Основные расчетные параметры

Нормативные ссылки

- **ГОСТ Р 52857.1-2007 - ГОСТ Р 52857.12-2007 «СОСУДЫ И АППАРАТЫ. Нормы и методы расчета на прочность»**

  № 1 – Общие требования

  № 2 – Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек»

  № 3 – Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер

  № 4 – Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений и т.д.

Общие положения

- Расчет на прочность необходимо проводить для всех прогнозируемых состояний сосудов, возникающих во время их эксплуатации, испытания, транспортировки, монтажа.
- При этом следует учитывать все нагрузки и внешние факторы:
  - внутреннее(внешнее)давление,
  - температуру окружающей среды и рабочую,
  - статическое давление
  - нагрузки от массы сосуда и содержимого
  - инерционные нагрузки при движении, остановках и колебаниях, от ветровых и сейсмических воздействий
  - реактивные усилия от опор, креплений, трубопроводов и т.д.
  - нагрузки от стеснённости температурных деформаций
  - усталость при переменных нагрузках, эрозию, коррозию и т.д.

Температура

- ***Рабочая температура*** $t_{раб}$ – это температура содержащейся или перерабатываемой среды в аппарате при нормальном протекании в нем технологического процесса.
- ***Расчетная температура*** $t_{рас}$ – это температура стенки для определения физико-механических характеристик конструкционного материала и допускаемых напряжений.

Определение расчетной температуры

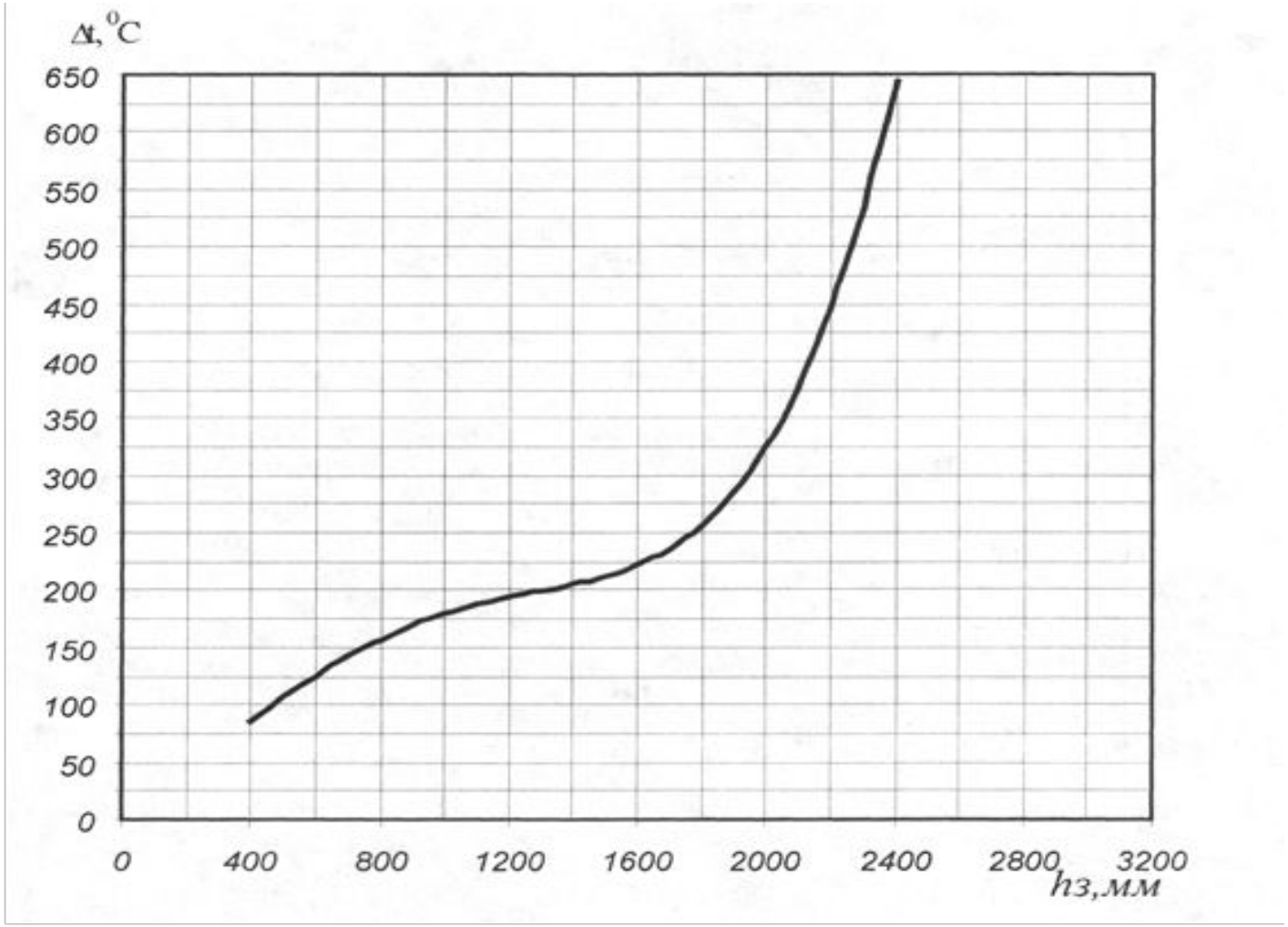
- Расчетная температура корпуса

$$t_{рас}=max\{ t_{раб} ; 20\ ^{o}C\},$$

- Расчетная температура опоры

$$t_{рас\ оп.}=max\{ t_{рас} - \Delta t; 20\ ^{o}C\},$$

Зависимость перепада температуры от высоты опоры



- При температуре ниже 20°С за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений принимают температуру 20 ^{o}С.
- При обогреве открытым пламенем, отработанными газами, отработанными газами или электронагревателями расчетную температуру принимают равной температуре среды, увеличенной на 20 0С при закрытом обогреве и на 50 0С при прямом обогреве, если нет более точных данных

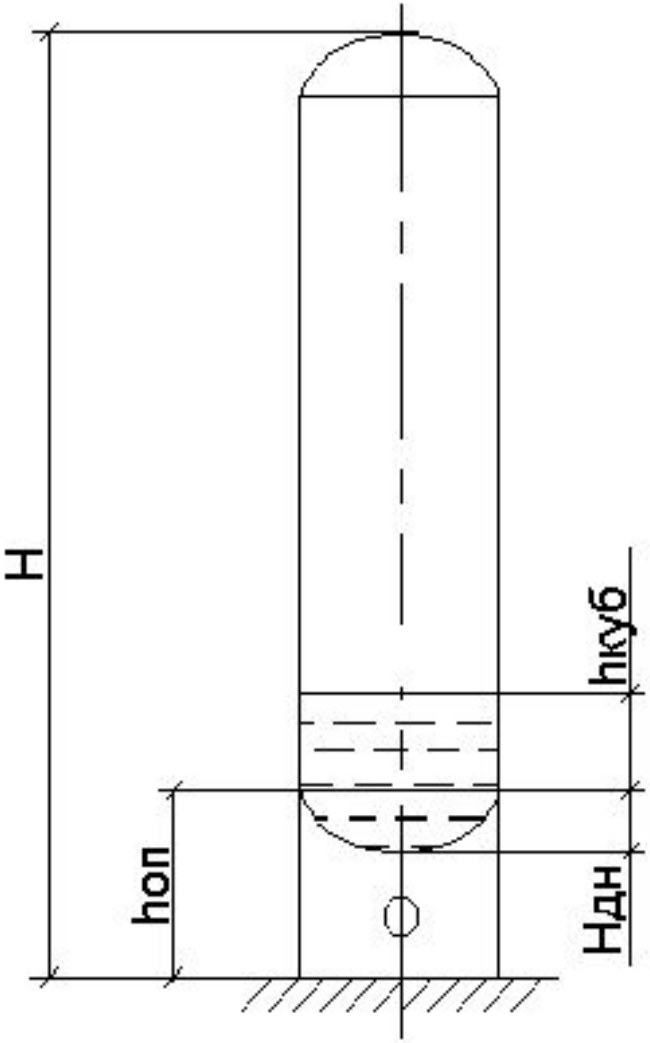
Давление

- **Рабочее давление $P_{раб}$** – максимальное внутреннее избыточное или наружное давление среды в аппарате при нормальном протекании технологического процесса без учета гидростатического давления и допускаемого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного устройства (клапана и др.).

  Если технологический процесс в аппарате протекает при разрежении, то рабочим давлением является вакуум.
- ***Расчетное давление $P_{рас}$*** – максимальное допускаемое рабочее давление, на которое производится расчет на прочность и устойчивость элементов аппарата при максимальной их температуре.
- Для аппаратов, работающих под вакуумом, **расчетное наружное давление** $p_{рас}$ = 0,1 МПа

Расчетное давление для рабочих условий

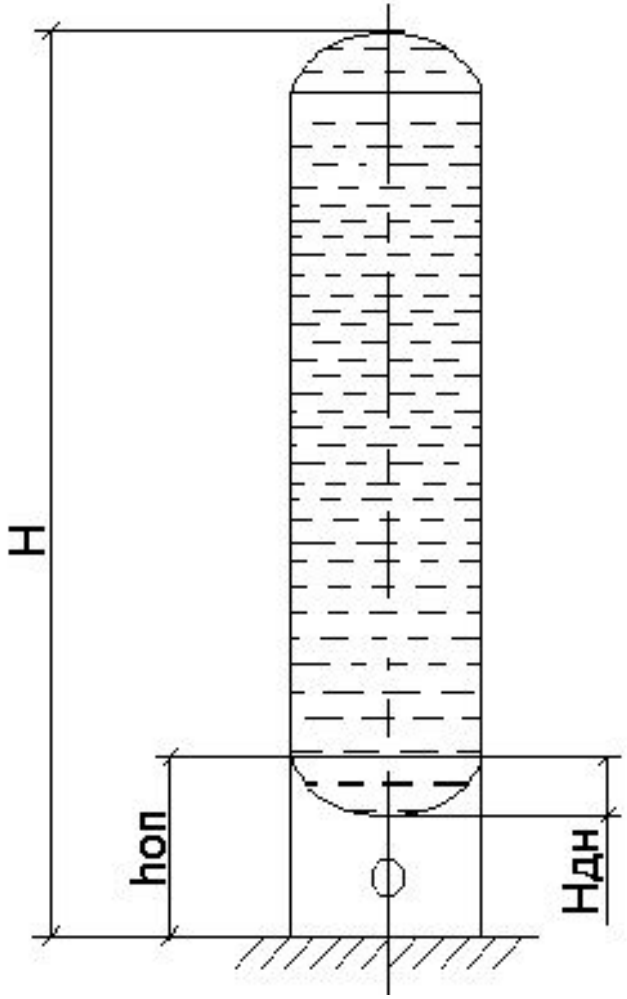
- $P_{рас} = P_{раб} + P_{г}$
- $P_{г} = \rho_{р.ж.} g h_{р.ж.}$
- $h_{р.ж.} = H_{куб} + H_{дн}$



Рекомендуемые значения расчетного давления для некоторых сред

Фракция/вещество	Рекомендуемое расчетное давление, не менее, МПа
C_2	2,0
C_3 (всасывающая линия)	1,6
C_3 (нагнетательная линия)	2,0
C_4	0,6
C_5	0,3
Аммиак	1,6
Фреон 12	1,0
Сернистый ангидрид	0,8
Хлористый метил	0,9
Углекислый газ	7,6

Расчетное давление для условий гидроиспытаний



- $P_{рас} = P_{пр} + P_г$
- $P_{пр} = 1{,}25 P_{рас} [\sigma]_{20} / [\sigma]_t$
- $P_г = \rho_в g h_в$
- $h_в = (H - h_{оп}) + H_{дн}$

Пробное давление

- ***Пробное давление*** $p_{пр}$ – избыточное давление, на которое аппарат испытывается на прочность и плотность после его изготовления и периодически при экс плуатации.

Пробные давления в сварных химических аппаратах (ОСТ 26 – 29194)

$p_{рас}$	$p_{пр}$, МПа
Вакуум	max {1,5 $p_{рас}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]_t$; 0,2}
Избыточное свыше 0 до 0,07	
≥ 0,07 до 0,5	0,2
≥0,5	max {1,5 $p_{рас}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]_t$; 0,2}*
≥ 0,07 (для литых изделий)	max [1,25 $p_{рас}$ $[\sigma]_{20}$ $[\sigma]_t$; p_R + 0,3}*
Отсутствует	max {1,5 $p_{рас}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]_t$; 0,3}
	Налив воды

Примечания: 1. Значение пробного гидравлического давления для аппаратов, работающих при минусовых температурах, принимается таким же, как при t = 20 ^{0}C.
2. Отношение $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$ принимается для материала, применяемого в аппарате, для которого оно является наименьшим (обечайки, днища, аппаратные фланцы и их крепежные детали, патрубки и др.).
* При наружном давлении, если указанные значения требуют утолщения стенки, допускается.

Условное давление

Условное давление (номинальное) Ру (МПа) - избыточное рабочее давление при температуре элемента аппарата 20°С (без учета гидростатического давления).

- Характеризует то давление, которое выдержит изделие при 20 ^{0}С.
- Применяется для стандартизации изделий (например фланцев и т.д.)

Условные и рабочие давления для изделий из углеродистых сталей при различных температурах среды

Условное давление, МПа	Наибольшее рабочие давления (в МПа) при температурах среды, °С						
	200	250	300	350	400	425	450
0.1	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	-
0.25	0.25	0.22	0.2	0.18	0.16	0.14	0.12
0.4	0.4	0.37	0.33	0.3	0.28	0.23	0.18
0.6	0.6	0.56	0.5	0.45	0.4	0.36	0.25
1	1	0.9	0.8	0.7	0.64	0.56	0.4
1.6	1.6	1.4	1.25	1.1	1	0.9	0.64
2.5	2.5	2.2	2	1.8	1.6	1.4	1
4	4	3.6	3.2	2.8	2.5	2.2	1.6
6.4	6.4	5.6	5	4.5	4	3.6	2.5
10	10	9	8	7.1	6.4	5.6	4

Допускаемое напряжение при расчете по предельным нагрузкам аппаратов, работающих при статических однократных нагрузках, МПа

- – для углеродистых и низкоуглеродистых сталей

$$[\sigma] = \eta \min\left\{\frac{\sigma_{\text{т}} \text{ или } \sigma_{\text{т}0,2}}{n_{\text{т}}}; \frac{\sigma_{\text{в}}}{n_{\text{в}}}; \frac{\sigma_{\text{д}10^5}}{n_{\text{д}}}; \frac{\sigma_{\text{п}1,0/10^5}}{n_{\text{п}}}\right\}$$

Допускаемые напряжения для условий испытаний

- – для углеродистых и низкоуглеродистых сталей

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{т}}^{20} \text{ или } \sigma_{\text{т}0,2}^{20}}{n_{\text{т}}}$$

где $\sigma_{\text{т}}$ -минимальное значение предела текучести;

$\sigma_{\text{т}0,2}$- минимальное значение условного предела текучести, при котором остаточное удлинение составляет 0,2%;

$\sigma_{\text{т}}^{20}$ - минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С;

$\sigma_{\text{т}0,2}^{20}$ – минимальное значение условного предела текучести при температуре 20°С, при которых остаточные удлинения составляет соответственно 0,2 %;

$\sigma_{\text{д}10^5}$ – среднее значение предела длительной прочности за 10^5 ч при расчетной температуре;

$\sigma_{\text{в}}$ - минимальное значение временного сопротивления (предела прочности);

$\sigma_{\text{п}1,0/10^5}$ - среднее значение 1 %-го предела ползучести за 10^5 ч

Значения коэффициентов запаса прочности в расчетах на прочность

Условие нагружения	Коэффициент запаса прочности			
	$n_т$	$n_в$	$n_д$	$n_п$
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0
Условия испытаний:				
гидроиспытания	1,1	-	-	-
пневмоиспытания	1,2	-	-	-
Условия монтажа	1,1	-	-	-

Коэффициент η

- Поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям должен быть равен единице, за исключением стальных отливок, для которых коэффициент η имеет следующие значения:
- 0,8 – для отливок, подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами;
- 0,7 – для остальных отливок.

Коэффициент прочности сварного шва

Коэффициентом прочности сварного шва ф называется отношение прочности шва к прочности основного материала. Коэффициент прочности сварного шва показывает, равна или меньше прочность сварного шва по отношению к прочности основного металла.

Коэффициент (**ф**) может изменяться **от 0,6 до 1**.

Если φ = 1, то сварной шов **равнопрочен** основному металлу, если **ф** меньше 1, то прочность сварного шва меньше, чем прочность основного металла. В этом случае при расчете толщины стенки допускаемое напряжение уменьшается пропорционально значению коэффициента прочности сварного шва, т.е. в формуле для расчета толщины стенки допускаемое напряжение [σ] умножается на коэффициент **ф**.

Коэффициент прочности сварного шва (ф) зависит от:

- **вида сварного шва и способа сварки** (таблица А.1) - стыковкой или тавровой с двухсторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической, полуавтоматической сваркой или вручную и т.д.
- **длины контролируемых швов в процентах от общей длины** (от 10 до 100 % от общей длины).

Способ выполнения сварного шва (выполняется автоматической, полуавтоматической или ручной сваркой) **определяется категорией аппарата, которая выбирается в зависимости от возможности транспортировать аппарат целиком или соответствующими частями с соединением сваркой или на фланцах на монтажной площадке.**

Длина контролируемых швов в % от общей длины сварных швов зависит от **группы** аппарата.

Группа аппарата

Группа	Расчетное давление, МПа	Температура стенки,°С	Рабочая среда
1	Более 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1-го, 2-го класса опасности
2	Более 0,07 (0,7) До 2,5 (25)	Выше 400	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Более 2,5 (25) До 5,0 (50)	Выше 200	
	Более 5,0 (50)	Независимо	
	Более 4,0 (40) До 5,0 (50)	Ниже минус 40	
3	Более 0,07 (0,7) До 1,6 (16)	Ниже 20 От 200 до 400	
	Более 1,6 (16) До 2,5 (25)	До 400	
	Более 2,5 (25) До 4,0 (40)	До 200	
	Более 4,0 (40) До 5,0 (50)	От минус 40 до 200	
4	Более 0,07 (0,7) До 1,6 (16)	От минус 20 до 200	
5а	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1-го, 2-го, 3-го классов опасности
5б	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывобезопасная или пожаробезопасная или 4-го класса опасности

Объем контроля сварных соединений

Стальные сварные аппараты, в зависимости от расчетного давления, температуры стенки (расчетной температуры) и свойств рабочей среды (взрывоопасная или пожароопасная или 1-го, 2-го опасности, взрывобезопасная или пожаробезопасная или 4-го класса опасности и т.д.) подразделяются на **пять групп.** Пятая группа в свою очередь подразделяется на группы 5а и 5б . Сосуды, работающие под вакуумом или без давления (под наливом), независимо от расчетного давления следует отнести к группе 5а или 5б.

Длина контролируемых швов для аппаратов 1-й группы – 100 % всех сварных швов; 2-й и 3-й групп – 50 %; 4-й группы – 25 %; для остальных – 10 %.

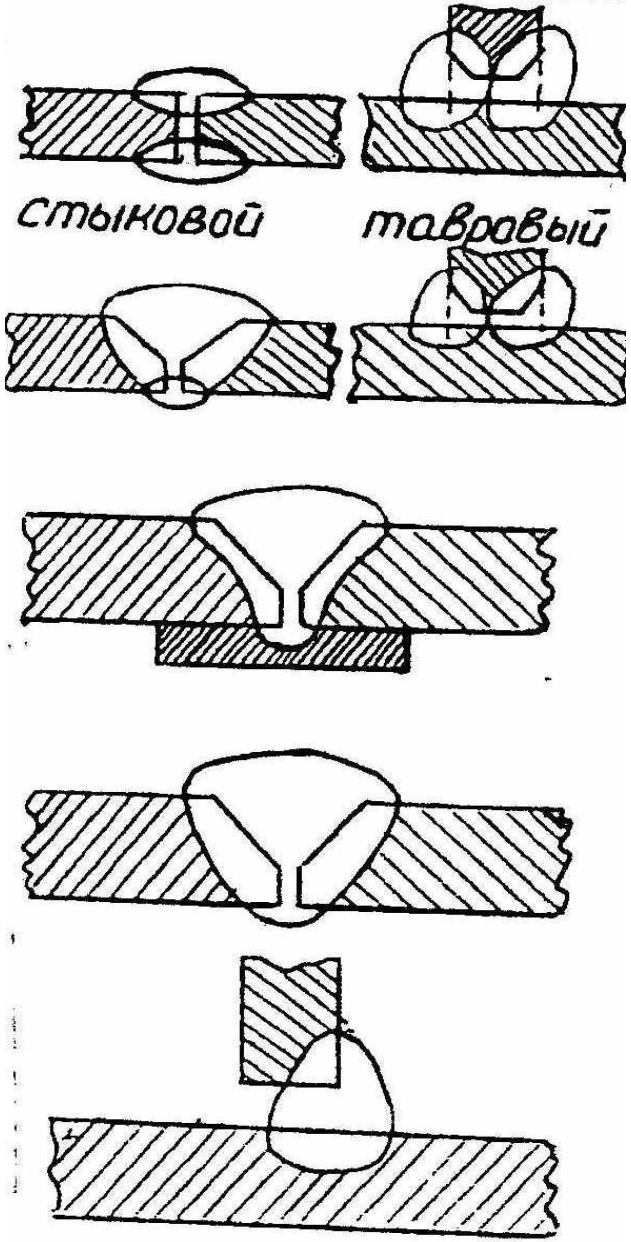
Группа аппарата	Объем контроля сварных соединений, %
1, 2	100
3	50
4, 5а	25
5б	10

Категории аппаратов

К перевозке по железной дороге целиком в зависимости от категории допускаются аппараты, имеющие значения массы, диаметра и длины, не превышающие, указанные в таблице.

- Если **аппарат допускается к перевозке по железной дороге целиком**, то применяется **стыковой или тавровый шов с двухсторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической сваркой**.
- В случае, если хотя бы одно из значений m, D или L будет большим, чем указано в таблице, **аппарат должен транспортироваться по железной дороге соответствующими частями**. **В этом случае обычно шов стыковкой с подваркой корня шва или тавровый с двухсторонним сплошным проваром, выполняемый вручную.**

Категория	m,кг	D, мм	L, м
1	120000	3200	48
2	120000	3800	37
3	120000	4000	21
4	240000	3900	22
5	400000	4380	11


стыковой
тавровый

Значения коэффициента прочности сварных швов

Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварных швов для стальных сосудов и аппаратов		Вид сварочного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварных швов для стальных сосудов и аппаратов	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50 %*		Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50 %*
Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой	1,0	0,9	Втавр, с конструктивным зазором свариваемых деталей	0,8	0,65
Стыковой с подваркой корня шва или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый вручную	1,0	0,9	Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой	0,9	0,8
Стыковой, доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу	0,9	0,8	Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны	0,9	0,65

* Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление