

## Практическая работа №23

**Тема:** Расчет сварных соединений трубопроводов

**Цель:** Научиться проводить расчет на прочность продольных и кольцевых стыков трубопроводов

### *Порядок выполнения:*

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями
2. Провести расчет на прочность продольных и кольцевых стыках трубопроводов в соответствии с вариантом
3. Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
4. Представить **отчет по практической работе и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна*.

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

### *Теоретические сведения*

#### **Порядок расчета**

1. Определение толщины стенок стальных труб:

$$t = \frac{P_y * D_H}{2\left(\frac{\sigma_T * m * k}{n} + P_y\right)}, \text{ мм}$$

где  $P_y$  - наибольшее избыточное давление при температуре продукта транспортировки или окружающей среды 20<sup>0</sup>С, МПа (см. табл. 1)

$D_H$  – внешний диаметр трубы, мм

$\sigma_T$  – предел текучести стали (см.табл. 2)

$m$  - коэффициент условий работы (для трубопроводов 1-2 категории  $m=0,75$ ; 3, 4, 5 категории  $m=0,9$ );

$K = 0,8...0,85$  - коэффициент однородности металла

$n = 1,2$  - коэффициент перегрузки

После получения результата необходимо принять стандартный размер согласно ГОСТ 10704-76 (см. табл.3)

2. Определение напряжения в продольных и кольцевых стыках трубопроводов

Для продольных стыков:  $\sigma = \frac{P_y * r}{t}, \text{ МПа}$

Для кольцевых стыков:  $\sigma = \frac{P_y * r}{2t}, \text{ МПа}$

где  $r$  - радиус трубопровода, мм

t - принятый размер стенки трубопровода, мм

3. Определение допустимого напряжения в шве

Для автоматической сварки:

$$[\sigma'] = [\sigma]_p, \text{ МПа}$$

Для ручной сварки:

$$[\sigma'] = 0,9 * [\sigma]_p, \text{ МПа}$$

$$\text{где } [\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{1,4 \dots 1,6}, \text{ МПа}$$

Определение допустимого усилия в кольцевом шве:

$$P = [\sigma'] * t * l_M, \text{ кН}$$

где  $l_M = 2\pi * r$  - длина шва, см

4. Определение гидравлического давления в трубопроводе для проверки прочности сварных швов

$$p = \frac{200 * t * [R]}{D_e}, \text{ МПа}$$

где t - толщина стенки трубопровода, м

$D_B = D_H - 2 * t$  - внутренний диаметр трубопровода, мм

$[R] = 0,4 * [\sigma]_B$  - допустимое напряжение, которое равняется 40% временного сопротивления материала трубопровода, МПа

После расчета следует перевести значение давления с МПа в атмосферы, учитывая такие зависимости:

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па};$$

$$133 \text{ Па} = 1 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$760 \text{ мм. рт. ст.} = 1 \text{ ат}$$

Таблица 1

Рабочие параметры применения электросварных труб для трубопроводов пара и горячей воды

Марка стали	Предельные рабочие параметры	
	$P_y$ , МПа	Температура, °С
09Г2	2,5	350
ВСт3кп1	2	300
10Г2С1	2,5	350
18пс	1,6	300
14Г2	2,5	425

Таблица 2

Расчетные сопротивления листового проката для стальных конструкций

Марка стали	Толщина проката, мм	Расчетное сопротивление, МПа	
		Предел текучести	Временное сопротивление
09Г2	4...10	310	440
	11...20	300	430
ВСт3кп1	4...10	220	345
	11...20	210	340
10Г2С1	4...9	330	465
	10...20	320	455

18пс	4...20	230	360
14Г2	4...9	320	440
	10...32	310	430

Таблица 3

Электросварные прямошовные трубы

$D_H$ , мм	$t$ , мм	$D_H$ , мм	$t$ , мм
83	2, 2,5, 3	325	5, 5,5, 6, 7, 8
89	2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5	377	5, 5,5, 6, 7, 8, 9, 10
114	2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5	426	5, 5,5, 6, 7, 8, 9, 10
127	3, 3,5, 4	530	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
140	3,5, 4	630	7, 8, 9, 10, 11, 12
152	3,5, 4	720	8, 9, 10, 11, 12
159	3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6	820	8, 9, 10, 11, 12, 14, 15
168	4, 4,5, 5, 5,5, 6	1020	8, 9, 10, 12, 14
219	4, 4,5, 5, 5,5, 6, 7, 8	1220	10, 11, 12, 14, 15
273	4,5, 5, 5,5, 6, 7, 8	1420	12, 14, 15, 16, 17

Задание для практической работы

Рассчитать сварные соединения стального трубопровода заданной категории при заданном внешнем диаметре  $D_H$  и заданном способе сварки

Исходные данные по вариантам

№ вар.	Материал	$D$ , мм	Категория трубопровода	Способ сварки
1	09Г2	83	1	ручная
2	18пс	89	2	ручная
3	ВСт3кп1	114	3	ручная
4	14Г2	127	4	ручная
5	10Г2С1	140	5	ручная
6	09Г2	152	1	ручная
7	18пс	168	2	ручная
8	ВСт3кп1	219	3	ручная
9	14Г2	1020	4	автоматическая
10	10Г2С1	1220	5	автоматическая
11	09Г2	1420	1	автоматическая
12	18пс	377	2	ручная
13	ВСт3кп1	426	3	ручная
14	14Г2	530	4	ручная
15	10Г2С1	630	5	ручная
16	09Г2	273	1	ручная
17	18пс	140	2	автоматическая
18	ВСт3кп1	1220	3	автоматическая
19	14Г2	1420	4	автоматическая

20	10Г2С1	140	5	ручная
21	09Г2	1220	1	ручная
22	18пс	1420	2	автоматическая
23	ВСт3кп1	377	3	ручная
24	14Г2	426	4	ручная
25	10Г2С1	1020	5	автоматическая
26	09Г2	1220	1	автоматическая
27	18пс	1420	2	автоматическая
28	ВСт3кп1	140	3	ручная
29	14Г2	152	4	ручная
30	10Г2С1	168	5	ручная

### Пример выполнения практической работы

Рассчитать сварные соединения стального трубопровода ( сталь ВСт3кп1) 3-й категории при внешнем диаметре  $D_H = 325$  мм и ручной сварке.

1. Определение толщины стенок стальных труб:

$$t = \frac{P_y * D_H}{2(\frac{\sigma_T * m * k}{n} + P_y)} = \frac{2 * 325}{2(\frac{220 * 0,9 * 0,8}{1,2} + 2)} = 2,42 \text{ мм}$$

$$P_y = 2 \text{ МПа}$$

$$D_H = 325 \text{ мм}$$

$$\sigma_T = 220 \text{ МПа}$$

$$m = 0,9$$

$$K = 0,8$$

$$n = 1,2$$

Принимаем стандартный размер согласно ГОСТ 10704-76 -  $t = 5$  мм

2. Определение напряжения в продольных и кольцевых стыках трубопроводов

Для продольных стыков:

$$\sigma = \frac{P_y * r}{t} = \frac{2 * 162,5}{5} = 65 \text{ МПа}$$

Для кольцевых стыков:

$$\sigma = \frac{P_y * r}{2t} = \frac{2 * 162,5}{2 * 5} = 32,5 \text{ МПа}$$

где  $r = 162,5$  мм - радиус трубопровода

$t = 5$  мм- принятый размер стенки трубопровода

3. Определение допустимого напряжения в шве

Для ручной сварки:

$$[\sigma'] = 0,9 * [\sigma]_p = 0,9 * 147 = 132 \text{ МПа} = 13,2 \text{ кН/см}^2$$

$$\text{где } [\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{1,4 \dots 1,6} = \frac{220}{1,4 \dots 1,6} = 147 \text{ МПа} = 14,7 \text{ кН/см}^2$$

Определение допустимого усилия в кольцевом шве:

$$P = [\sigma'] * t * l_M = 13,2 * 0,05 * 102 = 79,2 \text{ кН}$$

где  $l_M = 2\pi * r = 2 * 3,14 * 162,5 = 1020,5 \text{ мм} = 102 \text{ см}$  - длина шва

4. Определение гидравлическое давление в трубопроводе для проверки прочности сварных швов

$$p = \frac{t \cdot [R]}{D_e} = \frac{0,005 \cdot 138}{0,315} = 2,19 \text{ МПа}$$

где  $t = 0,005$  м- толщина стенки трубопровода

$D_B = D_H - 2 \cdot t = 325 - 2 \cdot 5 = 315$  мм внутренний диаметр трубопровода

$[R] = 0,4 \cdot [\sigma]_B = 0,4 \cdot 345 = 138$  МПа – допустимое напряжение

После расчета переводим значение давления с МПа в атмосферы, учитывая такие зависимости:

1 МПа =  $10^6$  Па;

133 Па = 1 мм. рт. ст.

760 мм. рт. ст. = 1 ат

2,19 МПа =  $2,19 \cdot 10^6$  Па =  $16,5 \cdot 10^3$  мм. рт. ст. = 21,6 ат

### ***Контрольные вопросы:***

- 1 Какие марки сталей применяются в трубопроводах?
- 2 Как зависит значение напряжения в продольных и кольцевых стыках трубопроводов от толщины стенки трубы?
- 3 Как изменится значение напряжения в кольцевых стыках трубопровода при увеличении его диаметра?
- 4 Какие виды коррозии имеют место в оболочковых объектах при действии агрессивных сред?
- 5 Какие существуют меры против коррозионного растрескивания трубопроводов?
- 6 Какие методы обработки повышают коррозионную стойкость?