

Таблица 19.10

**Фланцы для аппаратов стальные приварные встык под прокладку восьмиугольного сечения (рис.19.5),  
ГОСТ 28759.4—90**

D, мм	$p_u$ , МПа	Размеры, мм												Число отверстий
		$D_0$	$D_E$	$D_1$	$D_2$	$D_4$	$D_5$	$h$	$H$	$h_1$	$a$	$R$	$d$	
400	6,4	590	530	430	490	428	460	70	120	8	7	1,6	33	20
	8,0	620	555	475	516	436	472	70	135	8	7	1,6	33	24
	10,0	630	565	475	526	442	484	76	155	8	7	1,6	33	24
	16,0	715	630	475	578	462	526	104	220	12	10	2,4	46	20
450	6,4	640	580	510	540	478	510	75	120	8	7	1,6	33	20
	8,0	675	610	525	571	488	528	72	145	8	9	1,6	33	24
	10,0	690	625	525	588	496	542	84	170	8	9	1,6	33	24
	16,0	775	690	525	638	518	586	110	235	13	12	2,4	46	20
500	6,4	695	635	560	590	532	568	75	130	8	7	1,6	33	24
	8,0	735	670	575	631	542	586	76	155	10	9	1,6	33	28
	10,0	750	685	575	646	550	602	88	185	10	9	1,6	33	28
	16,0	840	755	575	703	576	652	115	255	15	13	2,4	46	24
600	6,4	820	750	685	710	640	680	85	145	8	9	1,6	33	28
	8,0	845	780	675	741	648	698	85	175	12	9	1,6	33	32
	10,0	885	810	675	762	658	718	102	210	12	9	1,6	40	28
	16,0	985	890	675	832	688	776	130	290	15	15	2,4	52	24
700	6,4	945	875	785	825	744	792	95	165	8	9	1,6	40	28
	8,0	980	905	775	859	754	812	95	200	12	10	1,6	40	32
	10,0	1020	935	775	883	766	832	116	240	12	10	1,6	46	28
	16,0	1140	1030	790	962	800	902	152	340	17	20	2,4	60	24
800	6,4	1055	985	890	935	848	904	95	180	12	9	1,6	40	36
	8,0	1095	1020	875	974	860	924	106	225	13	12	2,4	40	36
	10,0	1140	1055	875	1003	874	950	125	265	13	12	2,4	46	32
	16,0	1290	1170	910	1094	914	1030	175	390	19	23	2,4	70	24
900	6,4	1180	1110	1025	1060	952	1020	105	205	12	9	1,6	40	40
	8,0	1230	1145	990	1093	968	1038	122	250	15	15	2,4	46	36
	10,0	1275	1180	990	1122	982	1064	145	295	15	15	2,4	52	32
	16,0	1485	1300	1015	1220	1028	1156	188	425	21	25	2,4	74	28
1000	6,4	1300	1220	1070	1165	1056	1126	115	220	13	12	2,4	46	40
	8,0	1340	1255	1090	1203	1074	1152	130	270	16	16	2,4	46	40
	10,0	1390	1295	1090	1237	1090	1180	156	325	16	16	2,4	52	36
	16,0	1550	1425	1120	1345	1140	1280	200	460	22	26	2,4	74	32

## Продолжение табл. 19.10

D, мм	$p_y$ , МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_\Phi$	$D_5$	$D_1$	$D_2$	$D_4$	$D_5$	h	H	$h_1$	a	R	d	
1100	6,4	1410	1330	1170	1275	1164	1236	125	230	13	12	2,4	46	44
	8,0	1475	1380	1190	1322	1180	1264	142	296	16	19		52	40
	10,0	1525	1420	1190	1358	1198	1298	170	355	16	19		58	36
	16,0	1695	1560	1235	1472	1252	1404	222	500	23	29		82	32
1200	6,4	1520	1440	1280	1385	1268	1346	130	245	15	13	2,4	46	48
	8,0	1590	1495	1290	1437	1286	1376	148	310	17	20		52	44
	10,0	1645	1535	1290	1469	1304	1408	180	370	17	20		60	40
	16,0	1840	1695	1350	1603	1366	1532	238	545	25	31		86	32
1300	6,4	1655	1565	1365	1485	1372	1456	135	260	15	13	2,4	52	48
	8,0	1700	1605	1400	1547	1392	1488	158	335	19	23		52	48
	10,0	1760	1650	1400	1584	1412	1524	194	400	19	23		58	44
1400	6,4	1770	1675	1460	1610	1476	1562	155	285	16	16	2,4	58	44
	8,0	1825	1720	1500	1658	1498	1598	172	355	20	24		58	48
	10,0	1890	1775	1500	1703	1520	1640	205	425	20	24		66	44
1500	6,4	1880	1785	1600	1720	1580	1672	155	290	16	19	2,4	58	52
	8,0	1950	1840	1610	1774	1604	1710	186	380	22	26		60	48
	10,0	2015	1895	1610	1819	1628	1756	222	460	22	26		70	44
1600	6,4	1990	1900	1705	1835	1686	1784	160	305	16	19	2,4	58	56
	8,0	2060	1950	1710	1884	1710	1820	196	410	22	26		60	52

Приложения. 1. Фланец диаметром 450 мм применяется для люков. 2. Фланцы диаметром 1300 и 1500 мм применяются для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой. 3. Диаметр резьбы шпилек  $d_s$  для всех фланцев при соответствующих  $d$ :

$d$ , мм	3	40	46	52	58	60	66	70	74	82	86
$d_s$ , мм	M33	M36	M42	M48	M52	M56	M60	M64	M68	M76	M80

Пример условного обозначения фланца для аппарата исполнения 1 диаметром 1200 мм на  $p_y = 6,4$  МПа:

Фланец 1-1200-64 ГОСТ 28759.4-90.

Таблица 19.11

**Рекомендуемые материалы для крепежных деталей стандартных фланцевых соединений аппаратов,  
ОСТ 26-429 - 79**

Крепежные детали	Максимально допустимые рабочие параметры		Максимально допустимый диаметр фланца $D_f$ , мм	Марки сталей для крепежных деталей	
	$p_y$ , МПа	$t$ , °C		Фланцы из углеродистых и легированных ста-лей	Фланцы из сталей аустенитного класса
Болты по ГОСТ 7798—70, ОСТ 26-2037—77; шпильки по ГОСТ 22032—76, ОСТ 26-2039—77	$\leq 2,5$	От —70 до —40	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90	20ХНЗА	—
	0,3		3600		
	0,6	От —40 * до +300	1500		
	1,0; 1,6		800	35; 40	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
	2,5		600		
Гайки по ГОСТ 5915—70, ОСТ 26-2038—77	$\leq 2,5$	От —70 до —40	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90	10Г2	—
		От —40 до +300		25; 30; 35; 40	—
		От —70 до +300		—	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
Шпильки по ОСТ 26-2040— 77, типы 1*** и 2	$\leq 16,0$	От —40 до +400 **	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90, ГОСТ 28759.4—90	35Х; 38ХА; 30ХМА	—
		От —40 до +450		—	37Х12Н8Г8МФ
		От —40 до +540		25Х2М1Ф; 20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1БР	08Х14Н20В2ТР; 18Х12ВМ6Ф
		От —70 до —40		20ХНЗА	—
Гайки по ОСТ 26-2041—77; шайбы **** по ГОСТ 9065— 75, ОСТ 26-2042—77	$\leq 16,0$	От —40 до +450	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90, ГОСТ 28759.4—90	35; 40	—
		От —40 до +400		—	37Х12Н8Г8МФ
		От —40 до +510		40Х; 30ХМА; 25Х1МФ	—
		От —40 до +540		—	45Х14Н14В2М; 12Х18Н10Т
		От —70 до —40		20ХНЗА; 10Г2	—

**Примечания.** 1. Допускается применение сталей других марок, не указанных в таблице, если их механические свойства не ниже, чем для сталей марок, приведенных в таблице. 2. Механические свойства болтов, шпилек, гаек и шайб должны соответствовать установленным в ГОСТ 1759—70 и ОСТ 26-2043—77.

\* Для фланцев из сталей аустенитного класса от —70 °C.

\*\* Для фланцев из сталей типа 15ХМ и 15Х5М до 300 °C.

\*\*\* Шпильки типа 1 применяются при температуре до 300 °C.

\*\*\*\* Шайбы устанавливаются под гайки для фланцев по ГОСТ 28759.4—90 при  $p_y > 6,4$  МПа.

## 19.2. Прокладки для герметизации фланцевых соединений

Для уплотнения во фланцевых соединениях применяются прокладки:

- 1) неметаллические, асбометаллические и комбинированные на соединительном выступе фланцев;
- 2) неметаллические и асбометаллические в уплотнении выступ—впадина;
- 3) неметаллические и асбометаллические в уплотнении шип—паз для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы);
- 4) металлические плоские в уплотнении шип—паз;
- 5) металлические овального и восьмиугольного сечений.

Указанные прокладки стандартизированы (рис. 19.6 и табл. 19.12—19.16).

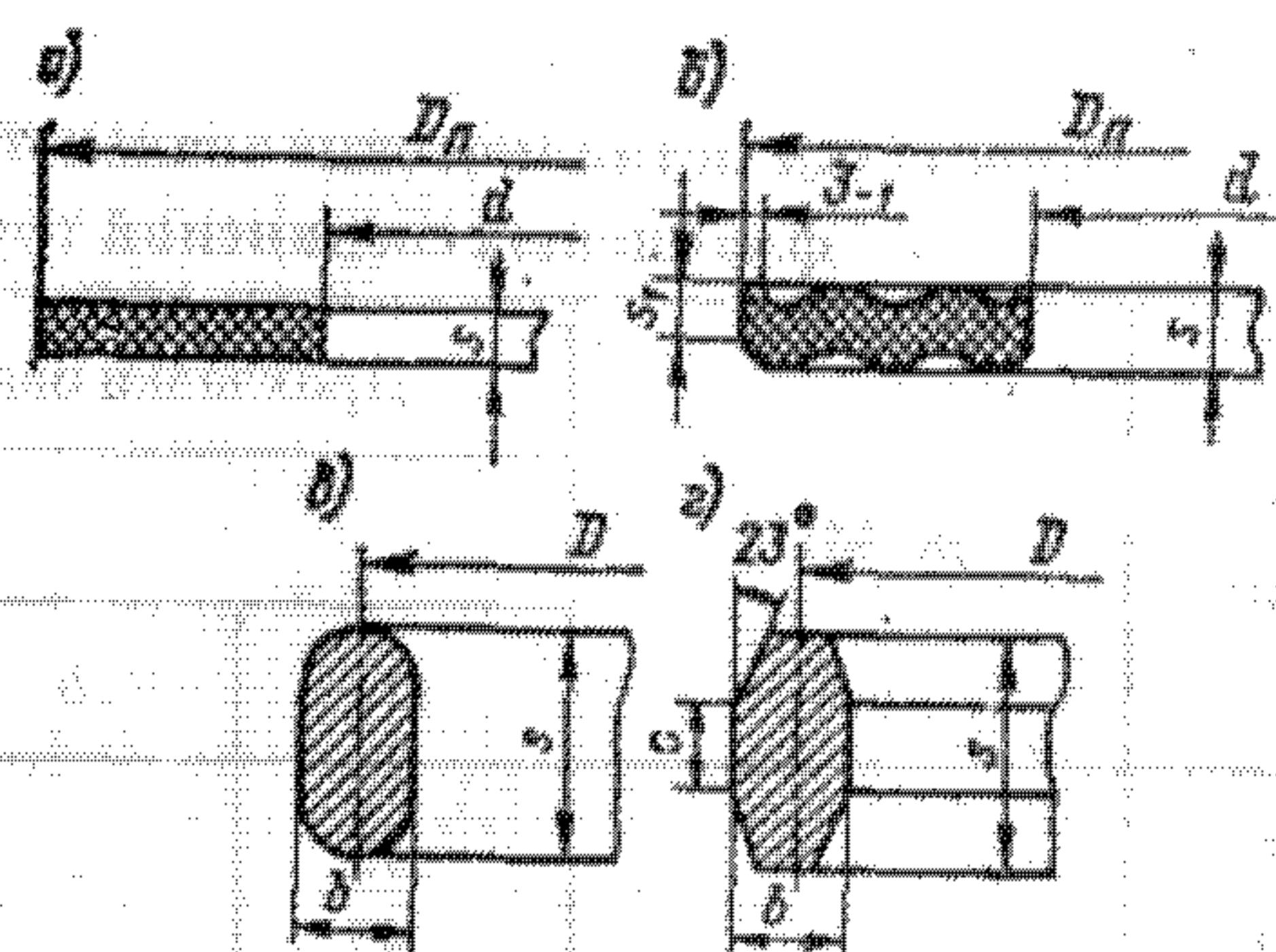


Рис. 19.6. Конструкции прокладок фланцевых соединений: *a* — плоская из неметаллических материалов ( $s \leq 2$  мм); *b* — асбометаллическая гофрированная с оболочкой из стали ( $s = 4,3$  мм;  $s_1 = 3,4$  мм) и с оболочкой из латуни или алюминия ( $s = 4,5$  мм;  $s_1 = 3,6$  мм); *c* — металлическая овального сечения; *d* — металлическая восьмиугольного сечения

Примечание: металлические прокладки овального сечения применяются только в старой арматуре.

Таблица 19.12

Прокладки плоские эластичные из паронита для стандартных фланцевых соединений труб и трубной арматуры (рис. 19.6, *a*), ГОСТ 15180—70

$D_y$ мм	$D_u$ , мм, для прокладок типа							$d$ , мм, для прокладок типа				
	A на $p_y$ , МПа							$B$ и $B'$ на $p_y$ , МПа	$A$ и $B$ на $p_y \leq 6,4$ МПа	$B$ на $p_y$ , МПа		
	$\leq 0,25$	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	$\leq 0,6$					
10	38	38	45	45	45	45	29	34	14	19	24	24
15	43	43	50	50	50	50	33	39	20	23	29	29
20	53	53	60	60	60	60	43	50	25	33	36	36
25	63	63	69	69	69	69	51	57	29	41	43	43
32	75	75	81	81	81	81	59	65	38	49	51	51
40	85	85	91	91	91	91	69	75	45	55	61	61
50	95	95	106	106	106	106	80	87	57	66	73	73
65	115	115	126	126	126	126	100	109	75	86	95	95
80	132	132	141	141	141	141	115	120	87	101	106	106
100	151	151	161	161	166	166	137	149	106	117	129	129
125	181	181	191	191	191	191	166	175	132	146	155	155
150	206	206	216	216	222	222	191	203	161	171	183	183
200	261	261	271	271	282	288	249	259	216	229	239	239
250	318	318	327	327	338	350	303	312	264	283	292	292
300	372	372	376	382	398	415	356	363	318	336	343	343
350	421	421	436	442	455	475	406	421	372	386	395	395
400	473	473	487	495	515	543	456	473	421	436	447	447
500	576	576	592	615	620	620	561	575	528	541	549	549
600	677	677	693	728	728	739	661	677	620	635	651	651
800	888	888	915	908	942	970	867	877	820	841	851	—
1000	1088	1088	1125	1122	1150	—	—	—	1020	—	—	—
1200	1288	1288	1305	1338	1334	1360	—	—	1220	—	—	—

Примечания. 1. Прокладки типа *A* — для фланцев с соединительным выступом (см. рис. 19.1, *a*; 19.2, *a* и табл. 19.2, 19.3), прокладки типа *B* — для фланцев с выступом и впадиной (см. рис. 19.1, *b*—*d*; 19.2, *b*, *c* и табл. 19.2, 19.3), прокладки типа *B'* — для фланцев с шипом и пазом (см. рис. 19.2, *d*, *e* и табл. 19.2, 19.3). 2. Толщина всех прокладок  $s = 2$  мм.

Пример условного обозначения прокладки типа *B* для фланца с  $D_y = 100$  мм на  $p_y = 1,0$  МПа:

Прокладка *B*-100-10 ГОСТ 15180—70.

Таблица 19.13

**Прокладки металлические овального и восьмиугольного сечений для стандартных фланцевых соединений труб и трубной арматуры (рис. 19.6, в, г)**

$D_y$ , мм	$p_y$ , МПа	Прокладки овального сечения				Прокладки восьмиугольного сечения			
						Размеры, мм			
		$D$	$b$	$s$	$D$	$b$	$s$	$c$	
15		35							
20		45							
25	6,4; 10,0; 16,0	50	87	8	14				
32		65							
40		75							
50	6,4; 10,0 16,0	85							
		95							
65	6,4—16,0	110							
80	6,4; 10,0 16,0	115							
		130							
100	6,4; 10,0 16,0	145		11	18				
		160							
125	6,4; 10,0 16,0	175							
		190							
150	6,4; 10,0								
		205							
	16,0			13	20				
200	6,4; 10,0	265		11	18				
	16,0	275		16	22			10	
250	6,4; 10,0 16,0	320		11	18	—	—	—	
		330		16	22	330	16	22	
300	6,4 10,0	375		11	18	—	—	—	
						375	11	18	
	16,0	380		22	30	380	22	30	
350	6,4			11	18	—	—	—	
	10,0	420		16	22	420	16	22	
	16,0			22	30		22	30	
400	6,4			11	18	—	—	—	
	10,0	480		16	22	480	16	22	
	16,0			22	30		22	30	

Примечание: прокладки восьмиугольного сечения регламентированы ОСТ 26-432—79.

Таблица 19.14

**Прокладки из неметаллических материалов для стандартных фланцевых соединений стальных аппаратов (рис. 19.6, а), ОСТ 26-430 — 79**

D, мм	D <sub>п</sub> , мм, для прокладок исполнений 1 и 2 на р <sub>у</sub> , МПа							d, мм, для прокладок исполнения										
								1 на р <sub>у</sub> , МПа				2 на р <sub>у</sub> , МПа						
	0,3	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	0,3	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	0,3	0,6	1,0	1,6
400	443	443	457	457	457	457	457	418	418	432	432	432	428	428	413	413	427	427
450	493	493	513	513	513	507	507	468	468	488	488	488	478	478	463	463	483	483
500	543	543	563	563	563	557	557	518	518	538	538	538	528	528	513	513	533	533
550	593	593	613	613	—	—	—	568	568	588	588	—	—	—	563	563	565	565
600	643	643	663	663	663	657	669	617	617	637	637	637	627	639	613	613	633	633
650	693	693	713	713	—	—	—	667	667	687	687	—	—	—	663	663	683	683
700	743	743	763	763	773	757	774	717	717	737	737	747	727	744	713	713	733	733
800	841	841	865	865	875	869	884	815	815	839	839	849	831	846	811	811	835	835
900	951	951	965	965	977	969	989	925	925	939	939	951	931	951	921	921	935	935
1000	1051	1051	1065	1065	1079	1074	1094	1022	1022	1036	1036	1050	1036	1056	1021	1021	1029	1029
1100	1149	1149	1167	1167	1189	1189	1205	1120	1120	1138	1138	1160	1135	1151	1119	1119	1130	1130
1200	1247	1247	1267	1267	1295	1289	1309	1218	1218	1238	1238	1266	1235	1255	1217	1217	1230	1230
1300	1347	1347	1367	1367	1398	1388	1416	1318	1318	1338	1338	1371	1336	1364	1317	1317	1334	1334
1400	1447	1447	1469	1469	1504	1493	1520	1418	1418	1440	1440	1477	1441	1468	1417	1417	1434	1434
1500	1547	1547	1568	1580	1606	1602	1625	1516	1516	1539	1551	1576	1549	1572	1507	1507	1539	1539
1600	1646	1646	1680	1680	1706	1706	1730	1615	1615	1649	1649	1675	1653	1677	1607	1607	1638	1638
1700	1746	1746	1780	1780	—	—	—	1715	1715	1749	1749	—	—	—	1707	1707	1737	1737
1800	1846	1846	1880	1880	1908	—	—	1815	1815	1849	1849	1877	—	—	1807	1807	1837	1837
1900	1944	1944	1984	1984	—	—	—	1913	1913	1953	1953	—	—	—	1905	1905	1940	1940
2000	2044	2044	2084	2084	2114	—	—	2013	2013	2045	2045	2075	—	—	2005	2005	2040	2040
2200	2244	2244	2284	2284	—	—	—	2213	2213	2245	2245	—	—	—	2205	2205	2240	2240
2400	2444	2444	2488	2494	—	—	—	2413	2413	2449	2455	—	—	—	2405	2405	2450	2450
2600	2654	2654	2693	2698	—	—	—	2614	2614	2653	2658	—	—	—	2610	2610	2655	2655
2800	2854	2854	2893	2902	—	—	—	2814	2814	2853	2862	—	—	—	2810	2810	2851	2851
3000	3054	3054	3104	3104	—	—	—	3014	3014	3064	3064	—	—	—	3010	3010	3070	3070
3200	3254	3254	3304	3304	—	—	—	3214	3214	3254	3254	—	—	—	3210	3210	3260	3260
3400	3464	3484	3504	—	—	—	—	3424	3434	3454	—	—	—	3415	—	—	—	—
3600	3664	3684	3704	—	—	—	—	3624	3634	3654	—	—	—	3615	—	—	—	—
3800	3864	3894	3914	—	—	—	—	3824	3844	3864	—	—	—	3815	—	—	—	—
4000	4064	4104	4114	—	—	—	—	4024	4053	4063	—	—	—	4015	—	—	—	—

Примечания. 1. Материал прокладок: паронит по ГОСТ 481—71, резина по ГОСТ 7338—77, картон асбестовый по ГОСТ 2850—80, фторопласт-4 по ГОСТ 10007—80. 2. Прокладки исполнения 1 — для фланцев с уплотнительной поверхностью «выступ — впадина» и «шип — паз», исполнения 2 — для фланцев с гладкой уплотнительной поверхностью (сосдинительным выступом). 3. Толщина прокладок из паронита  $s = 2$  мм, из резины —  $s = 3$  мм.

Пример условного обозначения прокладки исполнения 1 для фланца диаметром 1000 мм, на  $p_y = 1,6$  МПа:

Прокладка 1-1000-16 ОСТ 26-430-79

Таблица 19.15

**Прокладки асбометаллические для стандартных  
фланцевых соединений стальных аппаратов  
(рис. 19.6, б) ОСТ 26-431 – 79**

$D_y$ , мм	$D_{\text{п}}, \text{мм, на } p_y, \text{ МПа}$						$d, \text{мм, на } p_y, \text{ МПа}$					
	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4		
400	457	457	457	457	457	433	433	433	429	429		
450	513	513	513	507	507	489	489	489	479	479		
500	563	563	563	557	557	539	539	539	529	529		
600	663	663	663	657	669	639	639	639	629	641		
700	763	763	773	757	774	739	739	749	729	746		
800	865	865	875	869	884	841	841	851	833	848		
900	965	965	977	969	989	941	941	953	933	953		
1000	1065	1065	1079	1074	1094	1037	1037	1051	1038	1058		
1100	1167	1167	1189	1189	1205	1139	1139	1161	1139	1155		
1200	1267	1267	1295	1289	1309	1237	1237	1267	1239	1259		
1300	1366	1366	1398	1388	1416	1338	1338	1370	1338	1366		
1400	1468	1468	1504	1493	1520	1442	1442	1476	1443	1470		
1500	1568	1580	1606	1602	1625	1540	1540	1574	1552	1575		
1600	1680	1680	1706	1706	1730	1648	1648	1674	1656	1680		
1700	1780	1780	—	—	—	1748	1748	—	—	—		
1800	1881	1881	1908	—	—	1849	1849	1876	—	—		
1900	1985	1985	—	—	—	1953	1953	—	—	—		
2000	2084	2084	2114	—	—	2044	2044	2074	—	—		
2200	2284	2284	—	—	—	2244	2244	—	—	—		
2400	2488	2488	—	—	—	2448	2448	—	—	—		
2600	2693	2698	—	—	—	2657	2662	—	—	—		
2800	2893	2902	—	—	—	2857	2866	—	—	—		
3000	3104	3104	—	—	—	3064	3064	—	—	—		
3200	3304	3304	—	—	—	3264	3264	—	—	—		
3400	3504	—	—	—	—	3464	—	—	—	—		
3600	3704	—	—	—	—	3664	—	—	—	—		
3800	3914	—	—	—	—	3874	—	—	—	—		
4000	4114	—	—	—	—	4074	—	—	—	—		

Приложения. 1. Прокладки применяются к фланцам по табл. 19.8. 2. Материал оболочек прокладок выбирают в зависимости от условий эксплуатации по следующей таблице:

Исполнение прокладки	Материал	Толщина оболочки, мм
1	Алюминий АД, ГОСТ 13726–97	0,3
2	Латунь Л63, ГОСТ 2208–91	0,3
3	Сталь ЮХ13М, ГОСТ 4986–79	0,2
4	Сталь 08Х18Н9М, ГОСТ 4986–79	0,2
5	Сталь 08Х18Н12БМ, ГОСТ 4986–79	0,2

Материал наполнителя прокладок: картон асбестовый по ГОСТ 2850–75 или бумага асбестовая по ГОСТ 23779–79.

Пример условного обозначения прокладки для фланцев диаметром 1400 мм на  $p_y = 2,5$  МПа:

Прокладка 1400-25 ОСТ 26-431–79.

Таблица 19.16

**Прокладки металлические восьмиугольного сечения для стандартных фланцевых соединений стальных аппаратов (рис. 19.6, г), ОСТ 26-432 - 79**

$D_y$ , мм	$p_y$ , МПа	Размеры, мм				$D_y$ , мм	$p_y$ , МПа	Размеры, мм			
		$D$	$s$	$b$	$c$			$D$	$s$	$b$	$c$
400	6,4	430	16	12	7	1000	6,4	1070	26	22	10
	8,0; 10,0	475	16	12	7		8,0; 10,0	1090	34	28	14
	16,0	475	25	20	9		16,0	1120	50	42	18
450	6,4	510	18	12	7	1100	6,4	1170	26	22	10
	8,0; 10,0	525	18	14	8		8,0; 10,0	1190	36	30	15
	16,0	525	26	22	10		16,0	1235	54	46	18
500	6,0	560	16	12	7	1200	6,4	1280	30	24	12
	8,0; 10,0	575	20	16	8		8,0; 10,0	1290	38	32	16
	16,0	575	30	24	12		16,0	1350	58	50	20
600	6,4	685	18	14	8	1300	6,4	1365	30	24	12
	8,0; 10,0	675	23	18	8		8,0; 10,0	1400	42	36	16
	16,0	675	32	26	13						
700	6,4	785	18	14	8	1400	6,4	1460	34	27	14
	8,0; 10,0	775	25	20	9		8,0; 10,0	1500	44	38	16
	16,0	790	38	32	16						
800	6,4	890	23	18	8	1500	6,4	1600	36	30	15
	8,0; 10,0	875	26	22	10		8,0; 10,0	1610	50	42	18
	16,0	910	42	36	16						
900	6,4	1025	23	18	8	1600	6,4	1705	36	30	15
	8,0; 10,0	990	32	26	13		8,0; 10,0	1710	50	42	18
	16,0	1015	48	40	24						

Примечания. 1. Материал прокладок:

Шифр	Материал
1	Сталь 08kp, ГОСТ 9045—93, и Э12, ГОСТ 11036—75
2	Сталь 08Х13, ГОСТ 5632—72
3	Сталь 08Х18Н10Т, ГОСТ 5632—72

2. Прокладки из высоколегированных и коррозионностойких сталей должны подвергаться термообработке.  
Пример условного обозначения прокладки для фланца диаметром 1200 мм на  $p_y = 8,0$  МПа из стали марки 08Х13:

Прокладка 1200-80-2 ОСТ 26-432-79.

### 19.3. Фланцевые бобышки

Присоединение трубной арматуры и труб к аппарату осуществляется большей частью с помощью фланцевых штуцеров, а когда штуцер по каким-либо соображениям применить невозможно или нецелесообразно (например, из-за отсутствия места и др.),

на аппарате приваривается фланцевая бобышка, которой непосредственно и присоединяется арматура или труба с соответствующим фланцем. Фланцевые бобышки стандартизированы (рис. 19.7 и табл. 19.17—19.19).

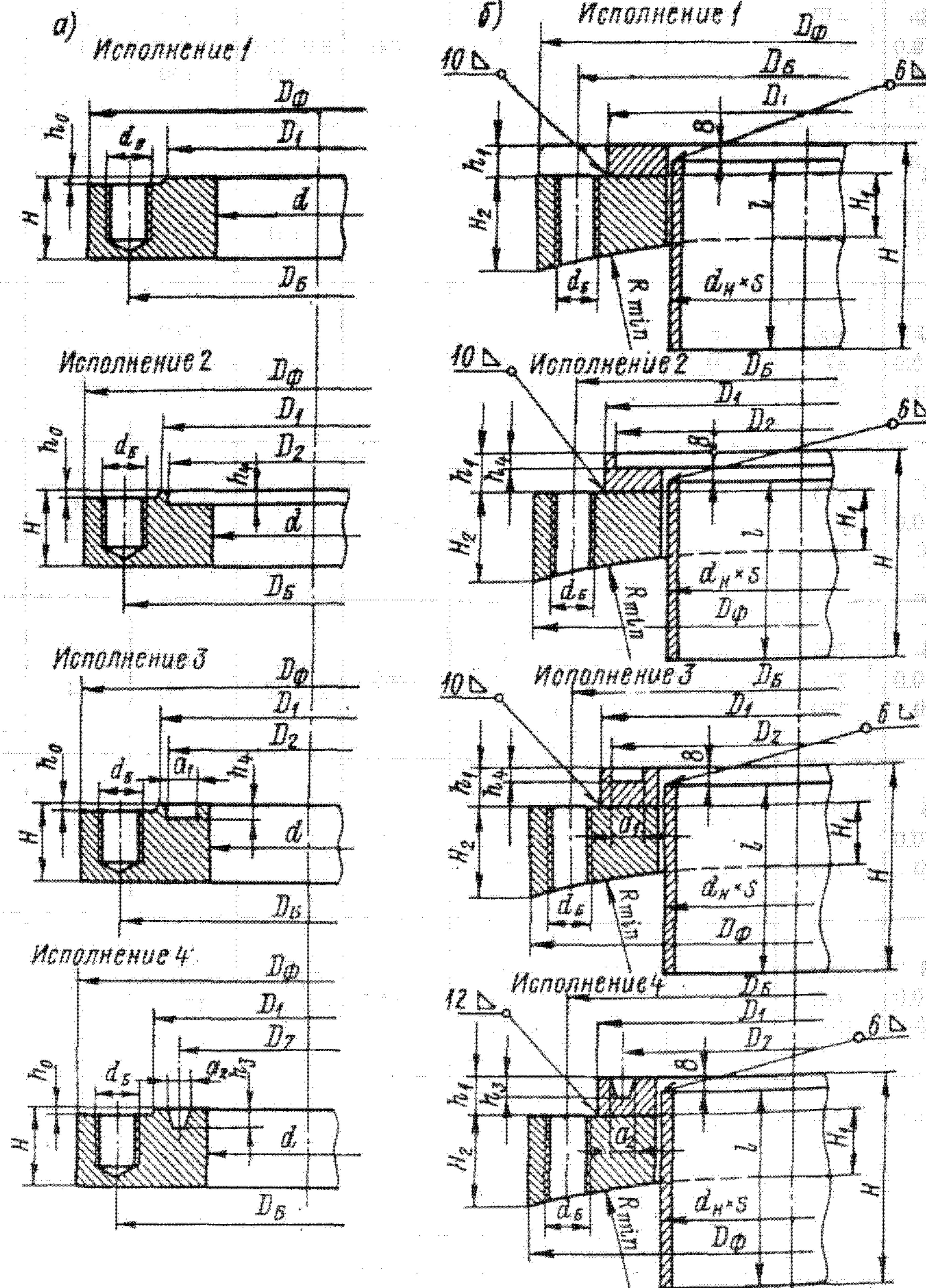


Рис. 19.7. Конструкции стандартных стальных приварных бобышек для присоединения трубной арматуры и труб по ОСТ 26-01-748-73: а — тип А, врезные (исполнения: 1 — с соединительным выступом; 2 — с впадиной; 3 — с пазом; 4 — под прокладку овального и восьмиугольного сечений); б — тип Б, накладные с приварным кольцом и втулкой (исполнения: 1 — с гладким кольцом; 2 — с впадиной на кольце; 3 — с пазом на кольце; 4 — под прокладку овального и восьмиугольного сечений)

Таблица 19.17

**Типы и параметры стандартных фланцевых бобышек стальных аппаратов  
(рис. 19.7), ОСТ 26-01-748 - 73**

Тип	Исполнение	Параметры		
		$D_y$ , мм	$p_y$ , МПа	$t_p$ , °C
А (врезные)	1	10—200	1,0; 1,6; 2,5	От —70 до +600
	2		2,5; 4,0; 6,4	
	3		1,0; 1,6; 2,5; 4,0	
	4		6,4	
Б (накладные)	1	50—200	1,0; 1,6; 2,5	От —70 до +425
	2		2,5; 4,0; 6,4	
	3		1,0; 1,6; 2,5; 4,0	
	4		6,4	

Таблица 19.18

**Стандартные стальные приварные фланцевые бобышки врезные  
(тип А) для трубной арматуры и труб  
(рис. 19.7, а, исполнения 1 – 4), ОСТ 26-01-748 - 73, мм**

$D_y$	$d$	$p_y$ , МПа							
		1,0; 1,6		2,5		4,0		6,4	
		$D$	$H$	$D$	$H$	$D$	$H$	$D$	$H$
10	8							400—1000	36
								1100—1500	50
								1600—2000	65
								2200—2600	85
15	12					400—1500	32		
						1600—1900	40		
						2000—2800	55	400—1000	36
						3000—4000	85	1100—1400	50
20	18	400—3800	32	400—2400	32	400—1400	32	1500—2000	65
				2600—3200	40	1600—1900	40	2200—2600	85
				3400—4000	50	2000—2800	55		
						3000—4000	85		
25	25					400—1400	32	400—1100	40
						1500—1900	40	1200—1600	55
						2000—2800	55	1700—2000	70
						3000—4000	85	2200—2600	85
32	31					400—1600	36		
						1700—2200	45	400—1400	50
						2400—3200	65	1500—1900	65
						3400—4000	85	2000—2600	85
40	38	400—4000	36	400—2800	36				
				3000—4000	50				

## Продолжение табл. 19.18

$D_y$	$d$	$p_y, \text{ МПа}$							
		1,0; 1,6		2,5		4,0		6,4	
		$D$	$H$	$D$	$H$	$D$	$H$	$D$	$H$
50	49					400—1600 1700—2200 2400—3200 3400—4000	36 45 65 85	400—1300 1400—1900 2000—2600	50 65 85
65	66			400—2600 2800—4000	36 50	400—1500 1600—2000 2200—3200 3400—4000	36 45 65 85	400—1300 1400—1800 1900—2600	50 65 85
80	78	400—4000	36			400—1400 1500—2000 2200—3200 3400—4000	36 45 65 85		
100	96			400—3400 3600—4000	45 55	400—2200 2400—3200 3400—4000	50 65 85	400 450—1800 1900—2400	55 65 85
125	121	500—4000	36	450—4000	55	450—2000 2200—2800 3000—4000	55 65 85	400; 450 500; 550 600—1200 1300—1800 1900—2400	70 60 70 85
150	146	550—4000	45	550—4000	55	400; 450 500; 550 600—1500 1600—2800 3000—3800	85 65 55 65 85	500—600 650—1400 1500—2200	85 70 85
200	202	800—4000 * 650; 700** 800—2200 ** 2400—3800 **	45 55 45 55	600—700 800—2000 2200—4000	70 55 70	600—700 800—1600 1700—3800	85 65 85	800—1500	85

Примечания. 1. Значения  $D_a$ ,  $D_b$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $a_1$ ,  $h_0$ ,  $h_4$ ,  $d_b$  и  $z$  (число болтов или шпилек) см. в табл. 19.2 и 19.3 для соответствующих  $p_y$ , значения  $D_T$ ,  $a_2$  и  $h_3$  см. в табл. 19.4. 2. В случае применения бобышек при рабочей температуре выше 200 °C они должны быть проверены расчетом при рабочих условиях (рабочей температуре и рабочем давлении) по формулам, приведенным в ОСТ 26-01-748—73.

Пример условного обозначения бобышки типа А, исполнения 3 на  $D_y = 100$  мм,  $p_y = 4,0$  МПа толщиной  $H = 65$  мм:

Бобышка А-3-100-40-65 ОСТ 26-01-748—72.

\* Только для  $p_y = 1,0$  МПа.

\*\* Только для  $p_y = 1,6$  МПа.

Таблица 19.19

**Стандартные стальные приварные фланцевые бобышки накладные (тип Б)  
с втулками и кольцами для трубной арматуры и труб  
(рис. 19.7, б, исполнения 1 – 4), ОСТ 26-01-748 – 73, мм**

$D_y$	$D_{\eta} \times s$	$R_{min}$	$p_y, \text{ МПа}$	$H$	$H_1$	$H_2$	$h_1$	$t$
50	57×6	200	1,0	53	20	37	10	45
			1,6	63	20	37	10	55
			2,5	78	20	37	10	70
			4,0	113	20	37	10	105
			6,4	153	24	45	12	145
65	76×6	225	1,0	53	20	39	10	45
			1,6	63	20	39	10	55
			2,5	78	20	39	10	70
			4,0	113	20	39	10	105
			6,4	153	24	48	12	145
80	89×6	225	1,0	53	20	42	10	45
			1,6	63	20	42	10	55
			2,5	78	20	42	10	70
			4,0	113	20	42	10	105
			6,4	153	24	50	12	145
100	108×7	275	1,0	53	20	42	10	45
			1,6	63	20	42	10	55
			2,5	83	24	50	10	75
			4,0	113	24	50	10	105
			6,4	158	30	60	12	150
125	133×7	325	1,0	53	20	44	12	45
			1,6	63	20	44	12	55
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	30	60	12	115
			6,4	163	32	68	14	155
150	159×7	400	1,0	58	24	50	12	50
			1,6	68	24	50	12	60
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	30	60	12	115
			6,4	168	36	74	14	160
200	219×10	550	1,0	58	24	50	12	50
			1,6	68	24	50	12	60
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	32	65	12	115
			6,4	168	36	74	14	160

Примечания. 1. Значения  $D_f$ ,  $D_b$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $a_1$ ,  $h_4$ ,  $d_6$  и  $z$  (число болтов или шпилек) см. в табл. 19.2 и 19.3 для соответствующих  $p_y$ , значения  $D_7$ ,  $a_2$  и  $h_3$  см. в табл. 19.4. 2. Накладные бобышки предназначены для аппаратов из двухслойных сталей. 3. Материал собственно бобышки такой же, как материал основного слоя двухслойной стали, а кольца и втулки — как материал плакированного слоя. 4. В случае применения бобышек при рабочей температуре выше 200 °C они должны быть проверены расчетом при рабочих условиях (рабочей температуре и рабочем давлении) по формулам, приведенным в ОСТ 26-01-748 – 73.

Пример условного обозначения бобышки типа Б исполнения 3 на  $D = 150$  мм,  $p_y = 1,6$  МПа:

Бобышка Б-3-150-16 ОСТ 26-01-748 – 73.

Наряду с указанными выше основными стандартными фланцевыми соединениями аппаратов на рабочие параметры  $p \leq 1,6$  МПа и  $t \leq 300^{\circ}\text{C}$  при диаметрах аппарата  $D = 400 - 2000$  мм могут применяться также менее металлоемкие стандартные фланцевые соединения на зажимах (рис. 19.8, 19.9 и табл. 19.20).

При конструировании аппаратов, как правило, применяют стандартные фланцевые соединения для аппаратов, труб и трубной арматуры. Специальные фланцевые соединения подлежат разработке только в обоснованных случаях, когда отсутствуют стандартные фланцевые соединения (по рабочим условиям или каким-либо другим соображениям).

Таблица 19.20

**Элементы стандартных фланцевых соединений на зажимах для стальных сварных аппаратов, ОСТ 26-01-396-78 и ОСТ 26-01-385-78, мм**

$D$	$p_{\text{раб}}^{\text{доп}}$ МПа	Фланец (рис. 19.8, исполнения 1—6)													Зажим (рис. 19.9)				
		$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$H$	$h$	$h_1$	$h_2$	$a$	$a_1$	$R$	$s$	$H_1$	$B$	$L$	$d_6$	$\varepsilon$	
400	0,6																	32	
	1,0	465	458	457	475	40	28	30										44	
	1,6																	44	
500	0,6																	40	
	1,0	575	564	563	590				6									M16	
	1,6																	44	
600	0,6																	52	
	1,0	675	664	663	690													60	
	1,6																	44	
700	0,6																	24	
	1,0	775	764	763	795													28	
	1,6																	32	
800	0,6																	28	
	1,0	875	866	865	895													M24	
	1,6																	32	
900	0,6																	36	
	1,0	975	966	965	995													36	
	1,6																	32	
1000	0,6																	36	
	1,0	1075	1066	1064	1095													40	
	1,6																	40	
1100	0,6																	36	
	1,0	1180	1168	1166	1195													44	
	1,6																	48	
1200	0,6																	M24	
	1,0	1280	1268	1266	1295													40	
	1,6																	48	
																		52	
1400	0,6																	56	
	1,0	1485	1472	1470	1510													64	
	1,6																	60	
1600	0,6																	72	
	1,0	1695	1684	1681	1710													82	
	1,6																	76	
1800	0,6																	86	
	1,0	1895	1882	1879	1910													100	
	1,6																	90	
2000	0,6																	96	
	1,0	2100	2086	2083	2110													108	
	1,6																		

Примечания. 1. Материал фланцев и болтов — согласно табл. 19.5 и 19.11, деталей зажимов — по ОСТ 26-01-385-78. Зажимы могут быть выполнены из углеродистых и austenитных сталей. 2. Пределы применения фланцев в зависимости от материала и температуры должны соответствовать табл. 19.6.

Пример условного обозначения: фланец для аппарата, не содержащего взрыво- или пожароопасной среды, исполнения 1, диаметром  $D = 1200$  мм на  $p_y = 0,6$  МПа:

Фланец 1-1-1200-6 ОСТ 26-01-396-78;  
то же для аппарата, содержащего взрыво- или пожароопасную среду:

Фланец 2-1-1200-6 ОСТ 26-01-396-78.

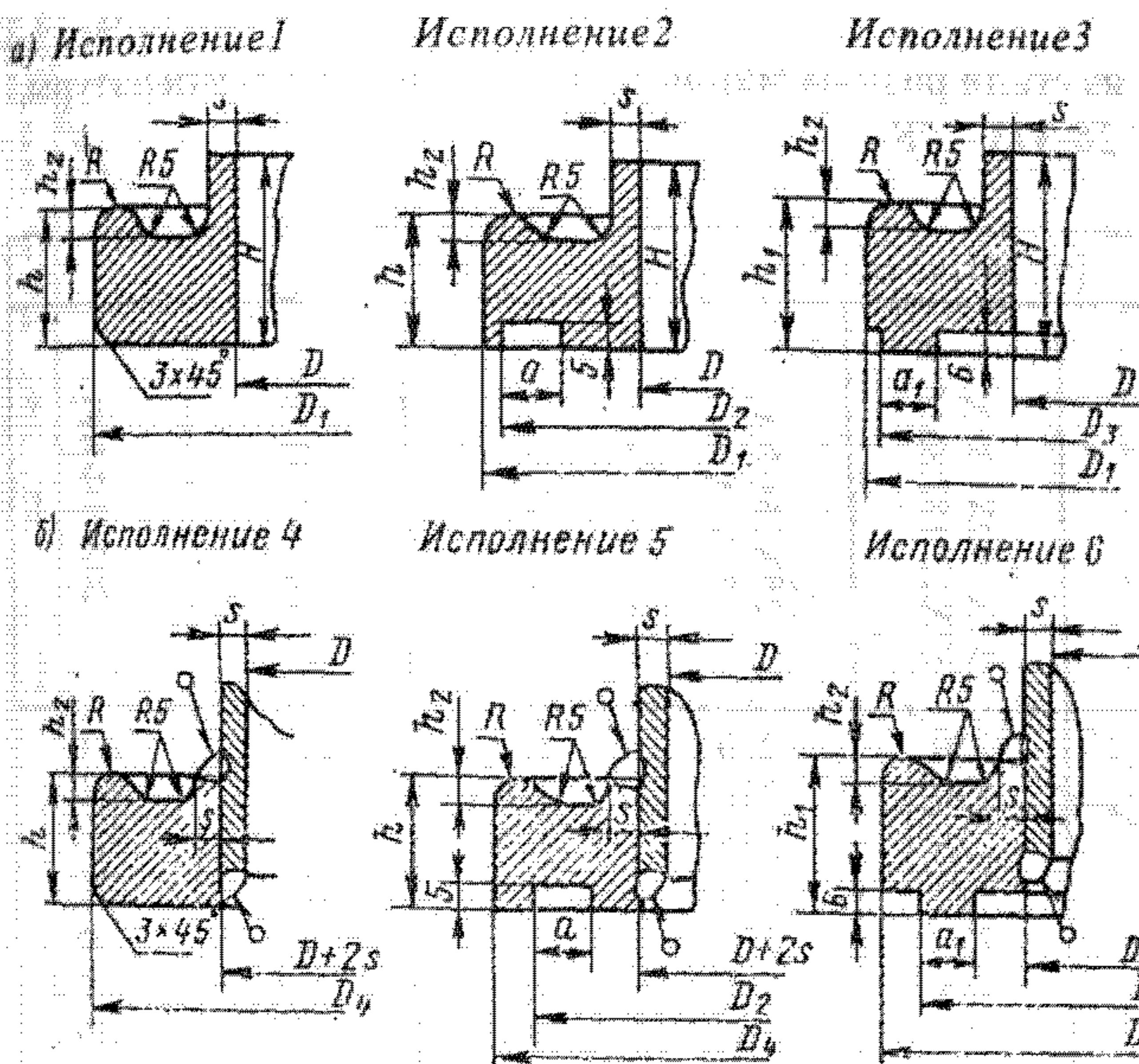


Рис. 19.8. Конструкция стандартных стальных приварных фланцев подзажимы для аппаратов по ОСТ 26-01-396—78: а — приварныестык; б — приварные внахлестку (исполнения: 1 и 4 — с гладкой уплотнительной поверхностью (без ограничительного выступа); 2 и 5 — с пазом; 3 и 6 — с выступом)

#### 19.4. Расчет фланцевых соединений

Расчетная температура фланцевого соединения принимается по табл. 19.21, допускаемые напряжения болтов (шпилек) — по табл. 19.22. Для стали марок, не указанных в таблице, допускаемые напряжения определяются по формулам:

а) для углеродистых сталей при расчетной температуре  $t_r \leq 380^{\circ}\text{C}$ , для низколегированных сталей при  $t_r \leq 420^{\circ}\text{C}$  и для высоколегированных austenитных сталей при  $t_r \leq 525^{\circ}\text{C}$

$$[\sigma_B] = \sigma_T / n_T; \quad (19.1)$$

б) при больших расчетных температурах

$$[\sigma_B] = \min \{ \sigma_T / n_T; \sigma_{d \cdot 10^3} / n_d; \sigma_{1\% \cdot 10^3} / n_n \}, \quad (19.2)$$

где  $\sigma_{d \cdot 10^3}$  — среднее значение предела длительной прочности за  $10^3$  ч при расчетной температуре, МПа;  $\sigma_{1\% \cdot 10^3}$  — средний 1%-ный предел ползучести за  $10^3$  ч при расчетной температуре, МПа.

Запасы прочности для болтов принимаются по табл. 19.23. Допускаемые напряжения для условия предварительного затяга могут быть увеличены не более чем на 10%.

Допускаемые напряжения для приварных фланцев (МПа):

а) для сечения  $s_1$  (в месте соединения втулки с плоскостью фланца)

$$[\sigma_{\phi_1}] = \sigma_{T, \phi}$$

Таблица 19.21

Расчетная температура элементов фланцевого соединения, в зависимости от температуры среды  $t$ , ОСТ 26-373—78

Тип фланцевого соединения	Изолированные элементы			Не изолированные элементы		
	$t_{\phi}$	$t_k$	$t_B$	$t_{\phi}$	$t_k$	$t_B$
С приварными плоскими и приварными встык фланцами	$t$	$t$	$0,97t$	$0,96t$	—	$0,95t$
Со свободными фланцами	$t$	$0,97t$	$0,90t$	$0,96t$	$0,90t$	$0,81t$

Таблица 19.22

**Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) из стали разных марок в зависимости от температуры, ОСТ 26-373 – 78**

Расчетная температура, °С	[σ], МПа, для стали марок							
	35; ВСr5	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т	45Х14Н13В2Н	35Х; 40Х; 38ХА; 37Х12Н8Г8МФБ	25Х2МФА; 25Х1МФ	25Х2М1Ф	18Х12ВМБФР	20ХНФБР
20	130	110	160	230	230	230	230	230
100	126	105	150	230	230	230	230	230
200	120	98	138	225	225	225	230	225
250	107	95	132	222	220	220	225	220
300	97	90	126	220	215	215	220	215
350	86	86	120	185	215	215	215	215
375	80	85	117	175	210	210	210	210
400	75	83	114	160	210	210	210	210
425	68	82	110	—	182	195	190	195
450	—	80	107	—	156	180	165	180
475	—	79	104	—	127	165	143	165
500	—	78	100	—	96	150	120	150
510	—	—	95	—	84	137	110	140
520	—	—	90	—	74	120	98	130
530	—	—	85	—	65	100	88	118
540	—	—	80	—	55	75	75	105
550	—	—	75	—	—	64	—	90

Таблица 19.23

**Запасы прочности для болтов, ОСТ 26-373 – 78**

Материал болта	$n_t$		$n_d$		$n_u$	
	Затяг не контролируется	Затяг контролируется	Затяг не контролируется	Затяг контролируется	Затяг не контролируется	Затяг контролируется
Углеродистые стали: $\sigma_f/\sigma_b \geq 0,7$	2,8	2,4	1,8	1,8	1,1	1,1
$\sigma_f/\sigma_b < 0,7$	2,3	2,1	1,8	1,8	1,1	1,1
Аустенитные стали	1,9	1,8	1,8	1,8	—	—

б) для сечения  $s_0$  (в месте соединения втулки с обечайкой) при  $p < 4,0$  МПа и числе циклов нагружения  $N \leq 2000$

$\sigma_{\phi_0}$  — предел усталости материала обечайки при расчетной температуре, МПа (значение  $[\sigma_{\phi_0}]$  можно также определить по рис. 19.10);

$$[\sigma_{\phi_0}] = 0,003E; \quad (19.3)$$

в) то же при числе циклов нагружения  $N > 2000$

г) для свободного фланца (кольца)

$$[\sigma_{\phi,u}] = \sigma_{t,u}.$$

$$[\sigma_{\phi_0}] = \min \left\{ \frac{E}{8VN} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \frac{\sigma_{-1}}{2}; \right.$$

$$\left. \frac{E}{12VN} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \sigma_{-1} \right\}, \quad (19.4)$$

где  $\psi$  — относительное поперечное сужение материала обечайки при расчетной температуре, %;

При  $p \geq 4,0$  МПа допускаемые напряжения  $[\sigma_{\phi_0}]$  уменьшаются в 1,5 раза.

Допускаемые напряжения для всех элементов фланцевого соединения при расчетной температуре менее 20°С принимаются такими же, как и при температуре +20°С (при условии применимости материала при заданной расчетной температуре).

**Общий порядок расчета. Конструирование и**

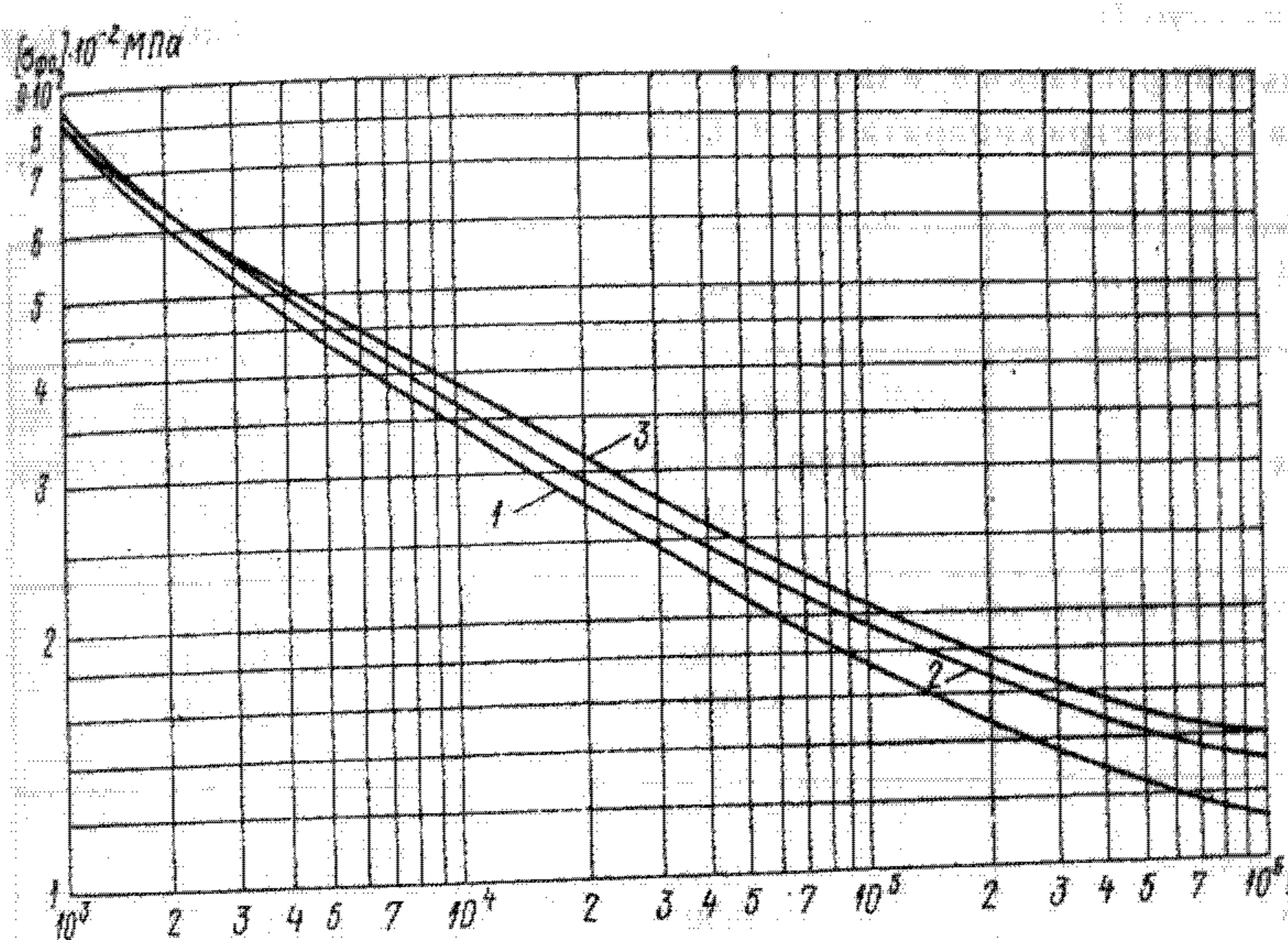


Рис. 19.10. Графики для определения  $[\sigma_{00}]$  при температуре 20°C: 1 — для углеродистых сталей; 2 — для низколегированных сталей; 3 — для austenитных сталей

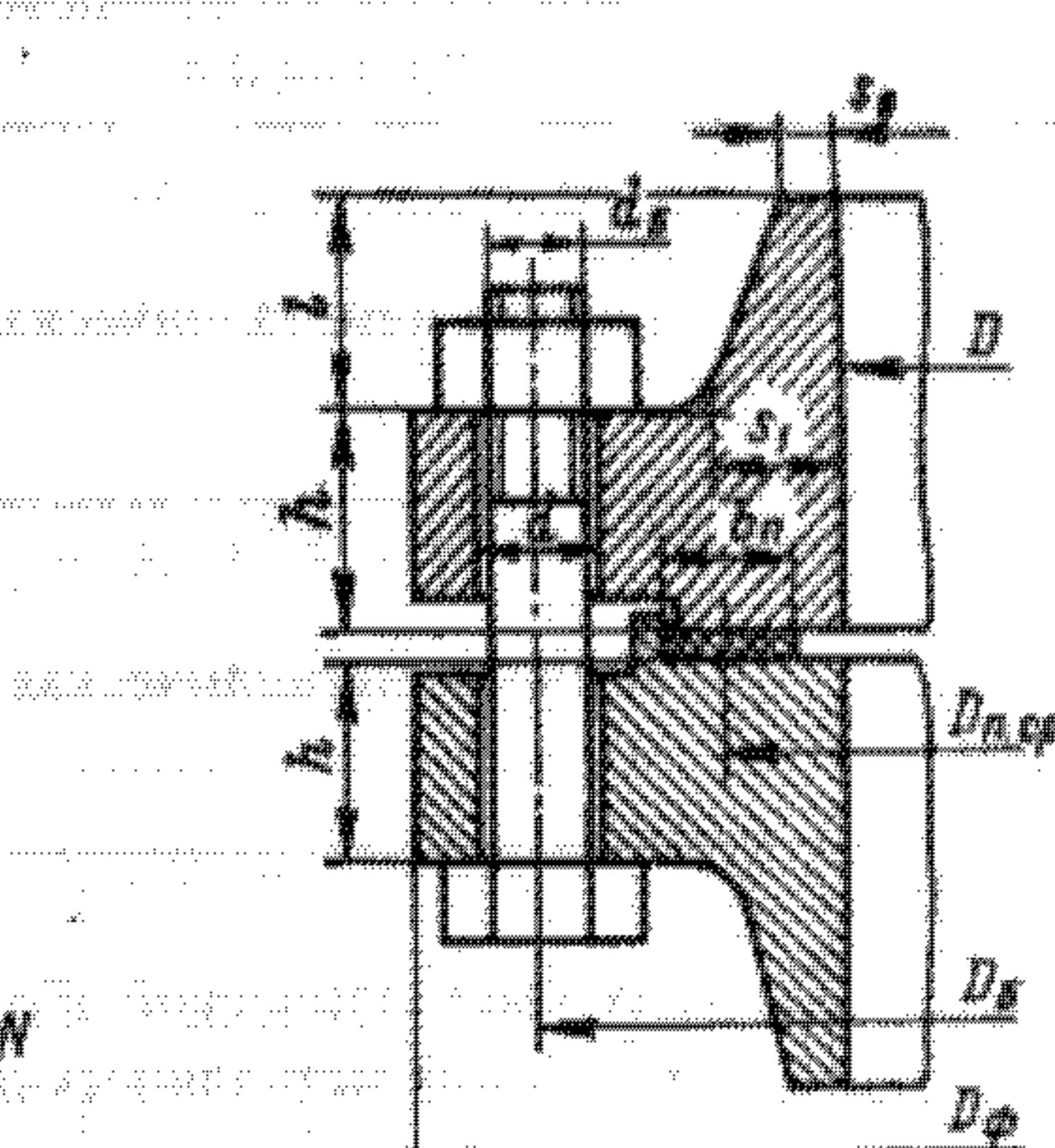


Рис. 19.11. Фланцевое соединение

Таблица 19.24

**Рекомендации по выбору прокладок, ОСТ 26-373-78**

Конструкция прокладки	Материал	$p$ , МПа	$t$ , °C
Плоская неметаллическая	Резина	$\leq 0,6$	От -30 до 100
	Асбестовый картон	$\leq 1,6$	До 550
	Паронит	$\leq 2,5$	От -200 до 400
	Фторопласт	Независимо	От -200 до 250
Плоская металлическая *	Алюминий, латунь, сталь	$\geq 2,5$	От -200 до 300
Плоская составная	Асбест в металлической оболочке из алюминия, меди, латуни, стали	$\leq 6,4$	От -200 до 550
Восьмиугольного сечения	Сталь	$\geq 6,4$	

\* Только для уплотнения шип-паз.

расчет фланцевого соединения рекомендуется выполнять в следующей последовательности (ОСТ 26-373-78).

Принимаемые конструктивные и определяемые расчетом размеры фланцевого соединения приведены на рис. 19.11.

Задаются: конструкционный материал фланцев и болтов (шпилек), давление  $p$ , внутренний диаметр соединения  $D$  и толщина стенки аппарата  $s_1$ .

Выбирают конструкцию и материал прокладки по табл. 19.24.

Определяют ширину прокладки  $b_n$  по табл. 19.25 (меньшее значение). Выбирают тип фланцевого соединения в зависимости от  $p$  и  $t$  (см. выше для стандартных фланцевых соединений).

Находят расчетные величины:

а) меньшая толщина конической втулки фланца

Таблица 19.25

Ширина уплотнительной прокладки  $b_n$  в зависимости от ее конструкции, материала и диаметра аппарата  $D$ , ОСТ 26-373-78

Конструкция и материал прокладки	$D, \text{мм}$	$b_n, \text{мм}$
Плоская неметаллическая	$\leq 1000$	12—15
	$1000 < D \leq 2000$	15—25
	$> 2000$	25
Плоская металлическая	$\leq 1000$	10—12
	$> 1000$	12—15
Плоская в металлической оболочке и зубчатая металлическая	$\leq 1600$	12—18
	$> 1600$	13—25
Восьмиугольного сечения металлическая	$\leq 600$	12—18
	$600 < D \leq 800$	16—22
	$800 < D \leq 1000$	18—28
	$1000 < D \leq 1600$	22—42

19.26 (при двух значениях принимают меньшее).

$$s_0 < 1,35 s, \text{ но } s_0 - s < 0,005 \text{ м}; \quad (19.5)$$

б) отношения большей толщины втулки фланца к меньшей  $\beta = s_1/s_0$  для приварных встык фланцев и буртов выбирают по рис. 19.12, для плоских приварных фланцев  $\beta = 1$ ;

в) большая толщина втулки фланца  $s_1 = \beta s_0$ ; для плоских приварных фланцев принимают  $s_1 = s_0$ ;

г) длина втулки приварного встык фланца

$$l \geq 3(s_1 - s_0). \quad (19.6)$$

Выбирают диаметр болтов (шпилек)  $d_B$  по табл.

Диаметр болтовой окружности (м):

а) для приварных встык фланцев

$$D_B \geq D + 2(s_1 + d_B + 0,006); \quad (19.7)$$

б) для плоских приварных фланцев

$$D_B \geq D + 2(2s_0 + d_B + 0,006); \quad (19.8)$$

в) для свободных фланцев

$$D_B \geq D_{\text{ок}} + 2(d_B + 0,008), \quad (19.9)$$

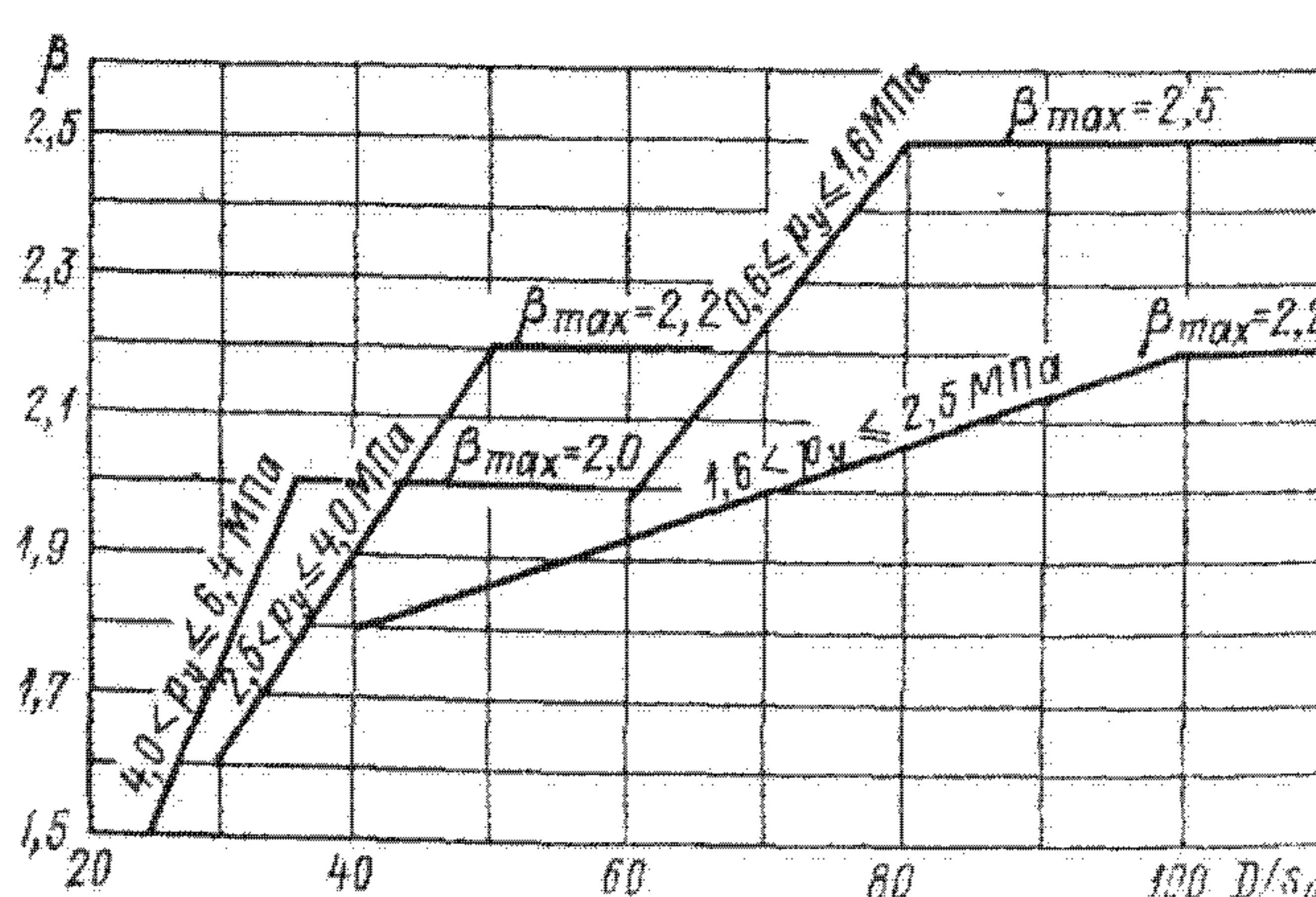


Рис. 19.12. Графики для определения  $\beta$ . Для  $p_y \leq 0,6 \text{ МПа} \beta \leq 2,2$ ; для  $p_y \geq 10 \text{ МПа} \beta = 2$ . Во всех случаях  $\beta_{\min} \geq 1,5$

где  $D_{\text{ок}}$  — внутренний диаметр кольца (свободного фланца); размер  $D_B$  — принимают с окончанием на 0 или кратным 5 мм.

Наружный диаметр фланца

$$D_\Phi \geq D_B + a, \quad (19.10)$$

где  $a$  — по табл. 19.27; размер  $D_\Phi$  принимают с окончанием на 0 или кратным 5 мм.

Наружный диаметр прокладки

$$D_B = D_B - e, \quad (19.11)$$

где  $e$  — по табл. 19.27.

Средний диаметр прокладки

$$D_{\text{п.ср}} = D_B - b_B. \quad (19.12)$$

Таблица 19.26

Рекомендуемые диаметры болтов  $d_b$  в зависимости от  $p_y$  и  $D$ , ОСТ 26-373-78, мм

$D$ , мм	$p_y$ , МПа							
	≤ 0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	8,0	10,0
800	M20	M20	M20	M30	M36	M30—M36	M30—M42	
1000						M42	M42	M48
1200						M42	M48	M52—M56
1400		M24—M30	M24—M30	M36	M48	M52—M56	M52—M56	M56—M64
1600						M52	M52	
1800 2000								
2200 2400	M24—M30							

Таблица 19.27

Диаметр болтов (шпилек), расчетная площадь их поперечного сечения  $f_b$ , диаметр отверстий под болт  $d$ , значения величин  $a$  и  $e$ , ОСТ 26-373-78

$d_b$ , мм	$f_b \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup>	$d$ , мм	$a$ , мм		$e_{\text{шип}}$ , мм	Прокладка восьмиугольного и овального сечения
			Шестигранная гайка	Шестигранная гайка с уменьшенным размером «под ключ»		
M20 (M22)	2,35 2,95	23 25	40 42	36 40	30 32	53 55
M24 (M27)	3,4 4,45	27 30	47 52	42 47	34 37	57 60
M30	5,4	33	58	52	41	64
M36	7,9	40	60	63	48	71
M42	10,9	46	80	69	55	78
M48	14,4	52	92	80	61	84
M52	18,2	58	97	86	65	88
M56	19,6	60	110	—	—	195
M60	23,0	66	115	—	—	240
M64	26,0	70	120	—	—	240

Примечание. Размеры, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

Эффективная ширина прокладки (м):

а) для плоских прокладок:

$$b_E = 0,5b_n \text{ при } b_n < 15 \text{ мм}; \quad (19.13)$$

$$b_E = 19\sqrt{b_n} \text{ при } b_n > 15 \text{ мм}; \quad (19.14)$$

По табл. 19.28 в зависимости от конструкции и материала прокладки выбирают ее расчетные параметры  $t$  и  $q$ .

Ориентировочное число болтов (шпилек)

$$z_B = \pi D_B / t_B, \quad (19.16)$$

где  $t_B$  — шаг болтов, выбираемый по табл. 19.29 (меньшее значение).

б) для прокладок восьмиугольного и овального сечений:

$$b_E = 0,125 b_n. \quad (19.15)$$

Таблица 19.28

## Расчетные параметры прокладок, ОСТ 26-373-78

Конструкция прокладки	Материал прокладки	$t$	$q$	$[q]$	$E_{II}$
			МПа		
Плоская неметаллическая	Резина по ГОСТ 7338-77 с твердостью по прибору ТШР, МПа:				
	0,76—1,2	0,5	2,0	18	$3 \left( 1 + \frac{b_u}{2h_n} \right)$
	>1,2	1,0	4,0	20	$4 \left( 1 + \frac{b_u}{2h_n} \right)$
	Картон асбестовый по ГОСТ 2850-80 толщиной 3 мм	2,5	20	130	2000
	Паронит* по ГОСТ 481-71 толщиной ≥ 1 мм	2,5	20	130	2000
Плоская металлическая	Фторопласт-4 по ГОСТ 10007-80 толщиной 1—3 мм	2,5	10	40	2000
	Алюминий АД по ГОСТ 13726-97	4,0	60		
	Латунь Л63 по ГОСТ 2208-91	4,75	90		
	Сталь 05кп по ГОСТ 1050-91	5,5	125		
	Сталь по ГОСТ 5632-72: 08Х13	5,5	125		
Плоская составная	08Х18Н10Т	6,5	180		
	Асбест по ГОСТ 2850-80. Оболочка толщиной 0,2—0,3 мм:				
	алюминиевая	3,25	38		
	медная	3,5	46		
	латунная	3,5	46		
Овального или восьмиугольного сечения металлическая	из стали 05кп	3,75	53		
	из стали 12Х18Н10Т	3,75	63		
	Сталь 05кп; 08Х13	5,5	125		
	Сталь 08Х18Н10Т	6,5	180		

\* Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы и т.п.).

Таблица 19.29

Рекомендуемый шаг болтов  $t_b$  в зависимости от  $p_y$ , ОСТ 26-373 - 78

$p_y, \text{ МПа}$	$t_b$	$p_y, \text{ МПа}$	$t_b$
$\leq 0,3$	$(4,2-5) d_b$	$2,5$	$(2,7-3,5) d_b$
$0,6$	$(3,8-4,8) d_b$	$4,0$	$(2,3-3,0) d_b$
$1,0$	$(3,5-4,2) d_b$	$6,4-10,0$	$(2,1-2,8) d_b$
$1,6$	$(3,0-3,8) d_b$		

Принимается ближайшее большее кратное четырех значение  $z_b$ .

Определяются вспомогательные величины:

а) коэффициент  $\kappa$  — по рис. 19.13:

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \frac{x}{x + (1 + \beta)/4},$$

где  $x = l/V D s_0$ :

б) эквивалентная толщина втулки фланца

$$s_E = \kappa s_0; \quad (19.17)$$

для плоского приварного фланца  $s_E = s_0$ ;

в) ориентировочная толщина фланца

$$h = \lambda V D s_E, \quad (19.18)$$

где  $\lambda$  — коэффициент, определяемый по рис. 19.14;

г) безразмерный параметр

$$\omega = [1 + 0.9\lambda (1 + \psi_1/2)]^{-1}. \quad (19.19)$$

где  $j = h/s_E$ ;  $\psi_1 = 1,28 \lg K$ ;  $K = D_\phi/D$  — для плоских приварных фланцев (см. рис. 19.1, а—б; 19.3) и приварных встык фланцев (см. рис. 19.2; 19.4; 19.5);  $K = D_1/D_4$  — для буртов свободных фланцев (см. рис. 19.1, г, д);  $K = D_\phi/D_5$  — для колец свободных фланцев (см. рис. 19.1, г, д); значение параметра  $\psi_1$  можно также определить по рис. 19.15;

д) безразмерные параметры  $T$  — по рис. 19.16,  $\psi_2$  — по рис. 19.17,  $\psi_3$  — по рис. 19.18.  $T$  и  $\psi_1$  можно рассчитать по зависимостям:

$$T = \frac{K^2 (1 + 8,55 \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 K^2) (K - 1)}; \quad \psi_1 = \frac{K + 1}{K - 1}.$$

Угловая податливость фланца [ $1/(\text{МН}\cdot\text{м})$ ]

$$\gamma_F = \frac{[1 - \omega (1 + 0.9\lambda)] \psi_2}{h^3 E_F}, \quad (19.20)$$

где  $E_F$  — модуль продольной упругости материала фланца, МПа.

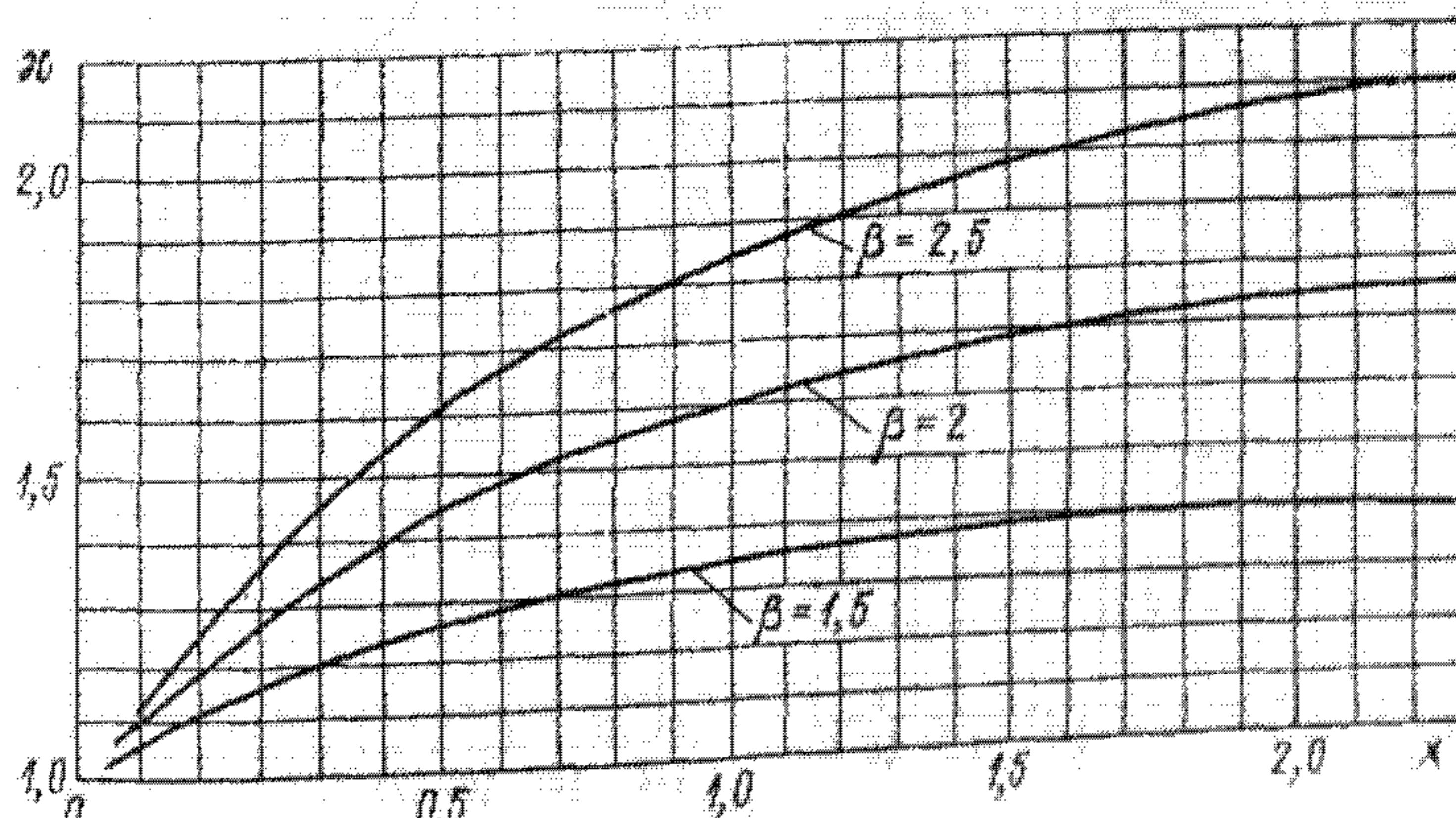
Угловая податливость плоской фланцевой крышки [ $1/(\text{МН}\cdot\text{м})$ ]

$$\gamma_{kp} = x_{kp}/(h_{kp}^3 E_{kp}). \quad (19.21)$$

Здесь

$$x_{kp} = \frac{0,67 [K_{kp}^2 (1 + 8,55 \lg K_{kp}) - 1]}{(K_{kp} - 1) [K_{kp}^2 - 1 + (1,857 K_{kp}^2 + 1) \left(\frac{\delta_{kp}}{h_{kp}}\right)^3]}, \quad (19.22)$$

где  $\delta_{kp}$  — толщина плоской крышки;  $h_{kp}$  — толщина фланцевой части крышки;  $K_{kp} = D_\phi/D_{n, kp}$ ;  $E_{kp}$  — модуль продольной упругости материала фланцевой крышки.

Рис. 19.13. График для определения коэффициента  $\kappa$

Линейная податливость прокладки (м/МН)

$$y_p = s_p / (\pi D_{p,cr} b_p E_p), \quad (19.23)$$

где  $E_p$  — модуль продольной упругости материала прокладки.

Расчетная длина болта

$$l_B = l_{B_0} + 0,28d, \quad (19.24)$$

где  $l_{B_0}$  — длина болта между опорными поверхностями головки болта и гайки.

Расчетная длина шпильки с двумя гайками

$$l_B = l_{B_0} + 0,56d, \quad (19.25)$$

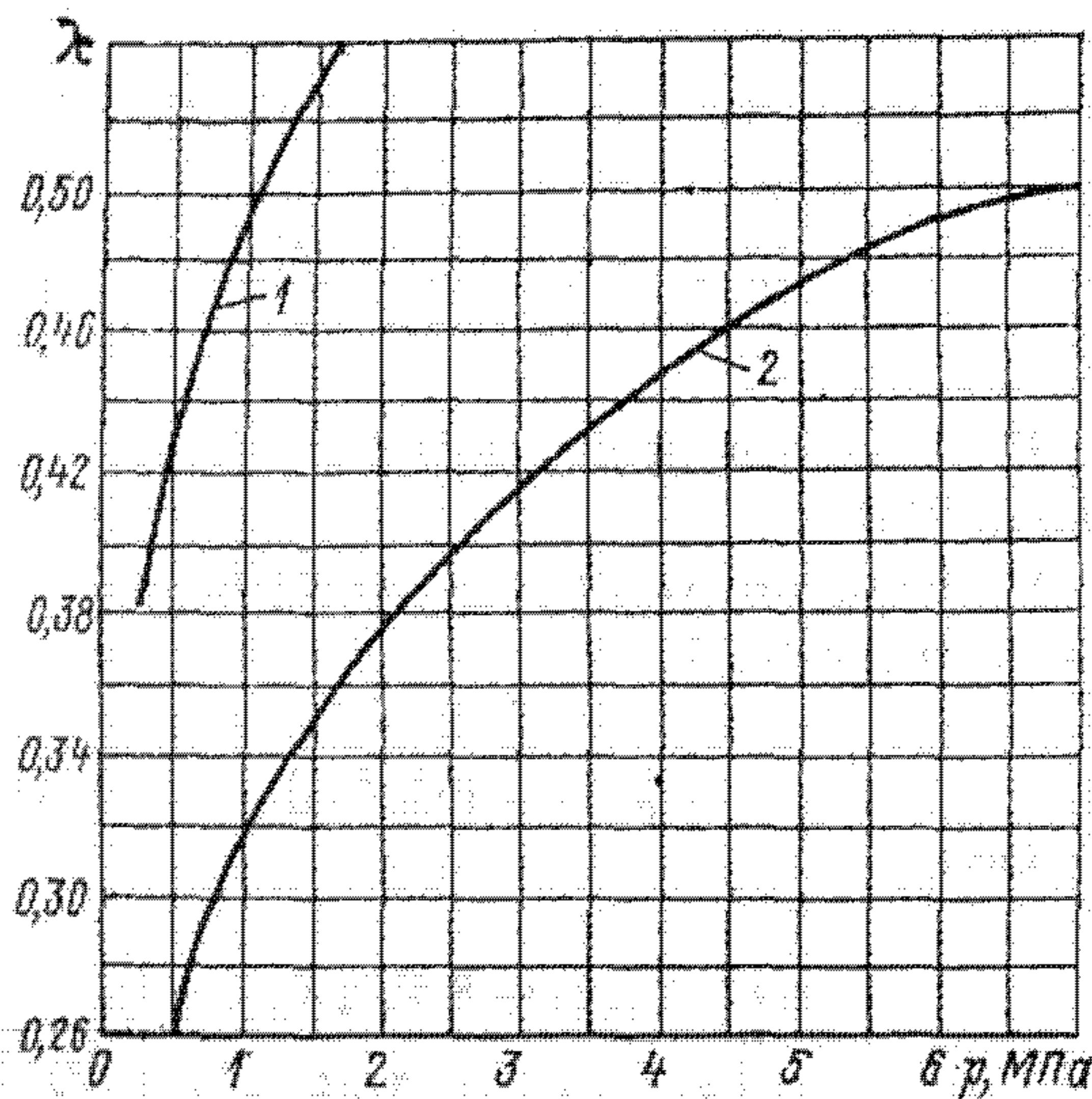


Рис. 19.14. График для определения коэффициента  $\lambda$ :  
1 — для плоских приварных фланцев; 2 — для приварных  
стыков фланцев

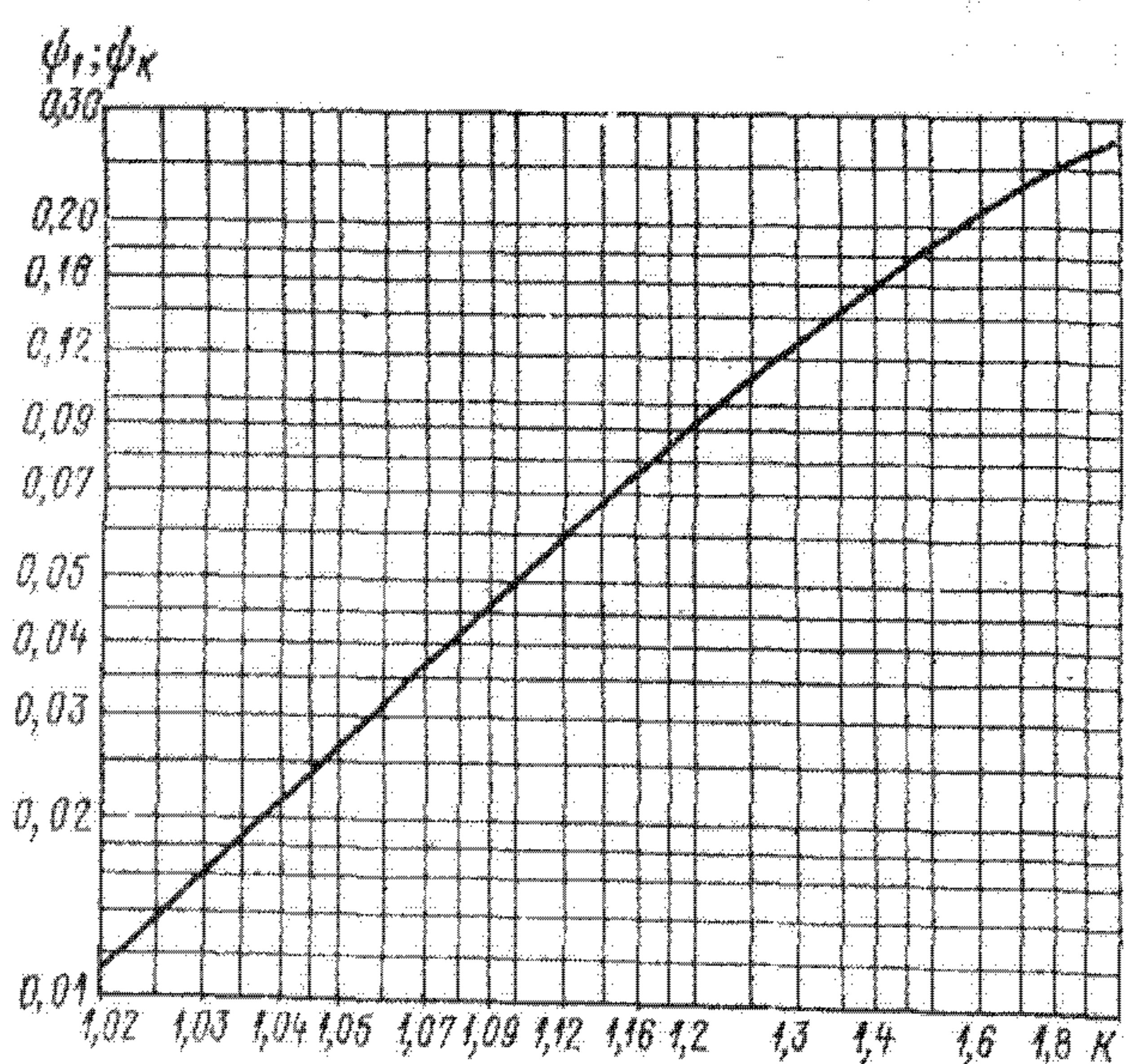


Рис. 19.15. График для определения  $\psi_1$  и  $\psi_2$

где  $l_{B_0}$  — длина шпильки между опорными поверхностями гаек.

Линейная податливость болтов (шпилек), м/Н

$$y_B = l_B / (E_B f_B^2), \quad (19.26)$$

где  $f_B$  — расчетная площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы (см. табл. 19.27);  $E_B$  — модуль продольной упругости материала болта (шпильки), МПа.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$\alpha = A [y_B + 0,25 (B_1 + B_2) (D_B - D_{p,cr})] \quad (19.27)$$

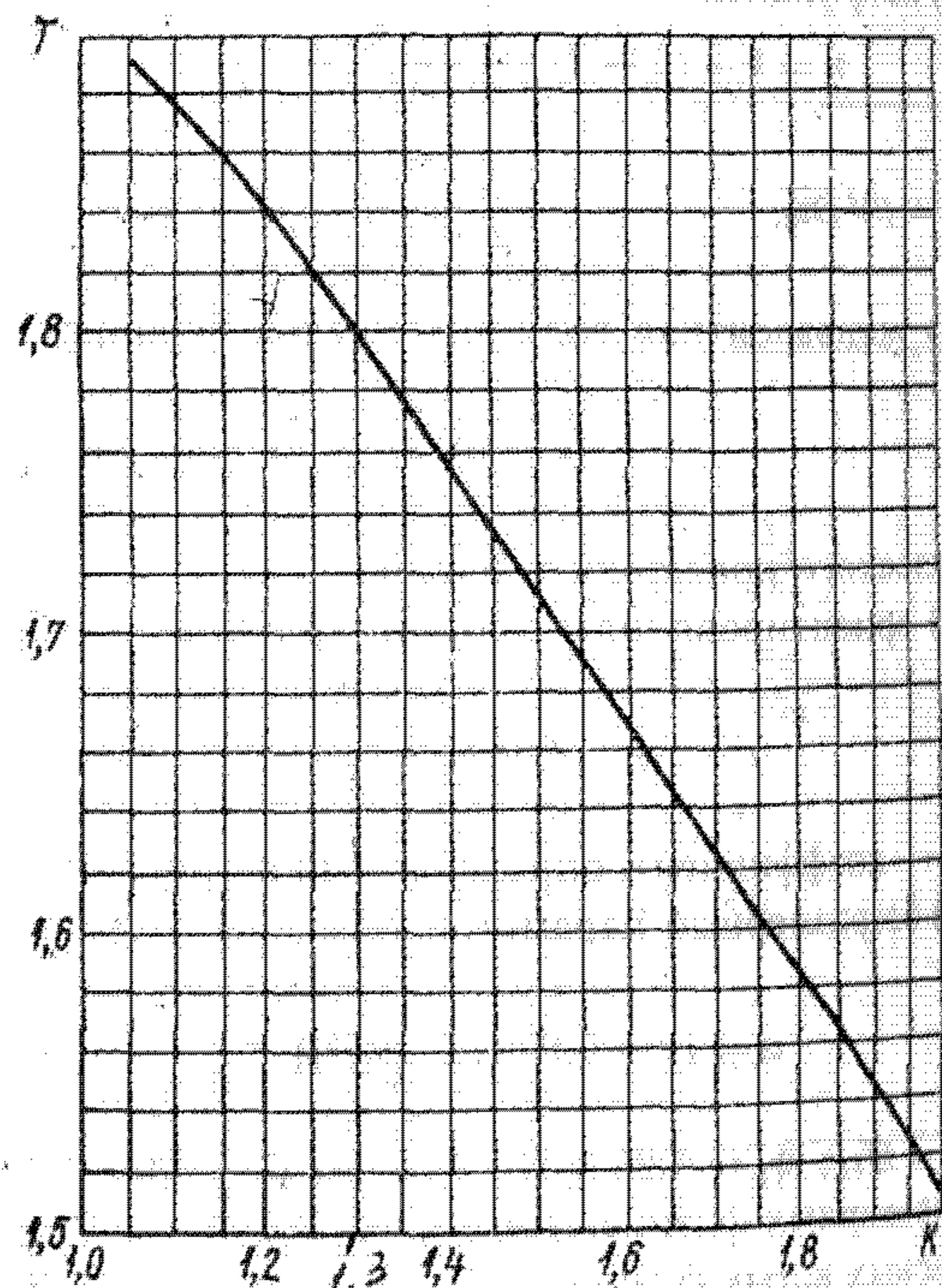


Рис. 19.16. График для определения  $T$

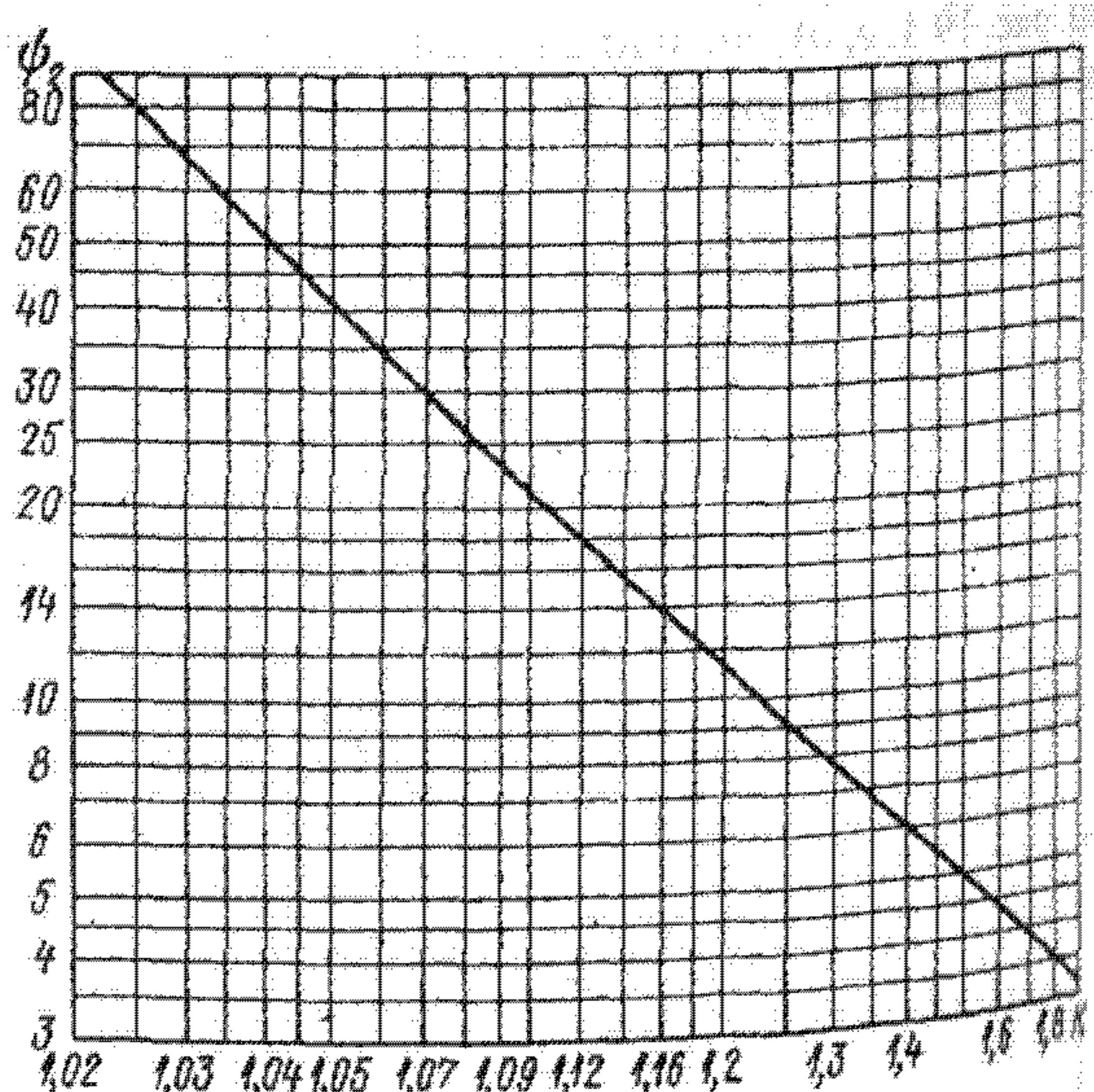
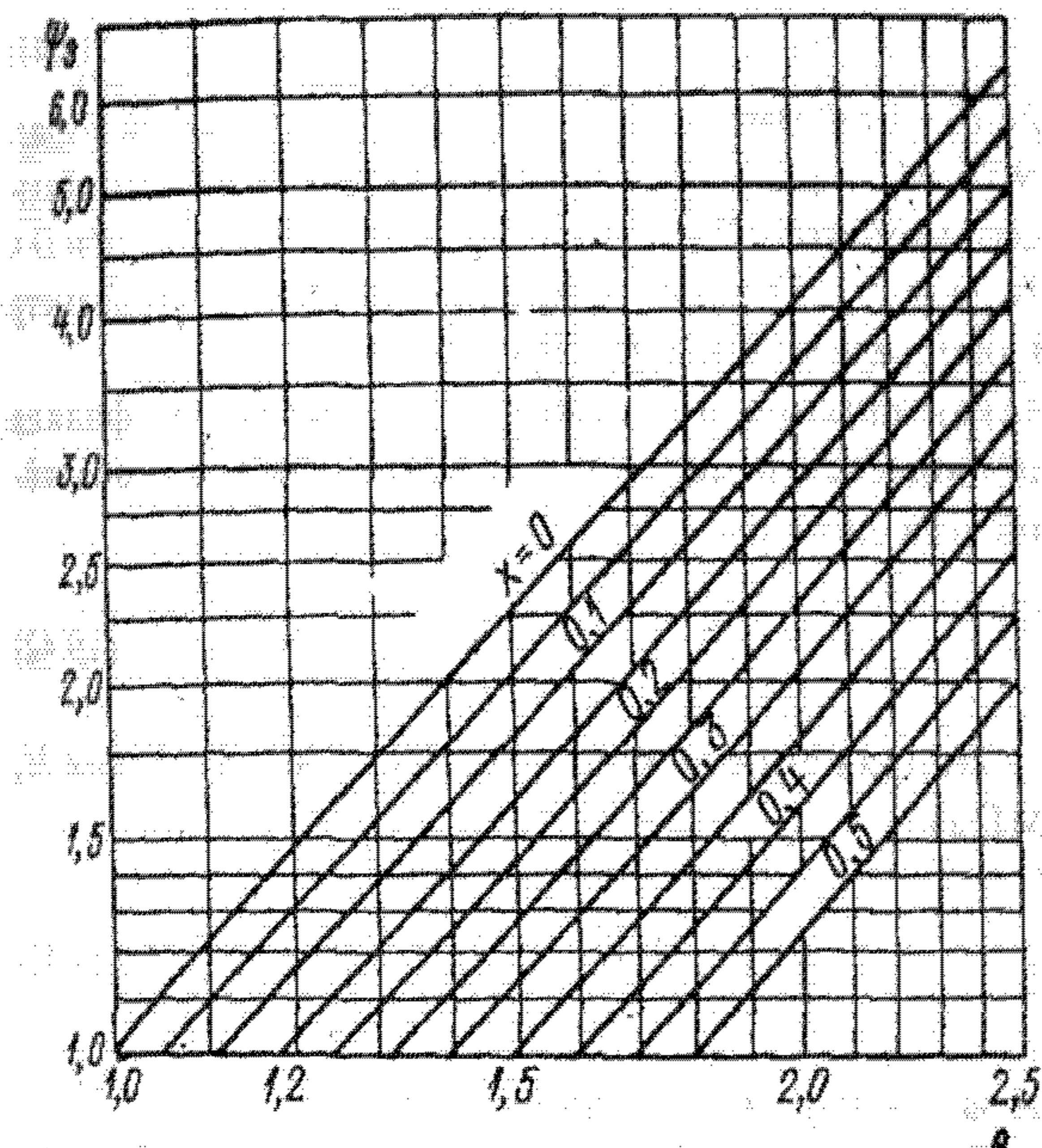


Рис. 19.17. График для определения  $\psi_3$

Рис. 19.18. График для определения  $\psi_3$ 

Здесь

$$A = [y_n + y_B + 0,25 (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) (D_B - D_{n,cr})^2]^{-1};$$

$$B_1 = y_{\phi 1} (D_B - D_1 - s_{E1}); \quad B_2 = y_{\phi 2} (D_B - D_2 - s_{E2}),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — внутренние диаметры  $D$  фланцев 1 и 2.

При стыковке одинаковых фланцев:

$$y_{\phi 1} = y_{\phi 2}; \quad B_1 = B_2,$$

При стыковке фланца с плоской крышкой:

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega (1 + 0,9\lambda)] \psi_3}{h^3 E}; \quad y_{\phi 2} = y_{kp};$$

$$B_1 = y_{\phi 1} (D_B - D_1 - s_{E1}); \quad B_2 = 0,25 y_{kp} (D_B - D_{n,cr}).$$

Для фланцев с овальными и восьмиугольными прокладками и фланцев со свободными кольцами  $\alpha = 1$ .

Безразмерный коэффициент  $\gamma$ :

а) для соединений с приварными фланцами

$$\gamma = A y_B. \quad (19.28)$$

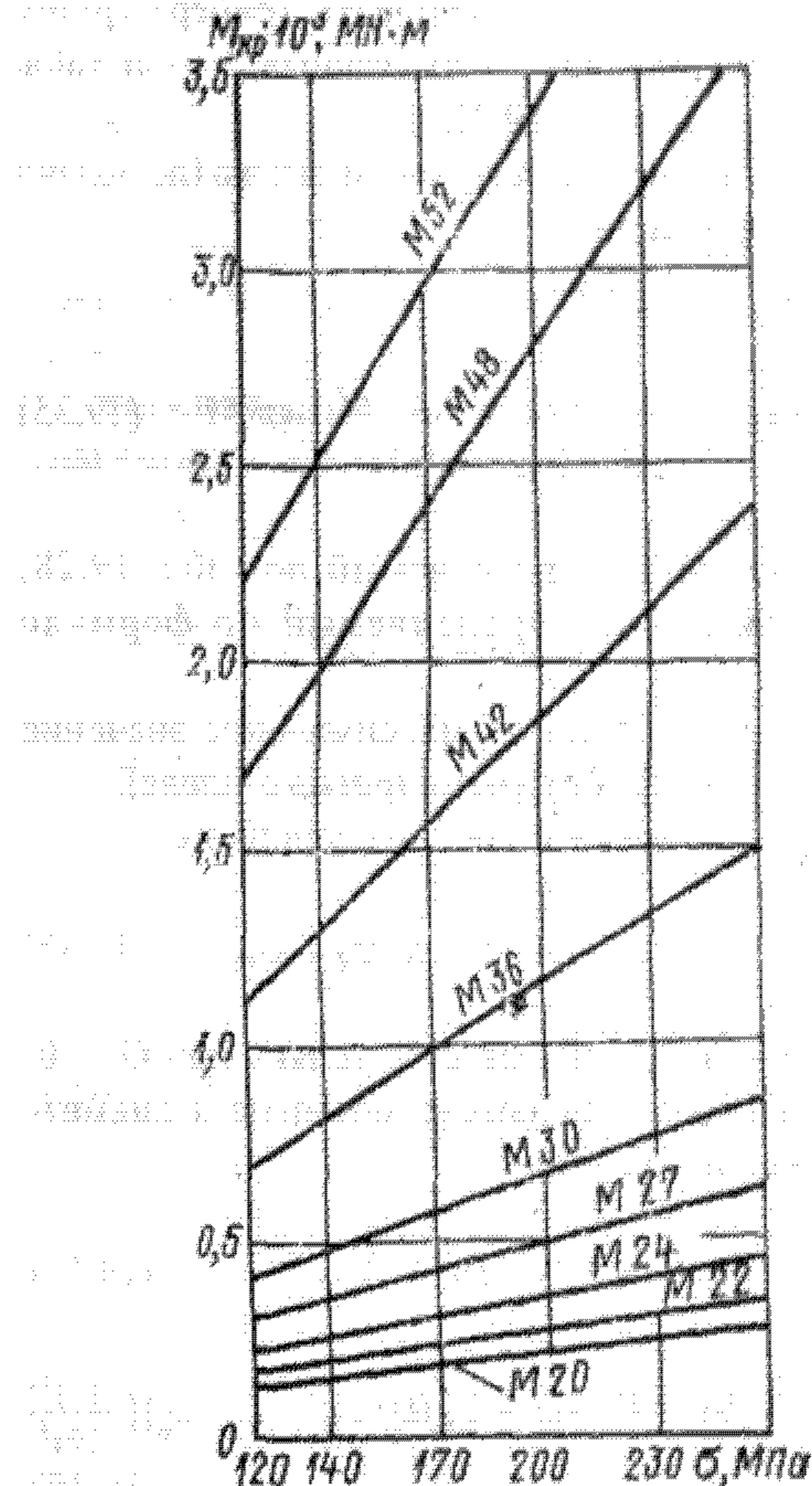
б) для фланцев со свободными кольцами

$$\gamma = A_1 y_B. \quad (19.29)$$

Здесь

$$A_1 = [y_n + y_B + 0,5 y_{\phi} (D_s - D_{n,cr})^2 + 0,5 y_k (D_B - D_s)^2]^{-1},$$

где  $y_k = 6 / (E_k h^3 \Psi_k)$ ;  $\Psi_k$  — параметр, определяемый по рис. 19.15 в зависимости от отношения  $K = D_{\phi}/D_s$ ;

Рис. 19.19. График для определения  $M_{cr}$ 

$D_s$  — наружный диаметр контактной поверхности бурта (на рис. 13.1, где  $D_s = D$ );  $h$  — толщина свободного кольца (на рис. 19.1, где  $h = h_1$ ).

Расчет фланцевого соединения, работающего под действием внутреннего давления. Нагрузка, действующая на фланцевое соединение от внутреннего избыточного давления:

$$Q_R = 0,785 D_{n,cr}^2 \rho_R. \quad (19.30)$$

Реакция прокладки в рабочих условиях

$$R_R = 2\pi D_{n,cr} \delta_E t \rho_R, \quad (19.31)$$

где  $t$  — коэффициент, принимаемый по табл. 19.28.

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

а) для приварных фланцев из одного материала

$$Q_I = \gamma z_B f_B E_B (\alpha_{\phi} l_{\phi} - \alpha_B l_B); \quad (19.32)$$

б) то же из разных материалов

$$Q_I = \gamma z_B f_B E_B [0,5 (\alpha_{\phi} l_{\phi} + \alpha_B l_B) - \alpha_B l_B]; \quad (19.33)$$

в) для фланцев со свободными кольцами

$$Q_I = \gamma z_B f_B E_B [0,5 (\alpha_{\phi} l_{\phi} + \alpha_B l_B) - \alpha_B l_B]. \quad (19.34)$$

Здесь  $\alpha_{\phi_1}$  и  $\alpha_{\phi_2}$  — коэффициенты температурного линейного расширения разных фланцев;  $f_b$  — по табл. 19.27;  $t_\phi, t_k, t_b$  — по табл. 19.21.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи внутреннего давления):

а) при  $p \leq 0,6$  МПа

$$P_{B1} = \max \{ \alpha Q_g + R_u; \pi D_{n,cr} b_{eq}; 0,4 [\sigma_B]^{20} z_B f_B \}, \quad (19.35)$$

где  $q$  — параметр, определяемый по табл. 19.28;  $\alpha$  — коэффициент, определяемый по формуле (19.27);

б) при  $p > 0,6$  МПа — максимальное значение по формуле (19.35) (без учета третьего члена).

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha) Q_g + Q_t, \quad (19.36)$$

причем величина  $Q_t$  учитывается только при  $Q_t > 0$ .

Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении фланца:

$$M_{01} = 0,5 P_{B1} (D_B - D_{n,cr}); \quad (19.37)$$

$$M_{02} = 0,5 [P_{B2} (D_B - D_{n,cr}) + Q_g (D_{n,cr} - D - s_B)] \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}. \quad (19.38)$$

При расчете бурта фланца со свободным кольцом вместо  $D_b$  следует подставлять  $D_s$  (на рис. 19.1, г  $D_s = D_3$ ).

За расчетное значение  $M_0$  принимают большее из значений  $M_{01}$  и  $M_{02}$ .

Условия прочности болтов (шпилек):

$$\frac{P_{B1}}{z_B f_B} \leq [\sigma_B]^{20}; \quad \frac{P_{B2}}{z_B f_B} \leq [\sigma_B]^t. \quad (19.39)$$

В случае несоблюдения любого из условий (19.39) следует увеличить число болтов, но так, чтобы оно оставалось кратным четырем.

Крутящий момент на ключе при затяжке болтов (шпилек)  $M_{kp}$  определяется по рис. 19.19.

Условия прочности прокладки (только для неметаллических прокладок)

$$P_{B1}/(\pi D_{n,cr} b_a) \leq [q], \quad (19.40)$$

где  $[q]$  — по табл. 19.28.

В случае несоблюдения условия (19.40) следует увеличить ширину прокладки в пределах значений, приведенных в табл. 19.25.

Расчет плоских приварных фланцев и приварных встык фланцев и буртов. Максимальное напряжение в сечении  $s_1$  фланца (бурта) наблюдается в месте соединения втулки с плоскостью фланца (бурта):

$$\sigma_1 = \frac{T M_0 \omega}{D^* (s_1 - c_1)^3}, \quad (19.41)$$

где  $T$  — безразмерный параметр, определяемый по рис. 19.16;  $M_0$  — расчетное значение приведенного изгибающего момента;  $D^* = D$  при  $D \geq 20s_1$ ;  $D^* = D + s_1$  при  $D < 20s_1$  и  $\psi_1 > 1$ ;  $D^* = D + s_1$  при  $D < 20s_1$  и  $\psi_1 = 1$  (параметр  $\psi_1$  определяется по рис. 19.18).

Максимальное напряжение в сечении  $s_0$  фланца наблюдается в месте соединения втулки с обечайкой или днищем:

$$\sigma_0 = \Psi_3 \sigma_1. \quad (19.42)$$

Напряжение в кольце фланца от действия  $M_0$  (МПа)

$$\sigma_K = \frac{M_0 (1 - \omega (1 + 0,9\lambda)) \Psi_2}{D h^2}, \quad (19.43)$$

где  $\Psi_2$  — параметр, определяемый по рис. 19.17.

Для плоского фланца, сваренного из нескольких частей, в знаменатель выражения (19.43) вводится множитель  $\varphi_R$  — коэффициент прочности сварного шва.

Напряжение во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_x = \frac{\rho D}{2 (s_0 - c)}, \quad (19.44)$$

$$\sigma_y = \frac{\rho D}{4 (s_0 - c)}. \quad (19.45)$$

Условия прочности фланца (бурта):

а) в сечении  $s_1$

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_K^2} - \sigma_1 \sigma_K \leq [\sigma_1]. \quad (19.46)$$

б) в сечении  $s_0$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2} - (\sigma_0 + \sigma_y) \sigma_x \leq \varphi [\sigma_0]. \quad (19.47)$$

В случае несоблюдения любого из условий следует увеличить толщину фланца  $h$  или бурта  $h$ .

Угол поворота фланца (бурта)

$$\theta = \sigma_K D / (E_F h) \leq [\theta]. \quad (19.48)$$

где  $\theta$  — рад.

Из условий герметичности фланцевого соединения для плоских приварных фланцев (буртов) и приварных встык фланцев при  $D > 2000$  мм  $[\theta] = 0,013$ ; для приварных встык фланцев (буртов) при  $D \leq 2000$  мм  $[\theta] = 0,009$ .

При  $Q_t < 0$  должно выполняться условие

$$[\sigma_B]^t z_B f_B - |Q_t| > P_{B2}. \quad (19.49)$$

**Расчет свободного кольца.** Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении свободного кольца:

$$M_{01} = 0,5P_{B1}(D_B - D_b); \quad (19.50)$$

$$M_{02} = 0,5P_{B2}(D_B - D_b) \frac{[\sigma_k]^{20}}{[\sigma_k]^t}. \quad (19.51)$$

За расчетное значение  $M_0$  принимается большее из значений  $M_{01}$  и  $M_{02}$ .

**Условие прочности свободного кольца**

$$\sigma_k = \frac{M_0 \Psi_2}{D_k h_k^2} < [\sigma_k]. \quad (19.52)$$

**Условие герметичности соединения**

$$\theta = \frac{\sigma_k}{E_k} \frac{D_k}{h_k} < [\theta_k] = 0,026, \quad (19.53)$$

где  $D_k$  — внутренний диаметр кольца (на рис. 19.1,  $z = D_s$ );  $h_k$  — толщина кольца (на рис. 19.1,  $z = h_s$ ).

**Расчет фланцевого соединения, работающего под совместным действием внутреннего избыточного давления, внешней осевой силы  $P$  и изгибающего момента  $M$ .** Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи внутреннего избыточного давления)

$$P_{B1} = \max \left\{ \alpha(Q_g \pm P) + R_n + \frac{4M}{D_{n,sp}}, \pi D_{n,sp} b_E q; 0,4 [\sigma_B]^{20} z_B f_B \right\}, \quad (19.54)$$

Последний член учитывается только при  $p \leq 0,6$  МПа;  $P < 0$  в случае сжимающей силы и  $P \geq 0$  в случае растягивающей силы.

**Болтовая нагрузка в рабочих условиях**

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha)(Q_g \pm P) + Q_t + \frac{4M}{D_{n,sp}}. \quad (19.55)$$

**Условие прочности болтов (шпилек) — по формуле (19.39), неметаллических прокладок — по формуле (19.40).**

**Расчет фланцевого соединения, работающего под действием внешнего давления.** Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи наружного давления)

$$P_{B1} = \max \{\pi D_{n,sp} b_E q; 0,4 [\sigma_B]^{20} z_B f_B\}. \quad (19.56)$$

**Болтовая нагрузка в рабочих условиях**

$$P_{B2} = P_{B1} - Q_g + Q_t. \quad (19.57)$$

**Условие прочности болтов (шпилек) — по формуле (19.39), неметаллических прокладок — по формуле (19.40).**

**Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении фланца:**

$$M_{01} = 0,5P_{B1}(D_B - D_{n,sp}); \quad (19.58)$$

$$M_{02} = 0,5 [P_{B2}(D_B - D_{n,sp}) - Q_g(D_{n,sp} - D - s_B)] \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}; \quad (19.59)$$

расчетным является большее значение.

В случае внесенных в процессе расчета изменений величин  $z$ ,  $h$ ,  $b_n$  следует указанные изменения учесть при определении окончательных значений других величин и параметров, откорректировать расчет в целом.

В расчетной практике широко используется упрощенный вариант расчета фланцевых соединений. Пример расчета фланцевых соединений по этому варианту приведен ниже.

### Пример

Рассчитать на прочность и герметичность фланцевое соединение аппарата.

**Исходные данные.** Внутренний диаметр  $D = 1600$  мм, толщина обечайки  $s = 34$  мм, внутреннее давление  $p_p = 4$  МПа, температура  $t = 113,5^\circ\text{C}$ . Материал фланца — сталь 12Х18Н10Т, материал болтов — сталь 35Х. Фланцы неизолированные, приварныестык, имеют уплотнительную поверхность типа «шип-паз». Внешние изгибающий момент и осевая сила отсутствуют. Коэффициент прочности сварных швов  $\varphi = 1$ .

**Решение.** Заданная конструкция фланца представлена на рис. 19.20,  $a$ , а тип уплотнительной поверхности — на рис. 19.20,  $b$ .

1. Конструктивные размеры фланца. Толщина втулки принята  $s_0 = 38$  мм, что удовлетворяет условию:

$$s < s_0 < 1,3s \quad (34 < 38 < 1,3 \cdot 34)$$

$$s_0 - s < 5 \text{ мм} \quad (38 - 34 = 4 \text{ мм} < 5 \text{ мм}).$$

Толщина  $s_1$ , втулки по формуле

$$s_1 = \beta_1 s_0 = 2 \cdot 38 = 76 \text{ мм},$$

где  $\beta_1 = 2$  при  $D/s_0 = 1600/38 = 42,1$  (см. рис. 19.12).

Высота втулки принимается по формуле:

$$h_B \geq \frac{1}{4} (s_1 - s_0) = \frac{1}{4} (76 - 38) = 114 \text{ мм.}$$

Принимаем  $h_B = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м.}$

Эквивалентная толщина втулки фланца

$$s_{\text{эк}} = s_0 \left[ 1 + \frac{h_B (\beta_1 - 1)}{h_B + 0,25 (\beta_1 + 1) \sqrt{Ds_0}} \right] = 38 \left[ 1 + \frac{120 (2 - 1)}{120 + 0,25 (2 + 1) \sqrt{1600 \cdot 38}} \right] = 52,95 \text{ мм.}$$

Диаметр болтовой окружности по формуле:

$$D_6 \geq D + 2(s_1 + d_6 + u) = 1600 + 2(76 + 48 + 6) = 1860 \text{ мм},$$

где  $u = 6 \text{ мм}$ ;  $d_6 = 48 \text{ мм}$  при  $p_p = 4 \text{ МПа}$  и  $D = 1600 \text{ мм}$  (см. табл. 19.26). Принимаем  $D_6 = 1870 \text{ мм} = 1,87 \text{ м.}$

Наружный диаметр фланца

$$D_H \geq D_6 + a = 1870 + 92 = 1962 \text{ мм},$$

где  $a = 92 \text{ мм}$  — для шестиграных гаек M48 (см. табл. 19.27). Принимаем  $D_H = 1970 \text{ мм} = 1,97 \text{ м.}$

Наружный диаметр прокладки по формуле:

$$D_{H,n} = D_6 - e = 1870 - 61 = 1809 \text{ мм},$$

где  $e = 61 \text{ мм}$  — для плоских прокладок при  $d_6 = 48 \text{ мм}$  (см. табл. 19.27).

Средний диаметр прокладки

$$D_{c,n} = D_{H,n} - b = 1809 - 20 = 1789 \text{ мм} = 1,789 \text{ м.}$$

где  $b = 20 \text{ мм}$  — ширина плоской неметаллической прокладки для диаметра аппарата  $D = 1600 \text{ мм}$  (см. табл. 19.25).

Количество болтов по формуле:

$$n_6 \geq \pi D_6 / t_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 1870 / 105,8 = 55,53,$$

где  $t_{\text{ш}} = 2,2d_6 = 2,2 \cdot 48 = 105,8 \text{ мм}$  — шаг расположения болтов при  $p_p = 4 \text{ МПа}$ , выбранный по табл. 19.29.

Принимаем  $n_6 = 56$ , кратное четырем.

Высота (толщина) фланца по формуле:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{Ds_{\text{эк}}} = 0,447 \sqrt{1600 \cdot 52,95} = 130,11 \text{ мм},$$

где  $\lambda_{\phi} = 0,447$  — для  $p_p = 4 \text{ МПа}$  и приварных встык фланцев (см. рис. 19.14). Принимаем  $h_{\phi} = 140 \text{ мм} = 0,14 \text{ м.}$

Расстояние между опорными поверхностями гаек для фланцевого соединения с уплотнительной поверхностью типа «шип—паз» (ориентировано)

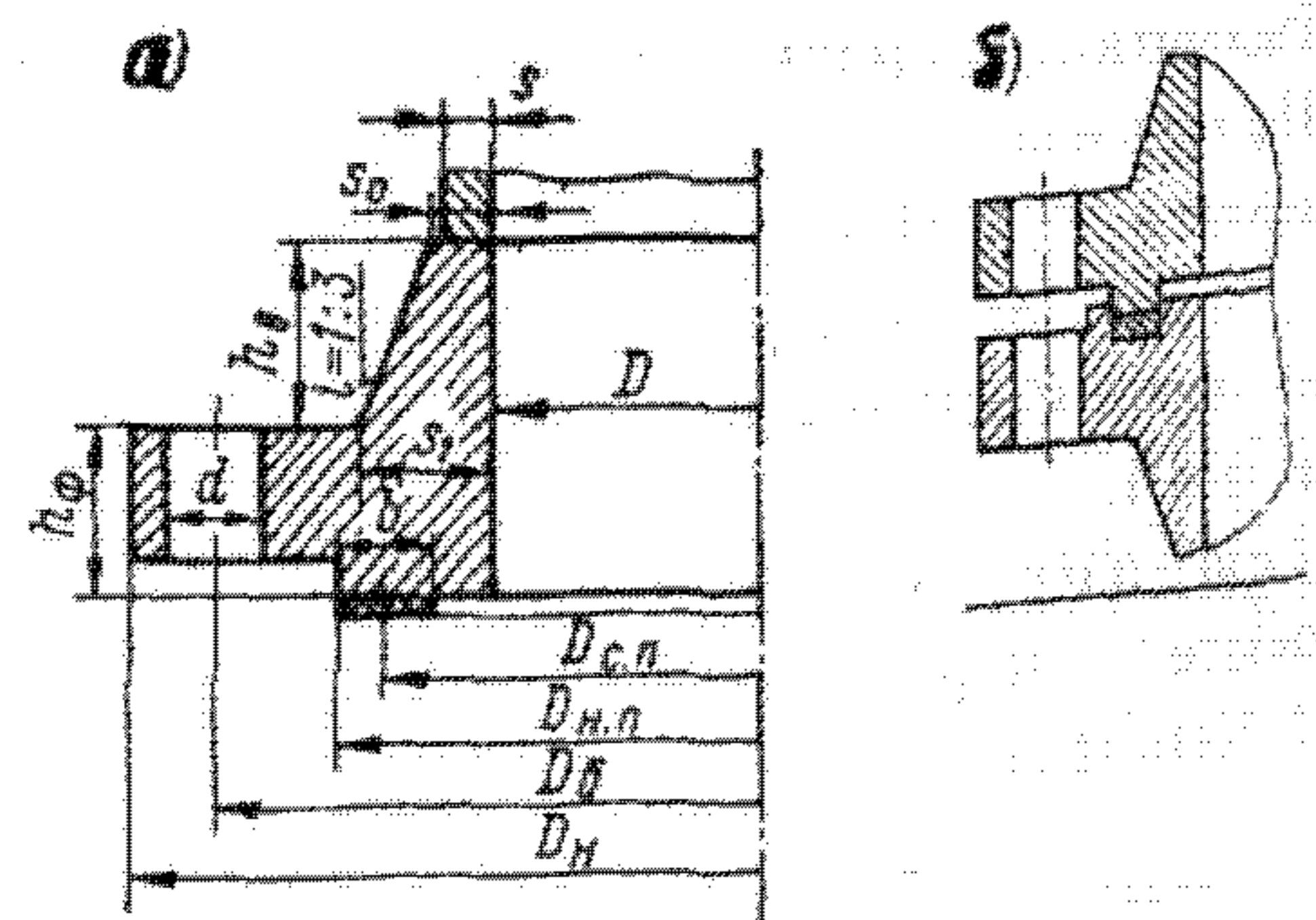


Рис. 19.20. Конструкция фланца и тип уплотнительной поверхности

$$l_{6,0} \approx 2(h_\phi + h_n) = 2(140 + 2) = 284 \text{ мм} = 0,284 \text{ м},$$

где  $h_n = 2 \text{ мм}$  — высота (толщина) стандартной прокладки.

## 2. Нагрузки, действующие на фланец. Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d = p_p \pi D_{c,n}^2 / 4 = 4 \cdot 3,14 \cdot 1,789^2 / 4 = 10,05 \text{ МН}.$$

Реакция прокладки по формуле:

$$R_n = \pi D_{c,n} b_0 m p_p = 3,14 \cdot 1,789 \cdot 16,97 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 4 = 0,98 \text{ МН},$$

где  $m = 2,5$  — для паронита (см. табл. 19.28);  $b_0$  — эффективная ширина прокладки ( $b_0 = 1,9 \sqrt{b} = 1,9 \sqrt{20 \cdot 10^{-3}} = 16,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ).

Усилие, возникающее от температурных деформаций, по формуле:

$$F_t = \frac{y_b l_0 f_b E_b (\alpha_\phi t_\phi - \alpha_b t_b)}{y_a + y_b + 0,5 y_\phi (D_b - D_{c,n})^2},$$

где  $\alpha_\phi = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{°C}$  и  $\alpha_b = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{°C}$  — соответственно коэффициенты линейного расширения материала фланцев (12Х18Н10Т) и болтов (35Х);  $t_\phi = 0,96t = 0,96 \cdot 113,5 = 109^\circ\text{C}$  — расчетная температура неизолированных фланцев (см. табл. 19.21);  $t_b = 0,95t = 0,95 \cdot 113,5 = 107,8^\circ\text{C}$  — расчетная температура болтов (см. табл. 19.21);  $E_b = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  — для болтов из стали 35Х;  $f_b = 14,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  — для болтов диаметром  $d_b = 48 \text{ мм}$ ;  $n_b$  — количество болтов ( $n_b = 56$ );  $y_a$ ,  $y_n$ ,  $y_\phi$  — податливости, соответственно болтов, прокладки, фланцев, вычисляемые по формулам:

$$y_b = l_0 / (E_b f_b l_0) = 0,297 / (1,9 \cdot 10^5 \cdot 14,4 \cdot 10^{-4} \cdot 56) = 19,34 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН},$$

где  $l_0 = l_{6,0} + 0,28d_b = 0,284 + 0,28 \cdot 0,048 = 0,297 \text{ м}$  — расчетная длина болта;

$$y_n = h_n / (E_n \pi D_{c,n} b) = 2 \cdot 10^{-3} / (2000 \cdot 3,14 \cdot 1,789 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН},$$

где  $E_n = 2000 \text{ МПа}$  — для прокладки из паронита (см. табл. 19.28);

$$\begin{aligned} y_\phi &= [1 - v(1 + 0,9\lambda'_\phi)] \psi_2 / (h_\phi^3 E) = \\ &= [1 - 0,561(1 + 0,9 \cdot 0,481)] 9,6 / (0,14^3 \cdot 2 \cdot 10^5) = 3,46 \cdot 10^{-3} \text{ 1/(МН} \cdot \text{м}), \end{aligned}$$

где

$$\lambda'_\phi = h_\phi / \sqrt{D s_{ek}} = 0,14 / \sqrt{1,6 \cdot 52,95 \cdot 10^{-3}} = 0,481;$$

$$\psi_2 = (D_R + D) / (D_R - D) = (1,97 + 1,6) / (1,97 - 1,6) = 9,6;$$

$$v = \frac{1}{1 + 0,9\lambda'_\phi (1 + \psi_1 h_\phi^2 / s_{ek}^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,481 (1 + 0,116 \cdot 0,14^2 / 0,053^2)} = 0,561$$

при  $\psi_1 = 1,28 \lg (D_n/D) = 1,28 \lg (1,97/1,6) = 0,116$ ;  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  — для фланца из стали 12Х18Н10Т.  
Тогда

$$F_t = \frac{19,34 \cdot 10^{-6} \cdot 56 \cdot 14,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5 (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 109 - 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 107,8)}{8,9 \cdot 10^{-6} + 19,34 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 3,46 \cdot 10^{-3} (1,87 - 1,789)} = 2,69 \text{ МН}.$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения по формуле:

$$k_{jk} = \frac{y_b + 0,5y_\phi(D_6 - D - s_{jk})(D_6 - D_{c,n})}{y_n + y_b + 0,5y_\phi(D_6 - D_{c,n})^2} =$$

$$= \frac{19,34 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 3,46 \cdot 10^{-3}(1,87 - 1,6 - 52,95 \cdot 10^{-3})(1,87 - 1,789)}{8,9 \cdot 10^{-6} + 19,34 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 3,46 \cdot 10^{-3}(1,87 - 1,789)^2} = 1,26.$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа до подачи внутреннего давления

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{jk} F_d + R_n = 1,26 \cdot 10,05 + 0,95 = 13,61 \text{ МН} \\ 0,5\pi D_{c,n} b_0 q = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,789 \cdot 16,97 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,96 \text{ МН} \end{array} \right\} = 13,61 \text{ МН},$$

где  $q = 20$  МПа для паронитовой прокладки (см. табл. 19.28).

Болтовая нагрузка в рабочих условиях по формуле:

$$F_{62} = F_{61} + (1 - k_{jk}) F_d + F_t = 13,61 + (1 - 1,26) 10,05 + 2,69 = 13,69 \text{ МН}.$$

Приведенный изгибающий момент по формуле:

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5(D_6 - D_{c,n}) F_{61} = 0,5(1,87 - 1,789) 13,61 = 0,55 \text{ МН} \cdot \text{м} \\ 0,5[(D_6 - D_{c,n}) F_{62} + (D_{c,n} - D - s_{jk}) F_d] [\sigma]_{20}/[\sigma] = \\ = 0,5[(1,87 - 1,789) 13,69 + (1,789 - 1,6 - 52,95 \cdot 10^{-3}) 10,05] \times \\ \times 160/150,4 = 1,32 \text{ МН} \cdot \text{м} \\ = 1,32 \text{ МН} \cdot \text{м}, \end{array} \right\} =$$

где  $[\sigma]_{20} = 160$  МПа;  $[\sigma] = 150$  МПа — соответственно допускаемые напряжения для материала фланца при  $20^\circ\text{C}$  и расчетной температуре  $t = 113,5^\circ\text{C}$ .

3. Проверка прочности и герметичности соединения. Условия прочности болтов выполняются:

$$F_{61}/(n_b f_b) < [\sigma]_{6,20} \quad 13,61/(56 \cdot 14,4 \cdot 10^{-4}) = 168,8 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа};$$

$$F_{62}/(n_b f_b) < [\sigma]_6 \quad 13,69/(56 \cdot 14,4 \cdot 10^{-4}) = 169,8 \text{ МПа} < 229 \text{ МПа},$$

где  $[\sigma]_{6,20} = 230$  МПа;  $[\sigma]_6 = 229$  МПа — для материала болтов при  $+20^\circ\text{C}$  и расчетной температуре  $t_6 = 107,8^\circ\text{C}$  (см. табл. 19.22).

Условие прочности неметаллической прокладки из паронита выполняется:

$$F_{6, \max}/(\pi D_{c,n} b) < [q_{np}] \quad 13,69/(3,14 \cdot 1,789 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) = 121,85 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа},$$

где  $[q_{np}] = 130$  МПа — для прокладки из паронита (см. табл. 19.22);  $F_{6, \max} = \max \{F_{61}; F_{62}\} = \max \{13,61 \text{ МПа}; 13,69 \text{ МПа}\} = 13,69 \text{ МПа}$ .

Максимальное напряжение в сечении фланца, ограниченном размером  $s_1$ , по формуле:

$$\sigma_1 = T_\Phi M_0 v / [D^* (s_1 - c)^2] = 1,82 \cdot 1,32 \cdot 0,561 / [1,6 (0,076 - 0,001)^2] = 149,23 \text{ МПа},$$

где  $D^* = D = 1,6$  м при  $D > 20s_1$  ( $1600 > 20 \cdot 76 = 1520$ );

$$T_\Phi = \frac{D_h^2 [1 + 8,55 \lg(D_h/D)] - D^2}{(1,05D^2 + 1,945D_h^2)(D_h/D - 1)} =$$

$$= \frac{1,97^2 [1 + 8,55 \lg(1,97/1,6)] - 1,6^2}{(1,05 \cdot 1,6^2 + 1,945 \cdot 1,97^2)(1,97/1,6 - 1)} = 1,82.$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером  $s_0$ :

$$\sigma_0 = \psi_3 \sigma_1 = 1,25 \cdot 149,23 = 186,54 \text{ МПа},$$

где  $\psi_3 = 1,25$  при  $\beta = 2$  и  $x = h_B / \sqrt{Ds_0} = 120 / \sqrt{1600 \cdot 38} = 0,487$  (см. рис. 19.18).

Окружное напряжение в кольце фланца по формуле:

$$\sigma_k = M_0 [1 - \nu(1 + 0,9\lambda_\phi)] \psi_2 / (D h_\phi^2) = \\ = 1,32 [1 - 0,56(1 + 0,9 \cdot 0,481)] 9,6 / (1,6 \cdot 0,14^2) = 80,05 \text{ МПа.}$$

Напряжение во втулке от внутреннего давления:

тангенциальное

$$\sigma_t = p_p D / [2(s_o - c)] = 4 \cdot 1,6 / [2(38 - 1) 10^{-3}] = 86,49 \text{ МПа;}$$

меридиональное

$$\sigma_m = p_p D / [4(s_o - c)] = 4 \cdot 1,6 / [4(38 - 1) 10^{-3}] = 43,24 \text{ МПа.}$$

Условие прочности для сечения фланца, ограниченного размером  $s_1 = 76$  мм, выполняется:

$$\sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_m^2 - \sigma_t \sigma_m} < [\sigma]_1; \\ \sqrt{149,23^2 + 80,05^2 - 149,23 \cdot 80,05} = 129,35 \text{ МПа} < 228 \text{ МПа.}$$

где  $[\sigma]_1 = \sigma_t = 228$  МПа — допускаемое напряжение, равное пределу текучести стали 12Х18Н10Т при  $t = 107,8^\circ\text{C}$ .

Условие прочности для сечения, ограниченного размером  $s_o = 38$  мм, выполняется:

$$\sqrt{(\sigma_o + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_o + \sigma_m) \sigma_t} < \varphi [\sigma]_o; \\ \sqrt{(186,54 + 43,24)^2 + 86,49^2 - (186,54 + 43,24) 86,49} = 174,56 \text{ МПа} < 1 \cdot 400 \text{ МПа.}$$

где  $[\sigma]_o = 0,002 E = 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400$  МПа — для фланца из стали 12Х18Н10Т в сечении  $s_o$  при  $p_p = 4$  МПа.

Условие герметичности, определяемое углом поворота фланца, выполняется:

$$\theta = (\sigma_k / E) (D / h_\phi) < [\theta]; \\ \theta = (80,05 / 2 \cdot 10^5) (1,6 / 0,14) = 0,0046 < 0,009 \text{ рад.}$$

где  $[\theta] = 0,009$  рад — допускаемый угол поворота приварногостыка фланца при  $D = 1600$  мм  $< 2000$  мм.

