

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Кафедра «Промышленная безопасность и охрана труда»

Отчет о практической работе по дисциплине

«Техническая диагностика» на тему:

Поверочный расчет стенки вертикального цилиндрического резервуара на
прочность и устойчивость вследствие коррозионного износа

Выполнил: студент гр. ББП-20-02

С.С.Панин

Проверила: доцент, канд. техн. Наук

Е.В. Давыдова

Уфа-2023

ВАРИАНТ 4

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	
Объем резервуара V , м ³	№ 392
номинальный	400
полезный	395
Тип резервуара	вертикальный стальной цилиндрический со стационарной крышей без понтона
Продукт	экстракт
плотность ρ , кг/м ³	970
КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ	
1. КОРПУС (СТЕНКА)	цилиндрический
Количество поясов	6
Толщина поясов, мм	I-VI - 4
Диаметр D , м	8,24
Полная высота H_o , м	8,24
Высота налива продукта (дт) $H_{нал}$, м	7,42
Высота пояса h_i (только верхнего), м	1,5 (0,74)
Материал	Ст3
расчетное сопротивление R_y , МПа	200
модуль упругости E , ГПа	200
2. КРЫША	коническая
толщина, мм	2,5
3. ДНИЩЕ	плоское
толщина, мм	4
НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ	
Нормативные нагрузки, кПа	
избыточное давление $P_{и}$	2
вакуум $q_{вак}$	0,2
ветровая $p_{вет}$	0,3
Вес крыши резервуара с учетом оборудования на крыше Q_n , кН	25
ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ	
Коэффициент надежности по нагрузке для избыточного давления	1,0
Коэффициент условий работы γ_c	
для нижнего пояса	0,7
для остальных поясов	0,8
Припуск на коррозию s , мм	0,2

А К Т

проведения ультразвуковой толщинометрии

от 18 мая 2010 г.

Оборудование – резервуар РВС-400, № 392

1. Объект измерений: Металлические конструкции резервуара: корпус, кровля, днище.

2. Нормативные документы: ГОСТ 20415-82, РД 08-95-95.

3. Средства измерений: ультразвуковой толщиномер ТУЗ-2, зав. № 810, поверен 27.05.09 (свид. № 12 / 1402), паспортная ошибка прибора не более 0,1 мм; стандартные образцы предприятия (из комплекта поставки толщиномера).

4. Результаты измерений. Схема расположения точек замеров прилагается (рис. В1)

4.1. КОРПУС РЕЗЕРВУАРА (из 6 поясов номинальной толщины $t_0 = 4$ мм).

I пояс															
№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_{изм}, мм$	4,5	3,8	3,7	6,3	5,3	6,1	3,9	3,9	4,4	4,2	4,1	4,1	4,1	4,2	4,0
II пояс															
№ точки	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$t_{изм}, мм$	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,0	3,5	3,6	3,5	3,9	3,9	4,1	3,7	3,7	4,3
III пояс				IV пояс				V пояс				VI пояс			
№ точки	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
$t_{изм}, мм$	4,4	4,1	3,9	3,9	4,3	3,5	3,6	3,9	4,2	3,5	3,7	3,9	3,6	3,7	3,5

4.2. КРОВЛЯ РЕЗЕРВУАРА ($t_0 = 2,5$ мм)

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{изм}, мм$	2,4	2,6	2,6	2,5	2,8	2,5	2,5	2,6	2,4	2,4	2,6	2,3
№ точки	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{изм}, мм$	2,5	2,5	2,1	2,5	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,2	2,4	2,2

Примечание. Замеренные толщины кровли выше отбраковочной величины, равной согласно РД 08-95-95 половине номинальной, т.е. $t_{отб} = 1,25$ мм

4.3. ДНИЩЕ РЕЗЕРВУАРА ($t_0 = 4$ мм)

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{изм}, мм$	3,6	3,9	3,8	4,1	3,7	4,0	3,6	3,9	4,1	3,9	4,0	3,8
№ точки	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{изм}, мм$	3,9	3,7	3,5	4,0	3,8	4,1	3,9	3,6	3,9	4,0	3,7	3,5

Примечание. Замеренные толщины днища выше отбраковочной величины, равной согласно РД 08-95-95 половине номинальной, т.е. $t_{отб} = 2,0$ мм.

Цель работы: расчет вертикального цилиндрического резервуара на прочность и устойчивость, малоцикловую усталость, трещиностойкость.

1. Поверочный расчет резервуара на прочность и устойчивость

1.1.1 Расчёт стенки резервуара на прочность.

По формуле определяем кольцевое напряжение в нижней точке каждого пояса. Для первого пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 0) + 1,2 \cdot 2}{3,7} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 80,14 \text{ МПа.}$$

Для второго пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 1,5) + 1,2 \cdot 2}{3,5} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 67,6 \text{ МПа.}$$

Для третьего пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 3) + 1,2 \cdot 2}{3,9} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 45,3 \text{ МПа.}$$

Для четвертого пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 4,5) + 1,2 \cdot 2}{3,9} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 29,92 \text{ МПа.}$$

Для пятого пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 6) + 1,2 \cdot 2}{3,6} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 15,76 \text{ МПа.}$$

Для шестого пояса:

$$\sigma = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 6,74) + 1,2 \cdot 2}{3,5} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = 7,77 \text{ МПа.}$$

По формуле рассчитаем минимальную толщину стенки для каждого пояса, необходимую для обеспечения прочности стенки при действии гидростатического давления.

Для первого пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 200}}}{0,7 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 0) + 1,2 \cdot 2}{0,7 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 2,11 \text{ мм}$$

Для второго пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 200}}}{0,8 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 1,5) + 1,2 \cdot 2}{0,8 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 1,47 \text{ мм}$$

Для третьего пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 200}}}{0,8 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 3) + 1,2 \cdot 2}{0,8 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 1,1 \text{ мм}$$

Для четвертого пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 200}}}{0,8 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 4,5) + 1,2 \cdot 2}{0,8 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 0,72 \text{ мм}$$

Для пятого пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 200}}}{0,8 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 6) + 1,2 \cdot 2}{0,8 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 0,355 \text{ мм}$$

Для шестого пояса:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{\frac{1000 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 355 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 200}}}{0,8 \cdot 200} = \frac{1 \cdot 970 \cdot 10 \cdot (7,42 - 6,74) + 1,2 \cdot 2}{0,8 \cdot 200} \cdot 4,12 \cdot 10^{-3} = \delta 0,17 \text{ мм}$$

Таблица 2 – Результаты расчета стенки резервуара на прочность
Резервуар РВС-400 (продукт – экстракт, высота налива $H_{\text{нал}} = 7,42 \text{ м}$)

Расчетные параметры	П о я с					
	I	II	III	IV	V	VI
Высота столба жидкости H_i , м	7,42	5,92	4,42	2,92	1,42	0
Толщина, мм						
проектная t_0	4	4	4	4	4	4

минимальная замеренная t_{\min}	3,7	3,5	3,9	3,9	3,6	3,5
расчетная t_{\min}	2,11	1,47	1,1	0,72	0,355	0,17
Напряжения, МПа						
фактическое σ_2	80,14	67,6	45,3	29,92	15,76	7,77
допускаемое $\frac{\gamma_c}{\gamma_n} R_y$	140	160	160	160	160	160
Условие прочности $\sigma_2 \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R_y$	вып.	вып.	вып.	вып.	вып.	вып.

1.1.2 Расчёт стенки резервуара на устойчивость.

По формулам и вычислим критические напряжения потери устойчивости:

По формулам вычислим коэффициент С:

$$C = 0,04 + \frac{40 \cdot t_{\min}}{r}, \quad C = 0,04 + \frac{40 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}}{4,12} = 0,074$$

$$\sigma_{cr_1} = C \cdot E \cdot \frac{t_{\min}}{r}, \quad \sigma_{cr_1} = 0,074 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot \frac{3,5}{4120} = 12,95 \text{ Мпа}$$

По формуле вычисляем редуцированную высоту стенки резервуара:

$$H_{ред} = \sum_i h_i \left(\frac{t_{\min}}{t_i} \right)^{2,5}; \quad H_{ред} = \sum_i h_i \left(\frac{t_{\min}}{t_i} \right)^{2,5}$$

$$1,5 \left(\frac{3,5}{3,7} \right)^{2,5} + 1,5 \left(\frac{3,5}{3,5} \right)^{2,5} + 1,5 \left(\frac{3,5}{3,9} \right)^{2,5} + 1,5 \left(\frac{3,5}{3,9} \right)^{2,5} + 1,5 \left(\frac{3,5}{3,6} \right)^{2,5} + 0,74 \left(\frac{3,5}{3,5} \right)^{2,5} = 7,23 \text{ м}$$

$$\sigma_{cr_2} = 0,55 \cdot E \cdot \frac{r}{H_{ред}} \cdot \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{3/2}, \quad \sigma_{cr_2} = 0,55 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot \frac{4,12}{7,23} \cdot \left(\frac{3,5}{4120} \right)^{3/2} = 1,6 \text{ Мпа}$$

Расчётные осевые напряжения вычисляются для нижней точки каждого пояса стенки резервуара по формуле.

$$\sigma_1 = \frac{[(1,05(Q_{cm} + k_{cm} \cdot Q_n) + k_{cm} \cdot (0,9 \cdot Q_{сн} + 0,95 \cdot Q_{вак}))]}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_{\min j}}$$

Для первого пояса:

$$\sigma_{11} = 2,13 \text{ Мпа}$$

Для второго пояса:

$$\sigma_{12} = 2,11 \text{ Мпа}$$

Для третьего пояса:

$$\sigma_{13} = 1,76 \text{ Мпа}$$

Для четвертого пояса:

$$\sigma_{14} = 1,81 \text{ Мпа}$$

Для пятого пояса:

$$\sigma_{15} = 1,62 \text{ Мпа}$$

Для шестого пояса:

$$\sigma_{16} = 1,53 \text{ Мпа}$$

По формуле рассчитаем вес вышестоящих поясов стенки резервуара:

$$Q_{cm} = \sum_{i=1}^b 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_i \cdot \gamma_{cm} \cdot t_{cp}$$

$$Q_{cr1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4,44 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4,13 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 67,11 \text{ кН}$$

$$Q_{cr2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4,13 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 53,67 \text{ кН}$$

$$Q_{cr3} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 4,13 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 41,56 \text{ кН}$$

$$Q_{cr4} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 29 \text{ кН}$$

$$Q_{cr5} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 3,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 17,25 \text{ кН}$$

$$Q_{cr6} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,12 \cdot 0,74 \cdot 78 \cdot 3,65 = 5,45 \text{ кН}$$

Рассчитаем среднюю арифметическую толщину стенки каждого пояса

резервуара:

$$t_{cp1} = \frac{4,5 + 3,8 + 3,7 + 6,3 + 5,3 + 6,1 + 3,9 + 3,9 + 4,4 + 4,2 + 4,1 + 4,1 + 4,1 + 4,2 + 4,4}{15} = 4,44 \text{ мм};$$

,44 мм;

$$t_{cp2} = \frac{4,4 + 4,4 + 4,4 + 4,4 + 3,4 + 3,4 + 3,5 + 3,6 + 3,5 + 3,9 + 3,9 + 4,1 + 3,7 + 3,7 + 4,3}{15} = 4,4 \text{ мм};$$

мм;

$$t_{cp3} = \frac{4,4 + 4,1 + 3,9}{3} = 4,1 \text{ мм};$$

$$t_{cp4} = \frac{3,9 + 4,3 + 3,5}{3} = 3,9 \text{ мм};$$

$$t_{cp5} = \frac{3,6 + 3,9 + 4,2}{3} = 3,9 \text{ мм};$$

$$t_{\text{срб}} = \frac{3,5+3,7+3,9+3,6+3,7+3,5}{6} = 3,65 \text{ мм.}$$

По формуле определяем полное нормативное значение снеговой нагрузки на покрытие:

$$Q_{\text{сн}} = q \mu k_1 \pi r$$

$$Q_{\text{сн}} = 3,2 * 1 * 0,7 * 3,14 * 4,12^2 = 119,39 \text{ кН}$$

При расчёте осевых напряжений в стенке резервуара учитывается, что на стенку передаётся нагрузка от вакуума, действующая на всю крышу:

$$q_{\text{вак}} = 0,2$$

$$Q_{\text{вак}} = \pi r^2 q_{\text{вак}}; Q_{\text{вак}} = 3,14 * 4,12^2 * 0,2 = 10,65 \text{ Н}$$

По формуле определим расчётное кольцевое напряжение в стенке резервуара со стационарной крышей.

$$\sigma_2 = \frac{(0,95 * 1,2 q_{\text{вак}} + 0,9 * 0,5 p_{\text{вет}}) \cdot r}{t_{\text{min}}}$$

Для первого пояса:

$$\sigma_{21} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,7} = 0,29 \text{ Мпа}$$

Для второго пояса:

$$\sigma_{22} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,5} = 0,31 \text{ Мпа}$$

Для третьего пояса:

$$\sigma_{23} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,9} = 0,27 \text{ Мпа}$$

Для четвертого пояса:

$$\sigma_{24} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,5} = 0,31 \text{ Мпа}$$

Для пятого пояса:

$$\sigma_{25} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,6} = 0,3 \text{ Мпа}$$

Для шестого пояса:

$$\sigma_{26} = \frac{(0,95 * 1,2 * 0,2 + 0,9 * 0,5 * 0,5) * 4,12}{3,5} = 0,31 \text{ Мпа}$$

Таблица 2 – Результаты расчета корпуса резервуара на устойчивость

Резервуар РВС-400, № 392 (продукт – экстракт высота налива $H_{нал}=7,42$ м)

Расчетные параметры	П о я с					
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>
О с е в ы е н а г р у з к и , кН						
веса поясов Q_i	13,44	12,1	12,5	11,8	11,8	5,45
вес вышележащих поясов стенки $Q_{ст}$	67,11	53,67	41,56	29	17,25	5,45
Н а п р я ж е н и я , МПа						
осевое σ_1	2,13	2,11	1,76	1,81	1,62	1,53
критическое σ_{cr1}	12,95	12,95	12,95	12,95	12,95	12,95
кольцевое σ_2	0,29	0,31	0,27	0,31	0,3	0,31
критическое σ_{cr2}	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
О т н о ш е н и я						
σ_1 / σ_{cr1}	0,16	0,16	0,14	0,14	0,13	0,12
σ_2 / σ_{cr2}	0,18	0,19	0,17	0,19	0,19	0,19
$\sigma_1 / \sigma_{cr1} + \sigma_2 / \sigma_{cr2}$	0,35	0,36	0,31	0,33	0,31	0,31
Условие устойчивости						
$\sigma_1 / \sigma_{cr1} + \sigma_2 / \sigma_{cr2} \leq 1$	вып.	вып.	вып.	вып.	вып.	вып.

Вывод: условия прочности и устойчивости для каждого пояса стенки резервуара выполняются, следовательно, работоспособность резервуара обеспечена.

Вывод: рассчитали прочность и устойчивость вследствие коррозионного износа вертикального цилиндрического резервуара, малоцикловую усталость, трещиностойкость.

Так как условия для каждого пояса стенки были выполнены, то работоспособность резервуара может быть обеспечена.