вхолостую, так как в результате этого для теплообмена будет использоваться только часть предусмотренной поверхности.

### 2.1.3 Проверка герметичности установки относительно атмосферы (выборочное испытание)

Проверке подлежат трубопроводы, шланговые линии (особенно в местах врезок), насосы, приборы управления, гидравлические двигатели и цилиндры.

### 2.1.4 Проверка температуры рабочей жидкости при эксплуатации

Повышение температуры может обуславливаться следующим:

- низкий КПД теплообменника (загрязнение поверхности теплообмена, отказ вентилятора, занижение или прекращение подачи охлаждающей воды,

высокая температура охлаждающей воды на входе, наличие отложений в теплообменнике и т.д.);

- увеличение тепловыделений на гидравлических насосах и двигателях в результате повреждения подшипников качения и скольжения;
- снижение теплоотдачи ёмкости рабочей жидкости, системы трубопроводов и компонентов гидравлической системы в результате отложений загрязнений на их поверхностях;
- увеличение утечек на отдельных компонентах системы;
- срабатывание ограничительных клапанов при заниженном давлении;
- отказ системы управления по нагрузкам;
- эксплуатация установки за пределами допустимых характеристик и т.д.

### 2.1.5 Проверка величин давлений

Проверить:

- давления отпирания первичных ограничительных клапанов, вторичных ограничительных клапанов, ограничительных клапанов в системе управления;
- давление газа, развиваемое гидроаккумуляторами;
- установочные давления ограничительных, включающих и отключающих клапанов.

### 2.1.6 Проверка утечек

На основании замеров утечек на гидравлических двигателях и частично на гидравлических насосах можно судить о состоянии износа оборудования. То же самое касается ряда управляющих, регулирующих и отсечных клапанов. Замедленное втягивание (или выдвижение) находящегося под действием внешних нагрузок штока при закрытых запорных органах позволяет судить о наличии дефектов в уплотнениях штока.

### 2.1.7 Проверка чистоты рабочей жидкости

Визуальный контроль даёт лишь грубую оценку состояния рабочей жидкости (помутнение, более тёмный цвет, чем при заполнении, осадок).

Для определения чистоты рабочей жидкости могут быть использованы три метода:

- Гравиметрическое определение содержания твёрдых частиц при помощи тонкой фильтрации определённого количества жидкости (например, 100 мл) и взвешивания фильтрующего полотна до и после фильтрации. Это даёт возможность определения содержания твёрдых частиц в миллиграммах на литр. Действительное же их содержание будет несколько выше определённого значения, так как даже самые тонкие фильтры имеют в среднем ячейки размером, например, 0,8 мкн..

Мельчайшие загрязнения таких размеров, правда, почти не вызывают износа потока жидкости появле-

нию эрозии (например, на клапанах ограничения или понижения давления, на пазах точного распределения управляющих клапанов, на амортизирующих пазах насосов с бесклапанным управлением и т.д.). Гравиметрическое определение не даёт никакой информации о составе отделённых твёрдых частиц, как и об их зернистости. Выполнение гравиметрической оценки возможно только в лабораторных условиях или в специально оборудованной для анализа жидкостей передвижной лаборатории.

- Подсчёт частиц при помощи электронных счётных сортировочных устройств.

Такие приборы могут работать в полностью автоматизированном режиме. При их помощи не могут проводиться анализы водосодержащих жидкостей, смесей и жидкостей с повышенным содержанием твёрдых частиц. Так как эти установки очень дороги, то имеют их в основном только лаборатории крупных предприятий, заводов-изготовителей фильтров, жидкостей и возможно изготовителей компонентов гидравлических систем. При помощи соответствующей калибровки результат может непосредственно переводиться в классы загрязнённости по NAS 1638 или по стандарту SAE.

- Исследования под микроскопом.

На хорошо впитывающую поверхность (например, на лист промокательной или фильтровальной бумаги) наносятся несколько капель (точно отмеренное количество) рабочей жидкости. Задержанные на ней твёрдые частицы могут быть рассмотрены в микроскоп. Этот метод даёт возможность оценки распределения по зернистости и общего представления о составе (например, о содержании металлических частиц, частиц износа уплотнений, силикатов, волокна и т.д.). Этот метод обеспечивает возможность быстрого местного анализа, в то время как выполнение описанных ранее методов возможно только в условиях лаборатории или специально оборудованных передвижных станций.

Решающее значение для выполнения описанных методов определения содержания твёрдых частиц имеет вопрос о том, как и где произведён отбор образцов рабочей жидкости из системы. Наиболее достоверные результаты дают образцы, взятые из системы, находящейся в эксплуатации.

Очень высокой представительностью обладают образцы, взятые из напорной линии по возможности ближе к насосу. Как правило, на этой линии находятся точки замера давления, которые могут быть использованы для отбора проб. Чем ближе будет находиться точка отбора к выкиду насоса, тем выше будет и пульсация потока, стирающая различие между ламинарностью и турбулентностью. (Точное определение отбора проб дано в ISO 4021.)

При отборе проб с помощью измерительного шланга необходимо сначала сбросить не менее 2 литров жидкости с максимально высокой скоростью, чтобы

быть уверенным, что в исследуемый образец не попадут трёхные частицы, содержащиеся в используемых при отборе шланге и арматуре. Отбор статичных проб из ёмкости рабочей жидкости - а тем более долго не работающей установки - даст результат, который не даёт возможности судить о содержании твёрдых частиц в рабочей жидкости на установке. Но поскольку этот метод очень прост, им несмотря ни на что очень часто пользуются. При этом, конечно, следовало бы хотя бы соблюдать требования норм "Cetop RP 95 H", раздел 3.

#### **2.1.8 Проверка загрязнённости фильтров**

Визуальный контроль широко используемых сегодня глубинных фильтров уже невозможен.

Степень загрязнения может быть определена только замером перепада давления на фильтрующем элементе (или - на фильтрах в сливных линиях - замером скоростного напора, если за фильтром нет гидравлического сопротивления жидкости). Для возможности проведения такого замера без помощи измерительных приборов могут быть использованы только фильтры с оптической индикацией загрязнённости или с системой длительного контроля при помощи электрической индикации загрязнённости.

Содержание твёрдых частиц в рабочей жидкости практически является основной причиной износа компонентов гидравлических систем. От 75 до 80% направляемых заказчиками на капитальный ремонт приборов отказывают из-за износа и эрозии в результате высокого содержания твёрдых частиц в рабочей жидкости. Примерно 10% имеют повреждения в результате действия кавитации. При использовании рабочих жидкостей HFA, HFC и HFD повреждения от действия кавитации возрастают до 15 - 20%. Имеет значение также и содержание твёрдых частиц с размерами менее размеров ячеек фильтров, так как они способствуют явлениям эрозии, а происходящие при их участии процессы "притирки" увеличивают посадочные зазоры, изнашивают поверхности управляющих органов и уплотнений. Резкий отказ приборов происходит в результате этого, правда, редко, но предусмотренный конструкцией срок эксплуатации на какой-то долю снижается.

#### **2.1.9 Проверка химических свойств рабочей жидкости**

Поскольку рабочая жидкость подвергается высоким нагрузкам за счёт изменения давлений, высоких скоростей потока, высокого усилия вреза, местных нагревов, контактов и насыщения воздухом (кислородом воздуха), контакта с различными металлами, эластомерами и пластмассами, конденсатом и частичками твёрдых веществ, то со временем её химическая стабильность не остаётся неизменной.

Необходимо регулярно проверять: кислотное число, число омыления, содержание продуктов окисления, вязкость и индекс вязкости.

Для рабочих жидкостей HFA, HFC и HFD такой анализ является более важным и должен проводиться через более короткие промежутки времени, чем для минеральных масел, поскольку постоянно подтверждается, что в результате очень быстро протекающих химических изменений, неуловимых внешне на глаз, возникают серьёзные повреждения (например, коррозия, дефекты подшипников и т.д.). При отсутствии собственной лаборатории можно договориться с заводами-изготовителями рабочей жидкости о периодическом проведении таких исследований. При небольших расходах рабочей жидкости дешевле и проще производить периодическую замену для экономии средств, затрачиваемых на анализы.

## 2.1.10 Проверка температуры подшипников

Если на рабочих поверхностях подшипников начинает появляться точечная коррозия, то можно говорить о повышении температуры в зоне установки этих подшипников за счёт повышенных потерь мощности. Но условием для этого является требование, чтобы после обкатки в заданных рабочих циклах в той же точке была замерена для сравнения базовая температура, так как выводы можно делать только на основании проводимых сравнений.

## 2.1.11 Проверка образования шумов

Эта проверка также выполняется прежде всего на основании сравнений с образованием шумов в "свежем" состоянии.

При отпирании клапанов ограничения давления слышен шупящий звук. Если же слышен стуки свист, то это признак повреждения ограничительных или понижающих клапанов.

При выдвижении или втягивании штоков может слышаться стук или хруст, что может указывать на выработку направляющих, на приложения усилия (например, на заржавевших шарнирных опорах), на несоответствующее качество рабочей жидкости.

Повышение шума при работе насосов (а также и гидравлических двигателей) с увеличением давления может указывать на наличие повреждений от действия эрозии или кавитации в зоне управляющих поверхностей или по крайней мере на увеличение зазора по вытеснительным элементам или на начало образования дефектов на подшипниках качения. Неприятный громкий шум насосов, независимый от нагрузки по давлению, на чересмерно возрастающий с увеличением числа оборотов, свидетельствует о занижении давления подпитки или о слишком высоком разряжении в линии всасывания (или подпора).

## 2.1.12 Проверка производительностей оборудования и скоростей вращения

Проверка времени выдвижения и втягивания штоков по сравнению с гарантированными значениями, скорости вращения двигателей, потребляемой насосами мощности связана в зависимости от типа уста-

новки с большими или меньшими затратами, но она позволяет судить об общем состоянии установки.

## 2.1.13 Проверка системы трубопроводов и шланговых линий

Трубопроводы, подключающая и соединительная арматура должны проверяться на герметичность. Кроме того трубопроводы должны проверяться также на прочность крепления в точках опор. Незакреплённые трубопроводы могут прорваться, а подключающая арматура - подвергаться недопустимым механическим нагрузкам.

Места вмятин и переломов повышают гидравлическое сопротивление, что вызывает потери мощности и дополнительное нагревание. Шланговые линии должны проверяться на наличие потёртостей и пузырей. Необходимо проверять соблюдение норм по проведению монтажа. Подключающая арматура шланговых линий должна проверяться на герметичность.

## 2.1.14 Проверка аккумуляторных установок

Необходимо периодически проверять примерно при одной и той же температуре окружающего воздуха и находящейся без давления гидравлической системе давление подпитки газа ( $p_0$ ). Это относится к баллонным, поршневым и мембранным аккумуляторам. Пружинные и грузовые аккумуляторы, встречающиеся сегодня очень редко, должны проверяться только на герметичность тракта для жидкости.

## 2.2 Техническое обслуживание гидравлических установок

В практике работы по ревизиям, техническому обслуживанию и ремонту не разделяются так строго, как в определениях. Как раз вот работы по техническому обслуживанию проводятся совместно с ревизиями.

Основными работами по техническому обслуживанию являются:

### 2.2.1 Дополнительная заливка рабочей жидкости

В принципе при этом должна использоваться та же самая жидкость, какой была заполнена система. Это касается также и минеральных масел, потому что масла хотя и отвечают требованиям DIN 51524, часть I и часть II, но отличаются по содержащимся в них присадкам и по своим базовым основам. При использовании рабочих жидкостей классов HFA, HFC и HFD в любом случае следует избегать применения смесей различных фабрикатов. При смешении жидкостей одного и того же типа, но разных заводов-изготовителей вопрос ответственности за возможное появление дефектов не является однозначно решённым.

Часто для гидравлических жидкостей предлагаются присадки, снижающие механическое трение, почти устраниющие так называемый эффект торможения скольжения, якобы увеличивающие сроки годности рабочих жидкостей и многое тому подобное. Но прежде чем такие присадки будут добавлены в любом случае это должно быть согласовано с заводом-изготовителем рабочих жидкостей для обеспечения совместимости сред. Заранее следует сказать, что часто заводы-изготовители гидравлических жидкостей снимают с себя любую ответственность, если к этим жидкостям примешиваются какие-либо присадки других заводов-изготовителей.

Аналогично ведут себя и заводы-изготовители гидравлического оборудования, поскольку требуются очень большие затраты времени и средств для определения этих действий в течение длительного времени и реакции оборудования с учётом колебаний дозировки и производственно специфических нагрузок на рабочую жидкость.

## 2.2.2 Замена рабочей жидкости

Замена рабочей жидкости требуется в тот момент, когда начинается её химическое изменение (появление продуктов окисления, повышение кислотного числа или числа омыления, выпадение необходимых присадок в осадок, изменение вязкости и т.п.).

Кроме того замена рабочей жидкости необходима в тех случаях, когда загрязнение мелкими частицами (размер частиц меньше размера ячеек используемых фильтров) возрастает настолько, что приходится учитывать увеличение износа (например, более 250000 частиц с размерами от 5 мкн до 15 мкн на каждые 100 мл жидкости). Дорогостоящие способы очистки, если это вообще допускается типом используемой рабочей жидкости, например, центрифугирование или очистка на фильтр-прессах, экономически выгодны только для больших количеств. Поскольку находящееся в системе количество рабочей жидкости (в насосах, трубопроводах, приборах управления и прежде всего в цилиндрах) иногда в несколько раз превышает объём ёмкости, то недостаточно заменять рабочую жидкость только в объёме ёмкости (особенно в тех случаях, когда она имеет уже признаки химических изменений).

При каждой замене рабочей жидкости необходимо производить чистку ёмкости. Как при доливе рабочей жидкости, так и при её замене необходимо учитывать, что свежая рабочая жидкость в своем поставочном состоянии не годится для работы с точки зрения содержания твёрдых частиц. Необходимая её чистота не может быть гарантирована в результате часто очень длинной транспортной цепочки от завода-изготовителя до потребителя (хранение в запасных ёмкостях, на танкерах, в цистернах и бочках различного вида и т.п.). Поэтому свежая рабочая жидкость как при доливе, так и при полностью новом заполнении должна заливаться через фильтр. Размеры ячеек этого фильтра должны быть не больше

размеров ячеек фильтров, находящихся на установке. Но лучше использовать фильтр для этих целей с ещё более мелкими ячейками.

Это положение очень важно, так как в противном случае как раз после замены рабочей жидкости и могут появиться производственные неполадки.

## 2.2.3 Очистка фильтров

В принципе фильтрующие элементы должны очищаться или заменяться при каждой замене рабочей жидкости.

Из используемых в основном в настоящее время фильтровальных тканей практически нет ни одной, которую можно было бы целесообразно очистить без значительных затрат, поэтому фильтровальные элементы должны заменяться. Поскольку на многослойных фильтровальных элементах загрязнения невооружённым глазом не могут быть обнаружены (человеческий глаз в состоянии различать без помощи вспомогательных увеличительных средств частицы размером от 45 - 50 мкн), степень загрязнения фильтровального элемента может оцениваться только по перепаду давления на нём. Поэтому сегодня должны использоваться только фильтры, имеющие так называемую оптическую или электрическую индикацию загрязнения. Фильтры, не имеющие контроля, должны заменяться через определённые промежутки времени, которые должны быть достаточно короткими для надёжного предотвращения отпирания вентилей на байпасе или разрушения забившегося фильтровального элемента.

## 2.2.4 Подстройка значений по давлению

Должны быть подналаджены все установки по давлению. Это касается клапанов ограничения давления в рабочем диапазоне, в цепи давления управления и в диапазоне низкого давления, а также понижающих клапанов, клапанов включения и отключения.

## 2.2.5 Устранение утечек в системе трубопроводов

Работы по уплотнению системы трубопроводов могут выполняться только когда они не находятся под давлением. Утечки в местах, имеющих мягкие уплотнения (О-образные кольца, фасонные прокладки и т.п.), не могут быть устранены за счёт подтягивания болтов, поскольку эти уплотнения или разрушены, или потеряли свою эластичность. Уплотнение возможно только заменой уплотнительных элементов.

## 2.2.6 Чистка установки

Время от времени необходимо чистить установку снаружи для обнаружения мест утечек, для предотвращения попадания внутрь загрязнений во время долива рабочей жидкости и замены фильтровальных элементов, для защиты втянутых и выдвинутых штоков от коробления и для предотвращения снижения заложенной в расчёт теплоотдачи оборудования.

При чистке нужно следить, чтобы используемая для этих целей жидкость не попала в гидравлическую систему.

При использовании для чистки пропарки паром высокого давления необходимо обеспечить, чтобы крышка ёмкости, проходы труб, уплотнения вала, электротехническая обвязка и пр. могли выдержать этот весьма эффективный способ.

## 2.2.7 Техническое обслуживание сосудов, работающих под давлением

Для этого в каждой стране существуют собственные предписания. В ФРГ действуют правила "Инструкции на сосуды, работающие под давлением" и инструкции "Сосуды для газа под давлением и запитывающие установки ("Инструкция на сосуды под давлением" - Сосуды под давлением V) и "Общие административные правила", а также "Технические правила для сосудов, работающих под давлением" (TRB).

Изложенные в этих документах правила служат обеспечению производственной безопасности и должны максимально предотвращать угрозу здоровья людей и нанесения ущерба окружающей среде.

На гидравлических установках к сосудам, работающим под давлением, причисляются в этом смысле ёмкости для рабочей жидкости, находящиеся под избыточным давлением (например, подпиточные ёмкости кузнецких прессов и т.п.), гидроаккумуляторы (баллонные, поршневые, мембранные и относящиеся к ним газонакопительные баллоны).

По газовому тракту гидроаккумуляторы заполняются - за некоторыми исключениями - только азотом. Перед проведением работ по техобслуживанию на гидравлических установках, оснащённых гидроаккумуляторами, давление жидкости на этих установках должно быть во всех случаях полностью сброшено. Поэтому на всех установках на хорошо видимом месте должна быть вывешена табличка с хорошо читаемым текстом следующего содержания (в случае необходимости - на нескольких языках):

**"ВНИМАНИЕ! УСТАНОВКА РАБОТАЕТ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.**

**Перед началом ремонтных работ давление жидкости на установке должно быть сброшено полностью!"**

## 2.2.8 Замена быстроизнашающихся частей

Возможность отказа большинства компонентов системы не так-то просто предвидеть заранее. Решающее значение при этом имеют условия эксплуатации (динамические нагрузки по давлению, скорости потоков, вид рабочей жидкости, температурные нагрузки, воздействие внешней среды и т.п.).

При известных условиях эксплуатации можно приблизительно предсказать средний срок пробега подшипников качения и динамически нагруженных уп-

лотнений. Предварительная замена подшипников качения, уплотнений цилиндров, грязезащитных манжет, уплотнений вала и шланговых линий целесообразна в том случае, если отказ этих компонентов чреват большими последствиями (например, если повреждение подшипника ведёт к полному повреждению всего механизма движения, или выдвигающийся шток ломает другие узлы машинного оборудования, или если в результате отказа шланговых линий может возникнуть угроза окружающей среде или даже жизни людей).

Кроме того предварительная замена быстроизнашивающихся частей во время работ по техническому обслуживанию целесообразна и в том случае, когда установки работают в несколько смен и объединены в поточные линии, т.е. когда отказ одной позиции может вызвать останов всей поточной линии.

Наряду с указанными выше как быстроизнашивающиеся могут рассматриваться следующие детали:

- все статически и динамически нагруженные уплотнительные элементы, изготовленные на основе эластомеров и полиуретана (так называемые "мягкие уплотнения");
- комплекты рабочих органов клапанов ограничения давления (особенно рабочих), а также понижающих, включающих и отключающих клапанов; электромагниты (особенно воздушные магниты переменного напряжения) при большом числе выполняемых коммутаций;
- фильтровальные элементы (если предел их насыщения не имеет постоянного контроля);
- передаточные элементы эластичных муфт вала;
- шланговые линии высокого давления, если завод-изготовитель на основе данных по условиям эксплуатации может гарантировать только определённое количество знакопеременных нагрузок.

## 2.3 Ремонт гидравлических установок и отдельных компонентов систем

### 2.3.1 Локализация дефектов

Предпосылкой для проведения системного ремонта является успешное, т.е. системное обнаружение дефектов.

В любом случае необходимым условием для этого является наличие необходимой документации и свободный доступ к ней.

Желательно, чтобы в непосредственной близости от гидравлической установки постоянно имелась монтажная схема со спецификацией и принципиальная схема. Хорошо зарекомендовало себя размещение этой документации на ДСП с последующим покрытием прозрачным лаком или плексигласом для защиты от загрязнений и разрушения, а также с соответствующим освещением.

Также по близости от установки - особенно: больших установок - должны находиться основные контрольно-измерительные приборы.

Основными приборами для обнаружения дефектов являются:

Манометры с необходимыми для установки диапазонами замеров. Выбор манометров для обеспечения точности и предполагаемого срока пробега должен производиться так, чтобы обычно использовалось только от 2/3 до 3/4 указанного на шкале диапазона замеров.

Быстро и без каких-либо потерь рабочей жидкости манометры могут быть подключены при помощи быстроразъёмных мини-муфт и шланговых линий диаметром от 1,8 до 2,4 мм. Очень важно, что после выполнения замеров эти муфты могут быть закрыты резьбовыми пробками для защиты от попадания загрязнений и предотвращения порчи шаровых или конических уплотнений.

### Термометры

(лучше всего электронные с поверхностными датчиками)

для возможности быстрого обнаружения мест образования высокой температуры (в результате высоких утечек, потери мощности).

### Комбинированный электроизмерительный приборов для:

- возможности проверки сопротивления магнитных катушек;
- возможности проверки подачи напряжения на переключающие магниты (замер производить на входе и выходе катушек, а не в распределительном шкафу!);
- возможности замера токов на клапанах пропорционального регулирования и сервоклапанах.

Конечно, на рынке можно приобрести специальные приборы для замеров напряжения на переключающих магнитах и тока на регулирующих магнитах, выполненные для конкретных случаев и очень простых в обращении.

### Промышленный стетоскоп

для локализации источников шума путём прослушивания корпуса оборудования.

### Хронометр для возможности:

- замеров времени втягивания и выдвижения штоков;
- выполнения замеров утечек на гидравлических насосах и гидравлических двигателях.

### Тахометр

для возможности определения числа оборотов гидравлических двигателей со стороны машинного оборудования.

### Замеры расхода

В отличие от электриков, замеряющих ток, гидравлики имеют существенные проблемы при замерах расхода жидкости.

Для установки расходомерных счётчиков система должна быть открыта, что сопряжено с потерями рабочей жидкости и попаданием загрязнений. Лишь немногие измерительные приборы способны воспринимать нагрузки от имеющегося давления. Диапазон замера сравнительно во много раз меньше. Поэтому в большинстве случаев гидравлики вынуждены вести замеры расхода косвенно, через время движения штоков и через число оборотов гидравлических двигателей.

### Стандартный инструмент

#### 2.3.2 Устранение дефектов

Испорченные приборы как правило не ремонтируются на месте, поскольку в этих условиях нет ни требуемого для этих целей инструмента, ни необходимой чистоты. В условиях площадки должна всегда производиться по возможности только комплектная замена приборов для того, чтобы было можно:

- держать установку в открытом состоянии под действием внешних условий ровно столько, сколько это действительно необходимо;
- обеспечить минимальное количество утечек;
- за счёт использования отремонтированных и проверенных приборов обеспечить надёжность работы и максимально сократить сроки простоя установки.

Важно после локализации отказавших приборов проверить, не загрязнена ли вся система или часть её обломками оборудования или повышенным содержанием металлических частиц в результате износа. Если же такое случится (а это можно проконтролировать по состоянию фильтров и ёмкости для рабочей жидкости), то перед повторным пуском установка должна быть в любом случае очищена (например, промывкой), фильтровальные полотна заменены, и при определённых обстоятельствах в зависимости от типа установки будет необходима замена рабочей жидкости (на малых установках).

На крупных установках рабочая жидкость очищается (например, после чистки ёмкости) при помощи тонких фильтров или центрифуги и вновь подаётся на установку. Только таким образом можно предотвратить дальнейшие аварии и отказы других компонентов системы. Для обеспечения максимальной надёжности именно на высокочувствительных установках целесообразно иметь высоко точные системы управления и регулирования, устанавливать на некоторое время на фильтрах полотна со следующим в сторону уменьшения номером ячеек (например, на время их полного насыщения).

Это возможно почти во всех случаях при использовании применяемых на сегодняшний день фильтров. После повторного пуска отремонтированная установка должна находиться некоторое время под наблюдением для уверенности, что при проведённом ремонте действительно устранены все неполадки. Иногда установка некоторое время работает неритмично, если не удается полностью сбросить воздух из системы, что подтверждается движением или неправильным положением штоков, звуковыми ударами на отдельных насосах и т.д..

При автоматическом сбросе воздуха из системы такие явления могут продолжаться по нескольку часов.

### 2.3.3 Ремонт компонентов гидравлических систем

При ремонте компонентов гидравлических систем необходимо принципиально решить, какие из них могут быть отремонтированы на месте, а какие - только на заводе-изготовителе.

Для ремонта компонентов гидравлических систем должна иметься соответствующим образом оборудованная мастерская с более высокой чистотой помещения, чем на обычных машиностроительных заводах. Это, конечно, экономически оправдано только в тех случаях, когда на соответствующих предприятиях имеется много установок, оснащенных по большей части гидравликой.

Второе условие состоит в том, чтобы на предприятии имелся соответствующим образом подготовленный персонал и необходимая документация.

Но оба эти условия будут бесполезными, если на предприятии не будет склада запасных частей с соответствующей номенклатурой изделий. Какие же компоненты гидравлических систем могут быть отремонтированы в условиях технологического производства с разумными экономическими затратами?

#### 2.3.3.1 Гидроцилиндры (линейные двигатели)

Основными дефектами цилиндров являются:

- Изношенные уплотнения, которые могут быть заменены. В особых случаях должны ставится уплотнения с применением специального инструмента.
- Коробление поверхности поршней, гильз цилиндров, направляющих штоков и повреждение ударами (или сварочными брызгами) самих штоков. При небольших повреждениях трубные элементы могут быть отхонингованы, со штоков может быть снято хромирование с последующей шлифовкой и повторным хромированием. Могут быть также выполнены некоторые работы на головках и основаниях цилиндров по выдерживанию допустимых зазоров для уплотнений.

#### 2.3.3.2 Запорные клапаны

Почти все виды запорных клапанов имеют металлические уплотняющие поверхности. Часто конусы имеют более высокую твёрдость, чем сёдла корпусов клапанов. Основными дефектами этой группы оборудования (обратные клапаны, наполнительные клапаны, 2-позиционные встроенные клапаны, называемые "логическими элементами") являются:

- Затвердевание мягких уплотнений. Затвердевшие уплотнения могут быть легко заменены. Учитывая большие усилия пружин, необходимо быть осторожным при отпирании.
- Негерметичность за счёт повреждённых сёдел клапанов. Подобные дефекты практически всегда обуславливаются наличием инородных тел или эрозии. Ремонт возможен или за счёт обработки сёдел на станках или за счёт замены пары "седло - конус". Работы на сёдрах должны выполняться очень точным инструментом, так как седло и направляющая практически не должны иметь смещений. Проведение статических испытаний на герметичность не представляет собой проблемы.

#### 2.3.3.3 Позиционные клапаны

Конструкция позиционных клапанов - особенно малых диаметров - не обеспечивает возможности экономичного ремонта, так как кроме замены уплотнительных элементов или магнитов могут быть дефекты и в гидравлической части.

В зависимости от вида конструкции при замене магнитов необходимо произвести поверку, которую можно выполнить только при помощи специальных устройств.

#### Золотниковые позиционные клапаны

Кроме замены уплотнений и элементов обслуживания (например, электромагнитов, ламп или деталей ручного, механического, гидравлического или пневматического обслуживания) другие виды ремонтных работ на площадке практически невозможны, так как в этих случаях приходится иметь дело с изменением размеров, например, при помощи хонингования или притирки отверстий или точного шлифования соответственно увеличенных диаметров поршней. В результате того, что в настоящее время принимаются микроскопические зазоры, такие работы должны выполняться при помощи прецизионного оборудования, чтобы можно было получить производственные характеристики, как на новых изделиях.

Для заключительного контроля требуется наличие испытательного стенда.

#### 2.3.3.4 Напорные клапаны

В принципе во всех напорных клапанах возможны и используются как конструкции с золотниками, так и конструкции с коническим затвором.

Для ремонта клапанов золотниковой конструкции действительно сказанное в п. 2.3.3.3.

На клапанах с коническим затвором может произойти замена конуса и седла в зоне пилотного управления и замена втулки и конуса - на основной ступени.

Но в настоящее время увеличивается применение напорных клапанов, состоящих из корпуса и ввёртываемой на резьбе вставки (патрона). В этих случаях ремонт состоит в замене комплектной вставки.

Затраты на контроль, дающий возможность оценки работы напорного клапана, сами по себе достаточно высоки и поэтому являются во многих случаях для технологической установки неэкономичными.

#### 2.3.3.5 Регуляторы расхода

Дроссельные клапаны и дроссели с обратными клапанами используются в качестве трубопроводной арматуры, для установки в блоках и в качестве встраиваемых комплектов (в комбинированных блоках управления).

Ремонт этого вида оборудования малых диаметров может быть ограничен только заменой уплотнительных элементов. Другие виды ремонтных работ - типа замены быстроизнашивающихся деталей - неэкономичны.

Для дорогостоящего оборудования - например, точных регуляторов расхода, дроссельных клапанов и дросселей с обратными клапанами, клапанов выдержки времени с обратным клапаном или без него - выполнение ремонтных работ, не считая замены уплотнений, экономически целесообразно только в том случае, если для этого на площадке имеется необходимый инструмент и станочное оборудование.

Для возможности приведения этого оборудования в состояние, аналогичное новому, в первую очередь необходимо иметь рабочую документацию завода-изготовителя. Если же необходимо провести поверку определённых характеристики, то требования, предъявляемые к испытательному стенду, будут уже сами по себе достаточно высокими.

Самые высокие требования к ремонтному оборудованию, квалификации ремонтников и контрольному оборудованию по этой группе приборов предъявляют клапаны регулирования расхода. Поэтому выполнение ремонтных работ, не считая замены уплотнений, на площадке может быть рекомендовано в крайне редких случаях.

#### 2.3.3.6 Клапаны пропорционального регулирования

**Позиционные, напорные и расходные клапаны пропорционального регулирования**

Оборудование этой группы сегодня настолько распространено, что о нём можно говорить как о серийном. И возможности его использования быстро растут.

Но производить его ремонт своими силами заводчикам не рекомендуется, за исключением замены уплотнений.

И это не следует понимать так, что эти приборы настолько чувствительны, подвержены отказам или сложны, что ремонтники, которые в состоянии выполнить ремонт указанных выше приборов, не могут его произвести на клапанах пропорционального регулирования.

Но затраты на контрольно-измерительное оборудование, включая электронное и самописцы для определения и соответствующей настройки требуемых характеристик, высоки настолько, что даже заводы-изготовители могут иметь его у себя в секторе ремонтных работ только в тех случаях, если оно будет загружено не менее 5 - 7 часов в день.

При меньшей загрузке отремонтированные приборы проверяются и документируются на стендах серийного изготовления.

#### 2.3.3.7 Сервоклапаны

Всё сказанное в предыдущем пункте в ещё большем мере относится к сервоклапанам. Так как притирка поршней в гильзах (а гидравлическая посадка нулевая не равнозначна механической нулевой посадке) уже сама по себе требует специального оборудования, а поверочно-испытательный стенд является наиболее дорогостоящим из того, что нужно для гидравлических устройств, то эксплуатационникам не рекомендуется - даже если у них постоянно работает несколько сотен сервоклапанов - тратить деньги на приобретение оборудования для их ремонта. Хотя техническое обслуживание их в условиях технологической площадки вполне возможно: так, например, в любое время можно произвести чистку или замену защитных фильтров на первой ступени. Квалифицированному персоналу не требуется больших затрат на контрольно-измерительное оборудование для поверки нулевой точки. Необходимо ещё раз указать, что персонал должен пройти обучение на заводе-изготовителе по обслуживанию как клапанов пропорционального регулирования, так и сервоклапанов до того, как эти приборы потребуют обслуживания на установке.

### 2.3.3.8 Гидроаккумуляторы

Поскольку на гидроаккумуляторы распространяется действие норм для сосудов, работающих под давлением, то подробное рассмотрение этих положений выходило бы далеко за пределы настоящего раздела.

Пружинные аккумуляторы и аккумуляторы с грузом за редким исключением практически в настоящее время больше уже не используются. В обоих случаях отсечка со стороны жидкости производится относительно атмосферы при помощи поршней с мягкими уплотнениями.

В поршневых аккумуляторах разделение между жидкостью и газом также производится при помощи поршней с уплотнительными элементами на основе эластомеров, ткани и полиуретана, которые могут быть легко заменены в условиях установки.

В большой группе баллонных и мембранных аккумуляторов разделение между жидкостью и газом производится при помощи баллона или мембранны, выполненных из эластомерного материала, выбор которого производится с учётом вида рабочей жидкости. При замене баллонов или мембран (а оба они относятся к быстроизнашивающимся частям) необходимо следить, чтобы они были выполнены из материала, совместимого с рабочей жидкостью.

Баллонные аккумуляторы могут ремонтироваться только специально подготовленным персоналом, так как ошибки при этом почти всегда связаны с большой опасностью несчастного случая (как для оборудования, так и для персонала).

По газовому тракту гидроаккумуляторы могут заполняться только азотом (во избежание пожаров и взрывов). Часть небольших аккумуляторов имеет сварную конструкцию и поэтому неремонтоспособна (так называемые "изделия разового пользования").

### 2.3.3.9 Гидронасосы - гидродвигатели (выполненные по принципу шестерёночных насосов и шестерёночных двигателей)

Уплотнительные элементы являются заменяемыми во всех конструкциях шестерёночных насосов. Но для большинства конструкций капитальный ремонт шестерёночных насосов является неэкономичным, и в первую очередь в тех случаях, когда корпус насоса образует с отдельными полостями вытеснения уплотнительный зазор. При дефектах подшипников (в большинстве случаев - скольжения) или при попадании внутрь инородных тел в большинстве случаев происходит полная авария на соответствующей позиции.

#### Пластинчатые насосы

#### с постоянным и переменным объёмом вытеснения

Ремонтные работы могут выполняться только соответственно подготовленным персоналом. Наряду с заменой уплотнений в большинстве случаев воз-

можен экономически целесообразный капитальный ремонт с заменой узлов механизма движения.

Так как потери должны быть минимальными (это первостепенно хотя бы для европейских стран), то часто детали механизма движения берутся сдвоенными для обеспечения минимальных объёмных потерь. Только пробный пуск на испытательном стенде может показать, удачно ли выполнен ремонт насоса. Но если потребуется поверка характеристик или проверка выполняемых функций (например, времени на повышение параметра или его понижение и т.п.), то затраты на такой стенд будут очень значительными.

Конечно, в безвыходном положении таким стендом может служить сама технологическая установка. Но для ответственных установок это нельзя считать нормальным, так как при этом становится неучитываемым время простоев.

#### Аксиально-поршневые насосы

#### Аксиально-поршневые двигатели

Ремонтные работы также должны проводиться только специально подготовленным персоналом. Для этой конструкции насосов и двигателей наряду с мелким ремонтом (заменой уплотнений) в большинстве случаев по регулируемым узлам возможно экономически целесообразное проведение капитального ремонта.

Для нерегулируемых узлов в зависимости от степени повреждения капитальный ремонт может оказаться экономически невыгодным.

В зависимости от вида используемой настроено-регулировочной аппаратуры и мощности затраты по капитальным вложениям на испытательные стенды, включая контрольно-измерительное оборудование, составляют от 0,25 до 0,75 миллионов германских марок и более.

Такие установки могут иметь амортизацию только при очень высоком коэффициенте их использования.

### 2.3.3.10 Высокоментные гидродвигатели

#### (с постоянным вытесняемым объёмом)

В зависимости от конструкции и для этой группы оборудования может быть экономически целесообразным проведение капитального ремонта, не считая выполнения мелких видов работ.

Но он должен проводиться только специально подготовленным персоналом. Результаты ремонта могут быть проверены только на испытательном стенде.

Капитальные затраты на ремонт по этой группе оборудования также очень высоки. Это обуславливается низкими значениями числа оборотов и высокими значениями врачающих моментов.

### 2.3.3.11 Вспомогательное оборудование на гидравлических установках

К нему относятся следующие группы оборудования: фильтры, реле давления, позиционные переключатели манометров, отсечная арматура манометров, воздушные теплообменники для рабочей жидкости, водяные теплообменники для рабочей жидкости, нагревательные приборы и т.д..

Часть этого оборудования и групп ремонтноспособна, ремонт другой части экономически нецелесообразен.

### 2.3.4 Ремонт и капитальный ремонт гидравлических устройств

В принципе можно констатировать, что капитальный ремонт экономичнее и надёжнее всего может быть выполнен на заводе-изготовителе.

Причиной этого служат следующие положения:

- В ремонтном секторе завода-изготовителя капитальный ремонт проводится по тем же стандартам, по которым выпускается новое оборудование.
- Персонал, выполняющий ремонт, подготовлен также, как и персонал, выпускающий новое оборудование.
- Запасные части изготавливаются на том же оборудовании, на котором изготавливаются детали для нового оборудования.
- Наличие возможностей контроля в полном объёме.
- Отремонтированное оборудование в большинстве случаев подвергается более жёстким испытаниям, чем новое.
- Заводы-изготовители гарантируют для оборудования, прошедшего у них капитальный ремонт, те же технические характеристики, что и для нового.
- Некоторые заводы-изготовители дают на прошедшее у них капитальный ремонт оборудование те же сроки гарантий, что и для нового.

## 3. Заключение

Объём и сроки проведения технического обслуживания и ревизий должны определяться и фиксироваться в соответствии с величиной и значимостью соответствующей установки.

Работы по техническому обслуживанию и ревизиям, проводимые на основе официальных норм и требований профсоюзов как обязательные, должны выполняться и соответствующим образом фиксироваться независимо от профилактических мер для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и предотвращения возможного материального ущерба.

Для ремонта установок лучше всего иметь необходимую документацию и важнейшие контрольно-измерительные приборы под рукой для максимально успешного и кратчайшего выявление дефектов. Если персонал по техническому обслуживанию не владеет одновременно знаниями по гидравлике и электрике (что крайне желательно, но, к сожалению редко), то для скорейшего выявления и устранения дефектов должны одновременно использоваться и гидравлики, и электрики, чтобы избежать сваливания грехов друг на друга.

Ремонт в условиях технологической установки должен быть ограничен заменой комплектных компонентов.

Ремонтные работы, за исключением хорошо освоенных, должны проводиться на заводах-изготовителях оборудования, чтобы можно было иметь в последующем на складе нормально работающий резерв.

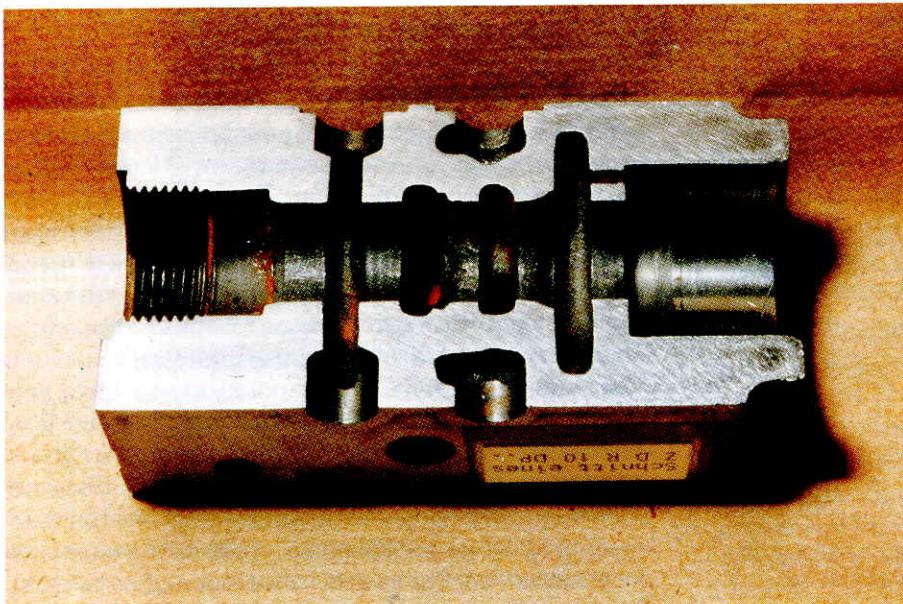


Рис. 237:

Эрозия на управляющей кромке понижающего клапана после 12000 рабочих часов. Перепад давления на кромке: с 50 бар до 65 бар.



Рис. 238:

Места коррозии на поверхности контакта поршня и гильзы ограничительного клапана с пилотным управлением

Причина:

Действие колебаний высокой частоты и малой амплитуды.



Рис. 239:

Эрозия уплотняющей поверхности опирающего конуса питающего клапана, обусловленная очень высоким перепадом давления и завышенным содержанием твёрдых частиц в рабочей жидкости.

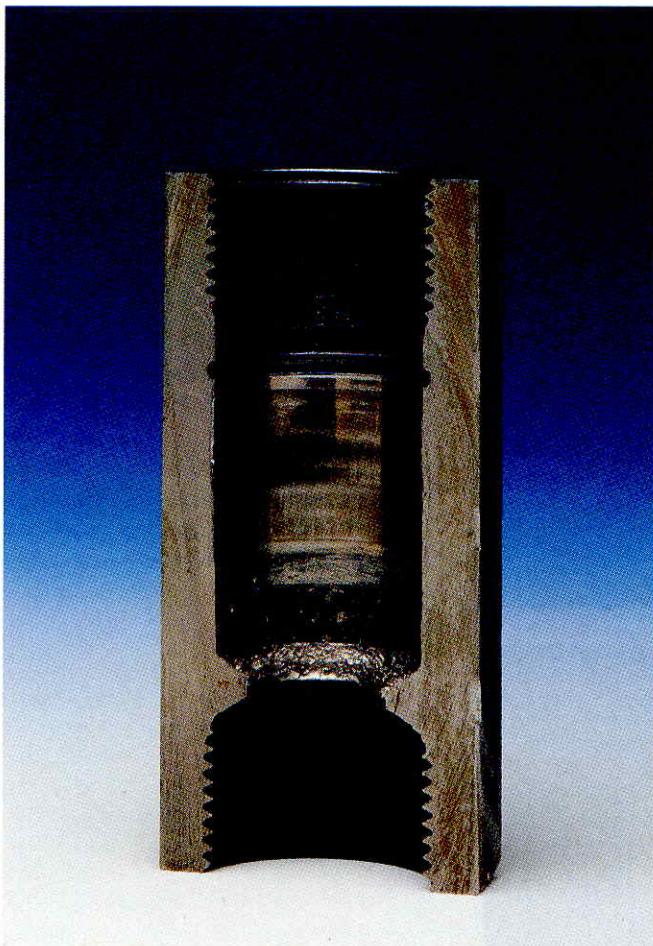


Рис. 240:  
Седло обратного клапана, разрушенное действием ино-  
родных тел.



Рис. 241:  
Нормальный износ затвора ограничительного клапана  
прямого управления, работавшего в условиях высокой ча-  
стоты срабатывания в течение продолжительного вре-  
мени.



Рис. 242:  
Дефекты на пальце дросселя в резуль-  
тате действия кавитации.  
**Устранение:**  
Повышение давления после места  
дросселирования

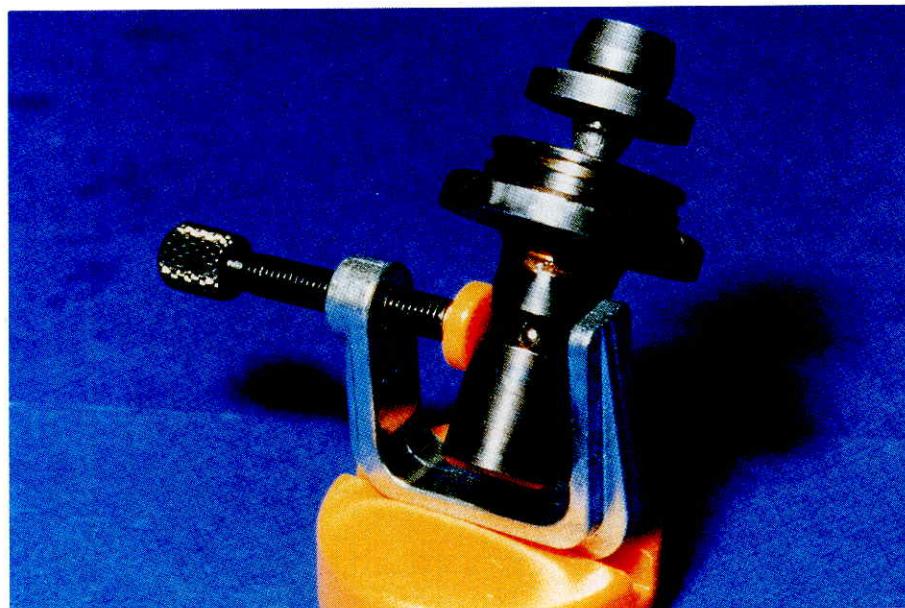


Рис. 243:  
Эрозия на уплотняющем конусе ограничительного клапана прямого управления.

Причина:  
Высокий перепад давления и высокое содержание твёрдых частиц в рабочей жидкости при высокой частоте срабатывания.

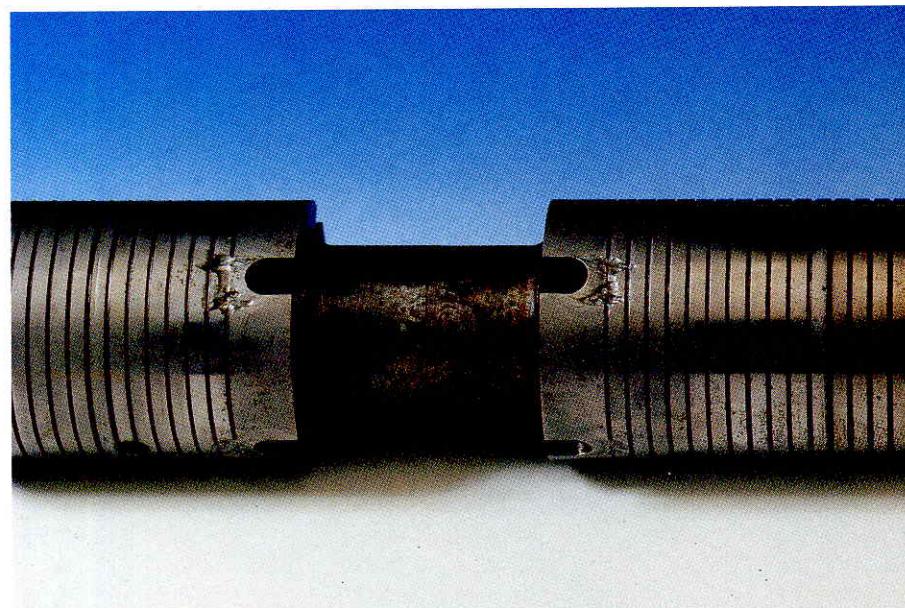


Рис. 244:  
Эрозия в зоне пазов точного управления позиционного клапана ДУ 25.

Причина:  
Для разгрузки клапана использовался большой объём масла, находящийся под высоким давлением. Содержание твёрдых частиц в рабочей жидкости: по NAS 1638 более 12.



Рис. 245:  
Дефекты на диске крышки пластинчатого насоса в результате действия кавитации, обусловленной занижением давления на приёме насоса.



Рис. 246:  
Разорванный баллон аккумулятора.  
Причина:  
В результате повышенного отбора  
жидкости баллон был втянут под тар-  
ельчатый затвор клапана.



Рис. 247:  
Износ управляющей кромки поршня  
ограничительного клапана прямого  
управления в результате высокого со-  
держания твёрдых частиц в рабочей  
жидкости.

**Для заметок**





Динамика изменения вязкости от температуры 171, 172  
Динамика коммутаций 15  
Динамика регулирования 28, 32  
Динамический пробоотбор 176  
Динамический/статический отбор проб 176  
Динамическое условие эксплуатации 167  
Дифманометр 156  
Дифференциальный цилиндр 22, 32, 181, 184  
Длина волокна 154  
Длина трубопровода 32  
Длина трубы 25, 41, 48  
Длительная нагрузка 36  
Длительный износ 349  
Длительный контроль 347  
Днище ёмкости 61  
До фильтра 166  
Добавление минерального масла в НС ..... 192  
Доизготовление трубопроводов 297  
Документация 350  
Дополнение 196  
Допуск 22, 23  
Допустимый перепад давления 184  
Доступность 27  
Дроссель 25, 148  
Дросселирование 33  
Дроссельный клапан 184  
Дроссельный обратный клапан 353  
  
Ёмкость 28, 29, 31, 32, 37, 61, 82, 156, 167, 206, 346  
Ёмкость для гидравлического масла 172  
Ёмкость для гидравлической жидкости 26, ..... 151, 168, 172, 176, 178, 180, 182  
Ёмкость для жидкости 206, 346  
Ёмкость для масла 37  
Ёмкость для рабочей жидкости 339  
Ёмкость, работающая под давлением 133, 134  
  
Железнодорожный транспорт 329  
Желеобразная частица 149  
Жёсткость 20, 37  
Жидкостное трение 15  
Жидкостной глушитель 107  
Жидкостной клапан 100  
Жидкость 150, 160, 168, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 197  
  
Забивка 171, 179  
Забивка смазочного канала 148  
Забивка точки смазки 149  
Забивка фильтрующего мата 149  
Зависимость вязкости от давления 55  
Зависимость вязкости от температуры 53, 54  
Зависимость ограничений 116  
Завихрение 25  
Завод-изготовитель гидравлического оборудования 37  
Завод-изготовитель жидкости 347  
Завышенный расчёт фильтра 196  
Загиб 298, 303  
Загрязнение 37, 156, 158, 168, 174, 179, 182, 184, 196  
Загрязнение гидравлической системы извне 148  
Загрязнение гидравлической установки снаружи 148  
Загрязнение грубыми частицами 180  
Загрязнение зазора 148  
Загрязнение микроскопическими частицами 346  
Загрязнение окружающей среды 167, 191









- Общая оценка фильтровального элемента ..... 162  
Общая поглотительная способность загрязнений ..... 162  
Общая работоспособность ..... 151  
Общее гидравлическое сопротивление ..... 187, 188  
Общий КПД ..... 25, 41  
Объединённая Техническая инспекция TÜV (ФРГ) ..... 135  
Объём ..... 108  
Объём газа ..... 108  
Объём ёмкости ..... 20, 41  
Объёмный ..... 25, 39  
Объёмный поток ..... 16, 20, 25, 29, 34, 48,  
..... 181, 182, 184, 187, 188, 191, 192  
Объёмный поток, подаваемый насосом ..... 187  
Объёмн. поток, проходящ. через фильтр на байпасе ..... 189  
Объёмный расход насоса ..... 187  
Ограничение ..... 27, 36, 114  
Ограничение затрат ..... 147  
Одинарный фильтр ..... 178  
Однокомпонентная система ..... 315, 318, 319  
Однокомпонентное покрытие на основе полиуретана-  
цинковой пыли ..... 314  
Окалина ..... 150  
Окончание работ по промывке ..... 150  
Окончательное покрытие ..... 315, 319  
Опасность несчастного случая ..... 354  
Операторная ..... 166  
Опережающее управление ..... 233  
Опломбированный ..... 342  
Опора ..... 285, 307  
Опорная конструкция ..... 286  
Опорная рама ..... 211  
Оправка ..... 300  
Опросный лист ..... 18  
Определение веса ..... 174  
Определение времени пробега детали ..... 161  
Определение класса загрязнений ..... 174  
Определение размера ..... 187  
Определение размера фильтра ..... 172, 188, 189  
Определение типоразмера фильтра ..... 173, 184, 187  
Определение тонкости фильтрации ..... 147, 157, 184, 192  
Определяемая величина ..... 255  
Оптико-электрическая индикация ..... 166  
Оптимальное значение ..... 20, 38  
Оптимизация ..... 341  
Оптическая индикация ..... 166  
Опыт ..... 178  
Ориентировочное значение ..... 20, 22, 41  
Основание ..... 317  
Основное положение расчёта фильтров ..... 181  
Основной вариант ..... 172  
Основной насос ..... 340  
Основной подаваемый поток ..... 31  
Основные группы фильтров ..... 152  
Оставшаяся жидкость ..... 197  
Останов ..... 345  
Остатки упаковки ..... 150  
Остаточное загрязнение ..... 197  
Остаточное количество ..... 177  
Остаточные напряжения после сварки ..... 208  
Осушитель ..... 329  
Осушительная камера ..... 168  
Отбираемая мощность ..... 25  
Отбор жидкости ..... 177  
Отбор проб ..... 176, 177, 196, 347  
Отбор проб жидкости ..... 177  
Отбойник ..... 56  
Отверстие в цилиндре под поршень ..... 23  
Отвод загрязнений ..... 187  
Отвод тепла ..... 37  
Отделение воздуха ..... 37  
Отделение твёрдых частиц ..... 151  
Отказ ..... 345  
Отказ детали ..... 148, 149, 182  
Отказ деталей ..... 148, 149, 182  
Отказ компонентов гидравлических систем ..... 179  
Отложение ..... 346  
Отложения на днище ..... 346  
Отмывка мокрых фильтров ..... 168  
Отношение ..... 35  
Отпираемое сечение ..... 48  
Отражение в помещении ..... 227  
Отражение звука ..... 230  
Отражение звуковых волн ..... 227  
Отрицательное воздействие ..... 227  
Отрицательный пик давления ..... 182  
Отсечная заслонка ..... 294  
Отход поршня ..... 22  
Отыскание помех ..... 341, 350  
Охлаждающая вода ..... 346  
Охлаждающая способность ..... 20, 41  
Охлаждающий воздух ..... 346  
Охлаждение ..... 28, 37  
Охрана окружающей среды ..... 172  
Оценка ..... 225  
Оценка образцов ..... 177  
Оценка образцов жидкости ..... 151  
Оценка соотношения "цена/производительность" ..... 162  
Оцинкование напылением ..... 208  
Очистительная жидкость ..... 350  
Очистительная установка ..... 182  
Очистительный фильтр ..... 156  
Очистка ..... 302  
Очистка в ультразвуковой ванне ..... 152  
Очистка фильтров ..... 154  
Падение давления ..... 160  
Падение давления на элементе ..... 184  
Параллельная схема местных сопротивлений ..... 237  
Параметр износа ..... 149  
Параметр состояния ..... 109  
Парафиновое базовое масло ..... 52  
Паровая турбина ..... 172  
Пассивирование ..... 301  
Патрон фильтра ..... 197  
Пенообразование ..... 56  
Периодический ..... 28, 37  
Периодичность технического обслуживания ..... 151, 162  
Перегрузка ..... 31, 32, 36  
Передача команд ..... 15  
Передвижные байпасирующие агрегаты ..... 196  
Переключающий контакт ..... 167  
Перелив ..... 168  
Перемычка передачи механического шума ..... 228, 238  
Переналадка ..... 189  
Перепад давления ..... 25, 33, 166, 180  
..... 154, 156, 157, 161, 162, 166, 171, 178, 179, 193, 347  
Перепад давления на зазоре ..... 149  
Перепад давления на запирание ..... 342



Почтовое отправление	329
Правила внутреннего распорядка в производственных помещениях	223
Правила по технике безопасности	125, 133, 223
Правила приёмки	142
Правила техники безопасности	293
Практические примеры	193, 194, 195
Практические примеры расчёта фильтра	193, 194, 195
Превращение	15
Превышение давления	135
Предварительная ванна	168
Предварительная ёмкость для масла	168
Предварительная калькуляция	38, 46
Предварительное давление заполнения	108
Предварительное давление наполняемого газа	348
Предварительное испытание	125
Предел длительной прочности	184
Предел длительной прочности при знакопеременных нагрузках	260
Предел длительной усталостной прочности	
при знакопеременных нагрузках	259
Предел производительности	41
Предельная частота	27
Предельное загрязнение	349
Предельное количество знакопеременных нагрузок	258
Предохранительный клапан	135, 184
Предохранительный клапан на аккумуляторе	135
Предохранительный фильтр	152, 154, 178, 181, 182, 184
Предписание	350
Предполагаемый срок пробега	36
Преимущества и недостатки всасывающего фильтра	178
Преимущества и недостатки конструкции фильтра	168
Преимущества и недостатки напорных фильтров	178
Преимущества и недостатки фильтров на байпасе	178
Преимущества и недостатки фильтров на возвратных линиях	178
Преимущества многослойн. элемента "Бетамикрон"®	159
Преимущество фильтрации на байпасе	182
Прерывание производства	151
Пресс	172, 187
Пресс для переработки пластмасс	18
Пресс-фильтр	349
Прецisionная стальная труба	256
Прибавка к толщине стенки	262
Прибавка на износ	263
Прибор контроля уровня	341
Приварной конус	279, 301
Привод	15, 29, 30, 35, 48
Приводная машина	32
Приводная система	26, 28, 30
Приводная часть со стороны машины	48
Приводной агрегат	37
Приводной элемент	15
Пригоночный инструмент	353
Приёмка	20
Применение	35
Пример	18, 20, 35
Примеры расчёта фильтров	193, 194, 195
Примеси	192
Примесь	171
Присадка	52, 53
Присадка для повышения индекса вязкости	52
Притирка	347
Причина, вызывающая заедание поршня	149
Причина коробления	149
Причина отказа	147
Причина потерь	23
Принудительная вентиляция	167
Принцип действия	27
Принцип конструкции	23, 208
Принципиальная схема	350
Пробоотборное устройство	177
Пробоотборный баллон	177
Проблема	16, 29
Проблема спряжений	38
Проблема утечки	15
Проварка корня шва	301
Проведение испытаний на тонкость фильтрации	156
Проверяемые позиции	345, 346
Проволока из нержавеющей стали	154
Проволочная сетка	196
Проволочная сетка из нержавеющей стали	192
Проволочный витой корпус	196
Продолжительность	29
Продолжительность эксплуатации	
	15, 20, 37, 160, 182, 196, 342, 345
Продолжительность контакта	171
Продолжительность останова	178, 182
Продолжительность промывки	150
Продолжительность такта	48
Продолжительность транспортировки	329
Продолжительный шум	340
Продольный изгиб	23
Продукт окисления	151, 347
Проект	38
Проектирование	15, 16, 18, 27, 37, 38, 275
Проектирование гидравлических систем	147
Проектные затраты	38
Произведение давления на объём ёмкости	125, 133
Производительность	15, 23, 29, 30,
	31, 32, 33, 34, 35, 37, 41, 48, 69
Производительность байпасной фильтровальной установки	182
Производительность, значение	191
Производительность насоса	29, 30, 184, 191
Производительность по поглощению загрязнений	
	151, 152, 154, 156, 159, 161, 178, 182, 352
Производительность по сырью	147
Производственная безопасность	37, 151
Производственные помехи	168
Производственные условия	22, 23, 37, 38
Производственный процесс	16, 26, 27
Промывочная плитка	197
Промывочный фильтр	150
Промывочный агрегат	310
Промывочный клапан	31, 197
Промывка	148, 150, 310, 340, 346
Промывка всей установки	197
Промывка гидравлической установки	197
Промывка комплектной установки	197
Промывка после ремонта	197
Промышленное загрязнение	158
Промышленный стетоскоп	351
Проникающее загрязнение	151
Пропорционально	27
Пространство для демонтажа	196
Пространство для демонтажа элемента	196
Пространство для монтажа	30, 158



- Регулирование во вторичном контуре ..... 32  
Регулирование дросселированием ..... 29  
Регулирование по давлению ..... 33  
Регулирование по нагрузке ..... 30, 34, 346  
Регулирование по потребителю ..... 30, 35  
Регулирование числа оборотов ..... 30, 35  
Регулировочное устройство ..... 37  
Регулируемость ..... 31  
Регулируемый насос ..... 29, 31, 32, 34, 37  
Регулирующее устройство ..... 172  
Регулирующий клапан ..... 148, 192  
Редуктор ..... 31, 32  
Режим всасывания ..... 31  
Режим неполной нагрузки ..... 36  
Режим подсоса ..... 32  
Режим работы ..... 22, 133  
Режим работы при смене элементов ..... 197  
Режим эксплуатации ..... 23  
Режимный параметр ..... 108  
Режущая кромка ..... 280  
Резина на основе бутил-каучука ..... 62  
Резина на основе нитрильного каучука ..... 62  
Резина на основе стирол-бутадиенового каучука ..... 62  
Резина на основе этилен-пропилен-диенового каучука ..... 62  
Резиновый компенсатор ..... 294  
Резьбовая арматура ..... 288  
Резьбовое отверстие ..... 280  
Резьбовое соединение ..... 277  
Резьбовое соединение с врезными кольцами ..... 277  
Резьбовое соединение с отбортовкой ..... 278  
Резерв ..... 345  
Резерв срока эксплуатации ..... 161  
Резонансная частота ..... 241  
Рекомендации для расчёта ..... 115  
Рекомендация ..... 37  
Рекомендуемое падение давления ..... 184  
Реле давления ..... 355  
Ремонт ..... 345  
Ремонт сервоклапанов ..... 353  
Ремонтные затраты ..... 151, 179, 182  
Ремонтные работы ..... 150  
Ремонтный вагончик ..... 297  
Решение проблемы ..... 16  
Ржавчина ..... 150  
Риск ..... 38  
Ручная сварка ..... 301  
  
Сапун ..... 105  
Свариваемость ..... 201  
Сварка вольфрамовым электродом в инертном газе ..... 301  
Сварка металлическим электродом в инертном газе ..... 301  
Сварка под флюсом ..... 301  
Сварной шов ..... 204  
Сварной шов встык ..... 204  
Сварные соединения ..... 208, 300  
Сварочные брызги ..... 150  
Сведения по гидравлике ..... 342  
Сверхтонкая фильтрация ..... 178  
Сверхтонкий фильтр ..... 151, 154  
Свистковый глушитель ..... 244  
Свободная фильтровальная поверхность ..... 152  
Свойства многослойного элемента "Бетамикрон"® ..... 160  
Свойства фильтровальных элементов ..... 155  
  
Свойство ..... 23, 52  
Связь ..... 19, 25  
Сдвоенное врезное кольцо ..... 277, 278  
Сдвоенный дросселирующий обратный клапан ..... 353  
Седельный клапан ..... 148  
Седло конических клапанов ..... 148  
Сельскохозяйственное оборудование ..... 187  
Сепарационная производительность ..... 161, 157, 178  
Сепарация ..... 154  
Серводвигатель регулировочного механизма ..... 32  
Сервоклапан ..... 147, 150, 178, 182, 180, 184, 192, 340, 351  
Сервоцилиндр ..... 22, 184  
Серийный гидравлический фильтр ..... 172  
Серийный испытательный стенд ..... 182  
Серийный фильтр ..... 172, 173  
Серия по давлению ..... 257  
Сеть гидравлической жидкости ..... 29  
Сечение трубопровода ..... 41  
Сечение трубы ..... 20  
Сжимаемость ..... 15, 35, 55  
Сила трения ..... 22  
Сила тяжести ..... 22  
Силикагель ..... 168  
Силикат ..... 347  
Силовой поток ..... 238  
Символ опасного груза ..... 336  
Синтетическая гидравлическая жидкость ..... 171, 172  
Система упаковки ..... 329  
Система ..... 20, 23, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 38, 39, 41, 46, 182  
Система впрыска ..... 156  
Система впрыска загрязнений ..... 156  
Система измерения ..... 27  
Система испытаний на тонкость фильтрации ..... 156  
Система классификации ..... 174, 176  
Система материалов покрытия ..... 315  
Система обратной связи по давлению нагрузки ..... 34  
Система охлаждения ..... 41  
Система привода со стороны ведомой машины ..... 26  
Система промывки возвратных линий ..... 152  
Система регулирования ..... 23  
Система с постоянным давлением ..... 29  
Система трубопроводов ..... 339, 346, 348  
Система уплотнения ..... 103  
Система управления от потребителя ..... 35  
Система управления по расходу ..... 31  
Система управления при помощи дросселирования ..... 33, 34  
Система управл. с насосом перемен. производительн. ..... 34  
Система управления с нерегулируемым насосом ..... 34  
Система управления с нерегулируемым насосом и регулируемым двигателем ..... 30  
Система управления с регулируемым насосом и нерегулируемым двигателем ..... 31  
Система управления с регулируемым насосом и регулируемым двигателем ..... 32  
Систематизированный порядок действий ..... 205  
Складские затраты ..... 38  
Скопление частиц твёрдого вещества ..... 148  
Скопление швов ..... 208  
Скорость ..... 15, 20, 22, 25, 27, 35, 341  
Скорость всасывания ..... 61  
Скорость движения воды ..... 346  
Скорость движения поршня ..... 22  
Скорость нарастания давления ..... 340



- Тепло потерять мощности ..... 37  
Тепловое значение ..... 74  
Тепловой баланс ..... 83  
Тепловой поток ..... 69, 70, 71  
Тепловой режим ..... 37, 70, 83  
Теплообмен ..... 37, 108, 109  
Теплообменник ..... 16, 70, 156, 346  
Теплообменник с перекрёстным током ..... 74  
Теплообразование ..... 346  
Теплоотдача ..... 70, 72, 346  
Теплопередача ..... 70  
Теплопроводность ..... 71  
Теплота ..... 33, 41  
Термическое сопротивление ..... 72  
Термометр ..... 87, 351  
Терmostat ..... 87  
Теряемая мощность ..... 30, 41, 81, 348  
Техническое обслуживание ..... 37, 179, 187, 196, 345  
Техническое обслуживание гидравлич. фильтров ..... 196  
Технический уход ..... 187  
Течение времени ..... 178  
Тип привода ..... 29  
Тип установки ..... 20, 41  
Типоразмер ..... 20, 22, 23, 32, 37, 39, 182  
Типоразмер клапана ..... 41  
Типоразмер фильтра ..... 173, 184, 187, 188, 189, 191, 192  
Ткань ..... 168  
Тонкая фильтрация ..... 180  
Тонкий фильтр ..... 154  
Толщина стенки ..... 71  
Тонкость фильтрации ..... 150, 152, 154, 156, 162, 168, 172, ..... 173, 178, 179, 181, 182, 189, 191, 196, 197, 340  
Тонкость фильтрации абсолютная/номинальная ..... 157  
Тонкость фильтрации вентиляционных фильтров ..... 167  
Тонкость фильтрации системы ..... 184  
Топливный фильтр ..... 154  
Торможение ..... 32  
Точечная коррозия ..... 348  
Точка замера давления ..... 347  
Точка срабатывания ..... 166  
Точность вывода в заданное положение ..... 22  
Точность замера ..... 27  
Транспорт ..... 329  
Транспортировочная проушина ..... 333  
Транспортируемая среда ..... 37  
Транспортная цепочка ..... 349  
Транспортное средство ..... 187, 214, 329  
Требуемая энергия ..... 114  
Требуемый момент усилий ..... 18  
Требование ..... 16  
Требование к вентиляционным фильтрам ..... 168  
Требование к гидрофильтру ..... 152  
Требования к гидравлическому фильтру ..... 152  
Требование к корпусу фильтра ..... 163  
Трение ..... 20, 22, 25, 48  
Трение в трубе ..... 264  
Треск ..... 340  
Трикотажное полотно ..... 168  
Трогающий пуск ..... 340  
Труба ..... 15, 41, 48  
Трубопровод ..... 15, 16, 41  
Трубопровод насоса ..... 33  
Трубное соединение ..... 276  
Трубы ..... 276
- Трудновоспламеняющаяся гидравлическая жидкость ..... 171, 172, 173, 187, 192, 196  
Трудновосплам. гидравлич. жидкость HFA ..... 57, 58, 347  
Трудновосплам. гидравлич. жидкость HFB ..... 58, 347  
Трудновосплам. гидравлич. жидкость HFC ..... 58, 59, 347  
Трудновосплам. гидравлич. жидкость HFD ..... 60, 347  
Трудновоспламеняющаяся жидкость ..... 187, 192, 196  
Трудновоспламеняемая рабочая жидкость ..... 192  
Трудновоспламеняемость ..... 57  
Тщательность ..... 178
- Увеличение зазора ..... 345  
Увеличение утечки за счёт действия твёрдых частиц ..... 149  
Угловое ускорение ..... 23  
Угловой сварной шов ..... 204, 283  
Угол расчаливания ..... 211  
Удаление хромирования ..... 352  
Удельная нагрузка на поверхность ..... 189, 191  
Удельная поглотительная способность ..... 162  
Удобный для ремонта ..... 37  
Удобный для технического обслуживания ..... 37  
Удобство обслуживания ..... 34  
Узел ..... 35  
Узел отбора мощности ..... 22  
Узел фильтрования ..... 182  
Указание по ремонту ..... 196  
Указания заводу-изготовителю гидроагрегата ..... 196  
Указательная табличка ..... 350  
Ультразвуковая ванна ..... 152  
Универсальное гидравлическое масло ..... 48  
Универсальный измерительный прибор ..... 341  
Упаковка ..... 330  
Уплотнение ..... 22, 61, 151, 172, 197  
Уплотнение поршня ..... 103  
Уплотняющая поверхность ..... 197  
Уплотняющий материал ..... 196  
Уплотняющий элемент ..... 345  
Управление ..... 16, 26, 27, 28, 33, 34  
Управление машинного оборудования ..... 166  
Управление насоса ..... 31, 32  
Управление при помощи дросселирования ..... 33  
Управляющая кромка ..... 151, 345  
Управляющая электроника ..... 353  
Управляющий клапан ..... 148  
Управляющий орган ..... 15  
Управляющий прибор ..... 346  
Уравнение Барлова ..... 262  
Уравнение неразрывности ..... 20  
Уравнение состояния ..... 109  
Уравнения расчёта ..... 258  
Уровень в ёмкости для гидравлической жидкости ..... 167  
Уровень давления ..... 20, 26  
Уровень звукового давления ..... 225  
Уровень звуковой мощности ..... 225  
Уровень жидкости ..... 346  
Уровень квалификации ..... 345  
Уровень рабочего давления ..... 20  
Усилие ..... 15, 18, 20, 22, 23, 27, 32, 48  
Усилие, действующее на поршень ..... 23  
Усилие разгона ..... 22  
Усилие среза ..... 347  
Усилий модуль ..... 341  
Условие испытаний ..... 156  
Условие охраны окружающей среды ..... 172





Настоящий учебный и информационный справочник, выпущенный фирмой  
"Маннесманн Рексрот", включает в себя следующие основные разделы:

Проектирование гидравлических систем • Гидравлические жидкости • Тепловой режим  
гидравлических систем • Гидравлические аккумуляторы • Правила и предписания по тех-  
нике безопасности при эксплуатации гидравлических аккумуляторов на гидравлических  
установках • Фильтрация на гидравлических установках • Конструкция металлических  
элементов гидравлических агрегатов • Мероприятия по снижению шума • Расчёт и выбор  
трубопроводов для гидравлических систем • Изготовление и монтаж трубопроводов  
гидравлических систем • Консервация внутренних поверхностей гидравлических уст-  
ройств и гидравлических агрегатов • Антикоррозионная защита наружных поверхностей  
при помощи покрытий • Упаковка и транспортировка • Пуск гидравлических установок  
• Ремонт гидравлических установок

В серии "Учебный курс по гидравлике" вышли в свет:  
"Основы гидравлики и компоненты гидравлических систем"  
Учебный курс по гидравлике, том 1  
"Сервоклапаны и клапаны пропорционального регулирования"  
Учебный курс по гидравлике, том 2  
"Проектирование и сооружение гидроустановок"  
Учебный курс по гидравлике, том 3  
"Двухпозиционные встроенные клапаны"  
Учебный курс по гидравлике, том 4

**Mannesmann Rexroth GmbH • D 8770 Lohr am Main • Postfach 340 • Tel.: 0 93 52/18 0**