




Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

№ строки Line №	Формат Size	Обозначение Designation	Наименование Name	Коп. листов Sheets Qty	№ экз. Copy №	Примечание Note
1						
2			Документация общая			
3						
4			Вновь разработанная			
5						
6	*)	90651-20600-AM-02-223 BO	Чертеж общего вида	4	—	*)A2x3, A4
7	A4	90651-20600-AM-02-223 ПЗ	Пояснительная записка	6	—	
8	A4	90651-20600-AM-02-223 PP	Механический расчет	344	—	
9						
10						
11			Примененная			
12						
13	A4	AM-02-ДТ-01-02	Устройство заземления	1	—	
14	A3	AM-02-ДТ-03-01	Фиксатор трубы	1	—	
15	A4	AM-02-ДТ-04-02	Антизавихритель	1	—	
16	A4	AM-02-ДТ-08-01	Строповое устройство	1	—	
17	A4	27-AM-02 Д	Требования к техническим			
18			предложениям поставщика	3	—	
19	A4	27-AM-03 Д	Требования к рабочей			
20			конструкторской документации	3	—	Изм.2
21	A4	ПЛ-Г-КМ-01	Схема расположения закладных			
22			деталей для крепления площадок			
23			обслуживания на			
24			горизонтальных сосудах	1	—	Изм.1
25						
			ООО "Афипский НПЗ"			
			Организация слива, приема и откачки ВГО от сторонних производителей в РП №10 и организация раздельного налива ЛДФ и ТДФ			
			Сливо-наливная эстакада ЭС-1. Титул 20600			
			90651-20600-AM-02-223 ТП			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Разраб.		Синельников А.		07.02.25	Лит.	Лист Листов
Проверил		Островский		07.02.25	Т	1
Нач. отд.		Фаустов		07.02.25	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT	
Н. контр.		Сотник		07.02.25		
ГИП		Лоозе		07.02.25		
Е-23, Е-24						
Емкость заполнения системы						
Ведомость технического проекта						

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	Поз.	Обозначение	Наименование		Кол.	Масса, кг	Материал	Примечание
			Сборочные единицы					
	1	АМ-02-ДТ-04-02-16	Антизавихритель		1	41,4	09Г2С	N2
	2		Устройство 5-7000-20,5-3					Н11÷Н14, НО1÷НО4
			по типу АТК 24.218.07-90		2	450		см. п.13 ТТ
	3		Крепление 5-7000-3					Н11÷Н14, НО1÷НО4
			по типу АТК 24.218.07-90			530		см. п.13 ТТ
	4	АМ-02-ДТ-03-01-02	Фиксатор трубы		2	1,5	09Г2С	T1, T2
			Детали					
	6		Обечайка Ø3400x18		1	33882	09Г2С	
	7		Кольцо жесткости Ø3400xØ3200x18		5	146,5	09Г2С	см. п.10 ТТ
	8		Накладное кольцо DN400		1	10,8	09Г2С	N1 см. п.19 ТТ
	9	АМ-02-ДТ-01-02	Устройство заземления		2	0,19		
			Стандартные изделия					
	11		Днище 3400-16 ГОСТ 6533-78		2	1672,5	09Г2С	
	12		Люк 1-600-1,6-10					
			ОСТ 26-2005-83		1	221		M1
	13		Устройство 1-600-1,6-3					
			ОСТ 26-2013-83		1	16,5		M1
	14		Опора 1400-1736-3					
			по типу ОСТ 26-2091-93		1	573,4		см. п.6 ТТ
	15		Опора ПЛ 1400-1736-3					
			по типу ОСТ 26-2091-93		1	678,1		см. п.6 ТТ
	16		Лист опорный 18-1736-09Г2С					
			по типу ОСТ 26-2091-93		3	299,1		см. п.6 ТТ
17		Заглушка 2-50-4,0-09Г2С						
		АТК 24.200.02-90		2	2,2		T1, T2	
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-АМ-02-223 ВО		Лист
								2
Взам. инв. №	Подп. и дата							

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия										
Поз.		Обозначение		Наименование		Кол.	Масса, кг	Материал	Примечание	
18				Лестница 1-3400-09Г2С						
				АТК 24.200.02-90		1	34,6			
				Фланцы ГОСТ 33259-2015					см. п.20 ТТ	
21				50-40-11-1-E		6	2,81	09Г2С	L1÷L4, U1, D1	
22				50-40-11-1-F		8	2,81	09Г2С	T1, T2, L1÷L4, U1, D1	
23				80-40-11-1-E		1	4,81	09Г2С	V1 см. п.21 ТТ	
24				80-40-11-1-F		1	4,81	09Г2С	V1	
25				300-16-11-1-E		1	22,8	09Г2С	N2	
26				300-16-11-1-F		1	22,8	09Г2С	N2 см. п.21 ТТ	
27				400-16-11-1-E		1	43	09Г2С	N1 см. п.21 ТТ	
28				400-16-11-1-F		1	43	09Г2С	N1	
				Прокладки ГОСТ 15180-86					см. п.16 ТТ	
31				Б-50-40		10	0,014		T1, T2, L1÷L4, U1, D1	
32				Б-80-40		1	0,022		V1	
33				Б-300-16		2	0,098		N2	
34				Б-400-16		2	0,149		N1	
				Прокладки ГОСТ 28759.6-2022						
36				1-600-1,6		1	–		M1	
				Шпильки ОСТ 26-2040-96						
39				1-M16x90.35.019		24	0,119		T1, T2, L1÷L4	
40				1-M16x100.35.019		16	0,131		U1, D1, V1	
41				1-M20x130.35.019		28	0,268		M1	
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 ВО				Лист
										3
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

Взам. инв. №		Трубы ГОСТ 32528-2013								
		58		68x10x9400	—	135	09Г2С	T1, T2, L1÷L4, U1, D1		
		59		95x10x270	—	6	09Г2С	V1		
Подп. и дата		60		325x12x210	—	20	09Г2С	N2		
		61		426x14x250	—	36	09Г2С	N1		
Инв. № подл.										
		90651-20600-AM-02-223 BO					Лист			
							4			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

№:	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, кг	Материал	Примечание
42		1-M24x140.35.019	12	0,416		N2
43		1-M27x170.35.019	16	0,652		N1
		Гайки ОСТ 26-2041-96				
45		M16.25.019	128	0,039		T1, T2, L1÷L4, U1, D1, V1
46		M20.25.019	28	0,077		M1
47		M24.25.019	32	0,133		N2
48		M27.25.019	16	0,194		N1
		Заглушки поворотные АТК 26-18-5-93				см. п.18 ТТ
51		2-50-4,0	2	1,5	09Г2С	U1, D1
		Комплекты заглушка-кольцо по типу АТК 26-18-5-93				см. п.18 ТТ
54		2-300-1,6	1	27,5	09Г2С	N2
55		2-400-1,6	1	54,5	09Г2С	N1
		Материалы				
		Трубы ГОСТ 32528-2013				
58		68x10x9400	–	135	09Г2С	T1, T2, L1÷L4, U1, D1
59		95x10x270	–	6	09Г2С	V1
60		325x12x210	–	20	09Г2С	N2
61		426x14x250	–	36	09Г2С	N1

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ПЗ

ООО "Афипский НПЗ". Организация слива, приема и откачки ВГО от сторонних производителей в РП №10
и организация раздельного налива ЛДФ и ТДФ
Сливо-наливная эстакада ЭС-1. Титул 20600

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Согласовано	07.02.25
	<i>Иванов</i>
	Карузо
	Отд. 21-1

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Синельников А.	<i>С</i>	07.02.25
Проверил		Островский	<i>О</i>	07.02.25
Нач. отд.		Фаустов	<i>Ф</i>	07.02.25
Н. контр.		Сотник	<i>С</i>	07.02.25
ГИП		Лоозе	<i>Л</i>	07.02.25

90651-20600-АМ-02-223 ПЗ

Е-23, Е-24
Емкость заполнения системы

Лит.	Лист	Листов
Т	1	6
НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение	3
2.	Техническая характеристика	3
3.	Назначение	4
4.	Описание конструкции и принцип работы	4
5.	Механические расчеты	4
6.	Требования к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации	5
	Лист регистрации изменений	6

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист
								2
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 ПЗ

1. Введение

Технический проект емкости заполнения системы Е-23, Е-24 разработан для применения на сливо-наливной эстакаде ЭС-1 ООО "Афипский НПЗ". Повторное применение данного проекта для других объектов должно быть согласовано с автором проекта.

2. Техническая характеристика

Техническая характеристика сосуда

	Корпус	Устройство теплообменное
Рабочее давление, МПа изб.	Гидростатическое	1,6
Расчетное давление: внутреннее, МПа изб. наружное, МПа абс.	0,07 0,1 при 100°C	1,6 —
Пробное давление гидравлического испытания при изготовлении, МПа изб.	Согласно ГОСТ 34347-2017, п. 7.11.11	2,47
Рабочая температура, °C	40÷80	250
Расчетная температура стенки, °C	100	250
Минимально допустимая температура стенки сосуда, находящегося под расчетным давлением, °C	Минус 23	—
Характеристика рабочей среды: — класс опасности среды по ГОСТ 12.1.007-76 — взрывоопасность — пожароопасность	4 Да Да	— Нет Нет
Прибавка для компенсации коррозии (эрозии), мм	3	2
Вместимость, м³	215	—
Масса пустого сосуда, кг	45000	—
Расчетный срок службы сосуда, лет	20	20
Число циклов нагружения за расчетный срок службы	Не более 1000	Не более 1000
Группа сосуда по таблице 1 ГОСТ 34347-2017	1	3
Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013	1	2

Технологические параметры среды

	Корпус	Устройство теплообменное
Оптимальное рабочее (технологическое) давление, МПа изб.	Гидростатическое	0,98
Оптимальная рабочая (технологическая) температура, °C	40÷80	200
Наименование рабочей среды и состав	Вакуумный газойль Сера - н.б. 2,0% масс., мех. примеси - до 1 % масс.	Водяной пар
Парциальное давление H ₂ S, МПа абс.	—	—
Парциальное давление H ₂ , МПа абс.	—	—
Кислотность среды, pH	—	—

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 ПЗ

Лист
3

Примечания:

- Оптимальное рабочее (технологическое) давление и оптимальная рабочая (технологическая) температура - это давление и температура, которые соответствуют проектному материальному балансу установки.
- Рабочее давление сосуда соответствуют максимальному внутреннему или наружному давлению среды, при котором обеспечивается безопасная работа сосуда, без учета гидростатического давления среды и допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или других предохранительных устройств.
- Рабочая температура соответствует максимальной температуре среды, которая может поддерживаться в сосуде длительный период времени вследствие допустимых изменений режима работы технологического процесса.

3. Назначение

Емкость заполнения системы Е-23, Е-24 предназначена для заполнения системы слива стороннего ВГО из вагонов-цистерн.

4. Описание конструкции и принцип работы

Емкость заполнения системы Е-23, Е-24 представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд диаметром 3400 мм с эллиптическими днищами, установленный на седловые опоры. Сосуд имеет технологические штуцеры и штуцеры КИП для обеспечения работы согласно назначению. Для возможности осмотра сосуда и обслуживания внутренних устройств предусмотрен люк-лаз.

Отключение сосуда от всех трубопроводов, соединяющих его с источниками давления или другими сосудах и технологическим оборудованием, производится с помощью установки заглушек в разъёмных соединениях.

Для отключения сосуда на время проведения очистки, осмотра, ревизии и гидравлических испытаний во фланцевых соединениях устанавливаются:

- заглушенная часть поворотной заглушки;
- заглушка из комплекта заглушка-кольцо;
- заглушка по АТК 24.200.02-90.

В рабочем режиме во фланцевых соединениях:

- устанавливается кольцевая часть поворотной заглушки;
- устанавливается кольцо из комплекта заглушка-кольцо;
- заглушка по АТК 24.200.02-90 заменяется на ответную деталь для рабочего режима.

Продукт поступает в емкость через штуцер N1. Вытесненный из емкости воздух выходит в атмосферу через воздушник (штуцер V1). Откачка емкости для заполнения системы осуществляется через штуцер N2. Для освобождения емкости от продукта предназначен штуцер D1.

5. Механические расчеты

Для подтверждения прочности сосуда, его элементов проведены все необходимые для этого расчеты.

Механический расчет 90651-20600-AM-02-223 РР выполнен в системе автоматизированного проектирования "ПАССАТ 3.04" и содержит:

- расчеты цилиндрических обечаек, эллиптических днищ и крышек под действием внутреннего избыточного или наружного давления;
- определение расчетных усилий для сосуда от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий;
- расчеты укрепления отверстий при внутреннем давлении;
- расчеты на прочность элементов корпуса (днищ) при внешних статических нагрузках на штуцер;

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 ПЗ	Лист 4
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	атмосферу через воздушник (штуцер V1). Откачка емкости для заполнения системы осуществляется через штуцер N2. Для освобождения емкости от продукта предназначен штуцер D1.
			5. Механические расчеты
			<p>Для подтверждения прочности сосуда, его элементов проведены все необходимые для этого расчеты.</p> <p>Механический расчет 90651-20600-AM-02-223 РР выполнен в системе автоматизированного проектирования "ПАССАТ 3.04" и содержит:</p> <ul style="list-style-type: none">• расчеты цилиндрических обечаек, эллиптических днищ и крышек под действием внутреннего избыточного или наружного давления;• определение расчетных усилий для сосуда от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий;• расчеты укрепления отверстий при внутреннем давлении;• расчеты на прочность элементов корпуса (днищ) при внешних статических нагрузках на штуцер;

- расчеты на прочность и герметичность фланцевых соединений;
- расчеты плоских крышек;
- расчет цилиндрической обечайки от воздействия нагрузок от седловых опор;

Пропарка сосуда осуществляется без избыточного давления и не учитывается в расчетах на прочность.

6. Требования к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации

Для обеспечения требований к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации емкости заполнения системы Е-23, Е-24 необходимо руководствоваться документацией, разработанной Заводом-изготовителем.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 ПЗ			5

[illegible]




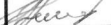
6

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

ООО "Афипский НПЗ". Организация слива, приема и откачки ВГО от сторонних производителей в РП №10
и организация раздельного налива ЛДФ и ТДФ
Сливо-наливная эстакада ЭС-1. Титул 20600

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

					90651-20600-AM-02-223 РР					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Е-23, Е-24 Емкость заполнения системы			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Синельников А.		07.02.25				Т	1	344
Проверил		Островский		07.02.25				НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		
Нач. отд.		Фаустов		07.02.25						
Н. контр.		Сотник		07.02.25						
ГИП		Лоозе		07.02.25						

Содержание

Введение	3
Условия нагружения	3
Сводные таблицы	4
Эпюры сил и моментов	18
Опора подвижная левая	22
Опора седловая неподвижная	46
Опора подвижная правая	69
Расчет на сейсмические воздействия по ГОСТ 34283-2017 (RUS)	93
Днище эллиптическое левое, правое	98
Обечайка цилиндрическая	103
Воздушник (V1)	122
Вход продукта (N1)	128
Выход продукта (N2)	138
Дренаж (D1)	146
Измерение температуры (T1, T2)	152
Измеритель уровня (L1, L2)	158
Измеритель уровня (L3, L4)	164
Люк-лаз (M1)	170
Пропарка (U1)	176
Фланцевое соединение D1	181
Фланцевое соединение L1÷L4, U1	204
Фланцевое соединение N1	227
Фланцевое соединение N2	250
Фланцевое соединение V1	273
Крышка плоская M1	296
Крышка плоская T1, T2	315
Внешние нагрузки от N1	334
Внешние нагрузки от N2	335
Обогреватель 1	336
Обогреватель 2	337
Площадка обслуживания	338
Группа колец жёсткости	339
Антизавихритель N2	342
Список литературы	343
Лист регистрации изменений	344

Инв. № подл.						Подп. и дата		Взам. инв. №	
					90651-20600-AM-02-223 PP				Лист
									2
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

Условия нагружения

Рабочая среда	Вакуумный газойль
Плотность жидкости/газа	1000 кг/куб.м
Вид испытаний	Гидроиспытания
Давление испытаний	0.1 МПа

Формат А4

Сводные таблицы

Основные элементы

Исходные данные

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Коэфф. прочности сварного шва
Днище эллиптическое левое	09Г2С Лист	3400	18	948	3.8	1
Обечайка цилиндри- ческая	09Г2С Лист	3400	18	22380	3.8	1
Крышка плоская Т1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	48	18	64	3	1
Крышка плоская М1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	600	36	100.9	3	1
Крышка плоская Т2	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	48	18	64	3	1
Днище эллиптическое правое	09Г2С Лист	3400	18	948	3.8	1

Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое левое	100	0.098745	177	4.7485	1.4754	выполнено
Обечайка цилиндрическая	100	0.098745	177	4.7487	1.4768	выполнено
Крышка плоская Т1	100	0.070000	144	11.937	0.19719	выполнено
Крышка плоская М1	100	0.070000	144	14.746	0.55249	выполнено
Крышка плоская Т2	100	0.070000	144	11.937	0.19719	выполнено
Днище эллиптическое правое	100	0.098745	177	4.7485	1.4754	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое левое	0.13826	272.73	1.6619	2.7524	выполнено
Обечайка цилиндрическая	0.13826	272.73	1.662	2.7556	выполнено
Крышка плоская Т1	0.10179	222.73	7.2832	0.62176	выполнено
Крышка плоская М1	0.10179	222.73	9.7483	1.3883	выполнено
Крышка плоская Т2	0.10179	222.73	7.2832	0.62176	выполнено
Днище эллиптическое правое	0.13826	272.73	1.6619	2.7524	выполнено

Взам. инв. №

Подп. и дата

ИНВ. № подл.

					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Штуцеры

Исходные данные

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм
Измеритель уровня (L2)	L2	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	283	3
Измеритель уровня (L1)	L1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	283	3
Измеритель уровня (L3)	L3	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	283	3
Измеритель уровня (L4)	L4	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	283	3
Воздушник (V1)	V1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	300	3
Измерение температуры (T1)	T1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	300	3
Вход продукта (N1)	N1	Проходящий с накладным кольцом	09Г2С Труба	398	14	300	3
Люк-лаз (M1)	M1	Проходящий без укрепления	09Г2С Лист	600	10	300	3.8
Дренаж (D1)	D1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	250	3
Выход продукта (N2)	N2	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	301	12	250	3
Измерение температуры (T2)	T2	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	300	3
Пропарка (U1)	U1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	283	3

Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Измеритель уровня (L2)	100	0.070402	2046	3.0119	2.3136	выполнено
Измеритель уровня (L1)	100	0.070402	2046	3.0119	2.3136	выполнено
Измеритель уровня (L3)	100	0.096282	2046	3.0163	2.1254	выполнено
Измеритель уровня (L4)	100	0.096282	2046	3.0163	2.1254	выполнено
Воздушник (V1)	100	0.070000	3406	3.0118	1.4723	выполнено
Измерение температуры (T1)	100	0.070000	3406	3.0118	1.4723	выполнено
Вход продукта (N1)	100	0.070000	3406	3.0884	1.3241	выполнено
Люк-лаз (M1)	100	0.070000	3407.6	3.9202	0.75733	выполнено
Дренаж (D1)	100	0.10114	3406	3.0171	1.4723	выполнено
Выход продукта (N2)	100	0.10114	3406	3.0971	1.1315	выполнено
Измерение температуры (T2)	100	0.070000	3406	3.0118	1.4723	выполнено
Пропарка (U1)	100	0.097175	2046	3.0164	2.2846	выполнено

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
5

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					PP		
Условия испытаний									
Элемент		Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности			
Измеритель уровня (L2)		0.10711	2040	0.010101	4.315	выполнено			
Измеритель уровня (L1)		0.10711	2040	0.010101	4.315	выполнено			
Измеритель уровня (L3)		0.13555	2040	0.012784	3.9643	выполнено			
Измеритель уровня (L4)		0.13555	2040	0.012784	3.9643	выполнено			
Воздушник (V1)		0.10491	3400	0.0098940	2.7455	выполнено			
Измерение температуры (T1)		0.10491	3400	0.0098940	2.7455	выполнено			
Вход продукта (N1)		0.10503	3400	0.082126	2.5251	выполнено			
Люк-лаз (M1)		0.10517	3401.6	0.91602	1.5708	выполнено			
Дренаж (D1)		0.14089	3400	0.013287	2.7455	выполнено			
Выход продукта (N2)		0.14089	3400	0.083322	2.2786	выполнено			
Измерение температуры (T2)		0.10491	3400	0.0098940	2.7455	выполнено			
Пропарка (U1)		0.13653	2040	0.012876	4.261	выполнено			
Фланцы									
Исходные данные									
Элемент		Тип фланцев	Исполнение	Материал	Теплоизоляция	Выбор из БД	Прокладка	Крепеж	Контроль затяжки
Фланцевое соединение L2		Приварные встык	Выступ-впадина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259-2015 Ру PN 40 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универсальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки
Фланцевое соединение L1		Приварные встык	Выступ-впадина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259-2015 Ру PN 40 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универсальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки
Фланцевое соединение L3		Приварные встык	Выступ-впадина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259-2015 Ру PN 40 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универсальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки
Фланцевое соединение L4		Приварные встык	Выступ-впадина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259-2015 Ру PN 40 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универсальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP				Лист
									6

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат A4

PP

Взам. инв. №		Фланец элемента 'Крышка плоская Т2'	Привар- ные встык	Выступ- вапина	245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	35259- 2015 Ру 4.0 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универ- сальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без кон- троля затяжки
		Фланцевое соедине- ние U1	Привар- ные встык	Выступ- вапина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259- 2015 Ру PN 40 DN 50 Тип 11 Ряд 1	Прокладка ТРГ универ- сальная	Шпильки 16 4 шт. 35 Крепеж	Без кон- троля затяжки

Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
							7
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

PP

Рабочие условия

Элемент	Расчетное давление, МПа	Момент затяжки, Н·м	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Фланцевое соединение L2	0.070402	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение L1	0.070402	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение L3	0.096282	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение L4	0.096282	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение V1	0.070000	40.715	3.7646	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская T1'	0.070000	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение N1	0.070000	181.12	2.085	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская M1'	0.070000	70.2	1.3818	выполнено
Фланцевое соединение D1	0.1021	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение N2	0.10257	121.31	1.6943	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская T2'	0.070000	40.715	3.7646	выполнено
Фланцевое соединение U1	0.097175	40.715	3.7646	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Момент затяжки, Н·м	Условие прочности
Фланцевое соединение L2	0.10711	40.715	выполнено
Фланцевое соединение L1	0.10711	40.715	выполнено
Фланцевое соединение L3	0.13555	40.715	выполнено
Фланцевое соединение L4	0.13555	40.715	выполнено
Фланцевое соединение V1	0.10179	40.715	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская T1'	0.10179	40.715	выполнено
Фланцевое соединение N1	0.10179	181.12	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская M1'	0.10179	70.2	выполнено
Фланцевое соединение D1	0.14194	40.715	выполнено
Фланцевое соединение N2	0.14246	121.31	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская T2'	0.10179	40.715	выполнено
Фланцевое соединение U1	0.13653	40.715	выполнено

Расчёт заполнения

Рабочие условия

Элемент	Полный объем, м³	Объем продукта, м³	Масса продукта, кг	Высота столба, мм	Макс. высота столба при 100%, мм	ξ
Днище эллиптическое левое	5.8712	5.8206	5296.7	3221	3901	0.99138
Измеритель уровня (L2)	0.61124·10 ⁻³	0.59425·10 ⁻³	0.54077	45	725	0.97221
Фланцевое соединение L2	0.17191·10 ⁻³	0.16743·10 ⁻³	0.15237	45	725	0.97398
Измеритель уровня (L1)	0.61124·10 ⁻³	0.59437·10 ⁻³	0.54088	45	725	0.97241
Фланцевое соединение L1	0.17191·10 ⁻³	0.16743·10 ⁻³	0.15237	45	725	0.97398
Измеритель уровня (L3)	0.59481·10 ⁻³	0.59481·10 ⁻³	0.54128	2945	3625	1

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист
8

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат A4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия


НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					PP		
Фланцевое соедине- ние L3	0.17191·10 ⁻³	0.17191·10 ⁻³	0.15644	2945	3625	1			
Измеритель уровня (L4)	0.59481·10 ⁻³	0.59481·10 ⁻³	0.54128	2945	3625	1			
Фланцевое соедине- ние L4	0.17191·10 ⁻³	0.17191·10 ⁻³	0.15644	2945	3625	1			
Обечайка цилиндри- ческая	203.08	198.99	1.8108·10 ⁵	3221	3901	0.97987			
Воздушник (V1)	0.57227·10 ⁻³	0	0	0	501.17	0			
Фланцевое соедине- ние V1	0.17191·10 ⁻³	0	0	0	183	0			
Измерение темпера- туры (T1)	0.57227·10 ⁻³	0	0	0	501.17	0			
Крышка плоская T1	0.8324·10 ⁻⁴	0	0	0	183	0			
Вход продукта (N1)	0.039734	0	0	0	512.69	0			
Фланцевое соедине- ние N1	0.019408	0	0	0	183	0			
Люк-лаз (M1)	0.091442	0	0	0	527.68	0			
Крышка плоская M1	0.019071	0	0	0	183	0			
Дренаж (D1)	0.4823·10 ⁻³	0.4823·10 ⁻³	0.43889	3489	4169	1			
Фланцевое соедине- ние D1	0.17191·10 ⁻³	0.17191·10 ⁻³	0.15644	3597	4277	1			
Выход продукта (N2)	0.019097	0.019097	17.378	3489	4169	1			
Фланцевое соедине- ние N2	0.0099507	0.0099507	9.0551	3650	4330	1			
Измерение темпера- туры (T2)	0.57227·10 ⁻³	0	0	0	501.17	0			
Крышка плоская T2	0.8324·10 ⁻⁴	0	0	0	183	0			
Днище эллиптическое правое	5.8712	5.82	5296.2	3221	3901	0.99127			
Пропарка (U1)	0.60838·10 ⁻³	0.60838·10 ⁻³	0.55362	3045	3725	1			
Фланцевое соедине- ние U1	0.17191·10 ⁻³	0.17191·10 ⁻³	0.15644	3045	3725	1			
Σ	215.03	210.66	1.917·10 ⁵	–	–	–			
Полости аппарата ρ – плотность рабочей среды V _{полн} – полный объем V _{прод} – объем продукта M – масса продукта Параметры заполнения полостей									
Элемент	Испытания	P _{исп} , МПа	Жидкость	ρ, кг/м ³	V _{полн} , м ³	V _{прод} , м ³	M, кг	Среда	H ₂ S
Днище эллиптическое левое	Гидро	0.10000	Да	910	215.03	210.66	1.917·10 ⁵	Вакуумный га- зойль	Нет (–)
<div><div>Взам. инв. №</div><div>Подп. и дата</div><div>Инв. № подл.</div></div> <div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ док.</div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div> <div>90651-20600-AM-02-223 PP</div> <div>Лист 9</div>									

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат А4

Расчет весов и центров тяжести


Рабочие условия (с заполнением продуктом)

Элемент	Вес, Н	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели )
Днище эллиптическое левое	71610	X = 0 мм, Y = -10.353мм, Z = -404.49 мм
Измеритель уровня (L2)	52.761	X = -200.15 мм, Y = 1501.1мм, Z = -635.93 мм
Фланцевое соединение L2	62.695	X = -200 мм, Y = 1500мм, Z = -853.15 мм
Измеритель уровня (L1)	52.762	X = 200.15 мм, Y = 1501.1мм, Z = -635.93 мм
Фланцевое соединение L1	62.695	X = 200 мм, Y = 1500мм, Z = -853.15 мм
Измеритель уровня (L3)	51.473	X = 200.13 мм, Y = -1400.9мм, Z = -716.13 мм
Фланцевое соединение L3	62.735	X = 200 мм, Y = -1400мм, Z = -928.54 мм
Измеритель уровня (L4)	51.474	X = -200.13 мм, Y = -1400.9мм, Z = -716.13 мм
Фланцевое соединение L4	62.735	X = -200 мм, Y = -1400мм, Z = -928.54 мм
Обечайка цилиндрическая	2.1236·10 ⁶	X = 0 мм, Y = -27.799мм, Z = 11188 мм
Опора седловая неподвижная	8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 11190 мм
Опора подвижная правая	8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 20690 мм
Воздушник (V1)	44.375	X = 0 мм, Y = 1859.6мм, Z = 239.99 мм
Фланцевое соединение V1	61.201	X = 0 мм, Y = 2065.5мм, Z = 240 мм
Измерение температуры (T1)	465.48	X = 0 мм, Y = 358.83мм, Z = 18940 мм
Крышка плоская T1	56.276	X = 0 мм, Y = 2062.5мм, Z = 18940 мм
Вход продукта (N1)	572.32	X = 0 мм, Y = 1825.6мм, Z = 21440 мм
Фланцевое соединение N1	1136.7	X = 0 мм, Y = 2109.4мм, Z = 21440 мм
Люк-лаз (M1)	487.55	X = 0 мм, Y = 1852.5мм, Z = 19940 мм
Крышка плоская M1	1622.9	X = 0 мм, Y = 2091.1мм, Z = 19940 мм
Дренаж (D1)	41.705	X = 0 мм, Y = -1834.5мм, Z = 239.99 мм
Фланцевое соединение D1	69.371	X = 0 мм, Y = -2021.9мм, Z = 240 мм
Выход продукта (N2)	415.69	X = 0 мм, Y = -1833.1мм, Z = 739.95 мм
Фланцевое соединение N2	685.18	X = 0 мм, Y = -2048.5мм, Z = 740 мм
Опора подвижная левая	8554	X = 0 мм, Y = -1575.9мм, Z = 1690 мм
Измерение температуры (T2)	465.48	X = 0 мм, Y = 358.83мм, Z = 1240 мм
Крышка плоская T2	56.276	X = 0 мм, Y = 2062.5мм, Z = 1240 мм
Обогреватель 1	9800	X = 0 мм, Y = 76мм, Z = 6440 мм
Обогреватель 2	9800	X = 0 мм, Y = 76мм, Z = 15940 мм
Площадка обслуживания	2.1248·10 ⁵	X = -493.96 мм, Y = 1818мм, Z = 11300 мм
Группа колец жёсткости	7183.1	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 11250 мм
Антизавихритель N2	414	X = 0 мм, Y = -1500мм, Z = 740 мм
Днище эллиптическое правое	71625	X = 0 мм, Y = -10.234мм, Z = 22785 мм
Пропарка (U1)	52.67	X = 0 мм, Y = -1501.1мм, Z = 23028 мм
Фланцевое соединение U1	69.371	X = 0 мм, Y = -1500мм, Z = 23251 мм

 Σ $2.5391 \cdot 10^6$

X = -41.336 mm. Y = 114.99mm. Z = 11203 mm

Условия испытаний (с заполнением средой)**При пневмоиспытаниях, для не заполняемого элемента, или
отсутствии испытаний для элемента выводится сухой вес

Элемент	Вес, Н	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели 
Днище эллиптическое левое	76336	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = -397.7 мм
Измеритель уровня (L2)	53.452	X = -200.15 мм, Y = 1501.1мм, Z = -635.91 мм
Фланцевое соединение L2	62.887	X = -198.84 мм, Y = 1500.7мм, Z = -853.15 мм

					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		10

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

PP

Измеритель уровня (L1)	53.452	X = 200.15 мм, Y = 1501.1мм, Z = -635.91 мм
Фланцевое соединение L1	62.887	X = 201.29 мм, Y = 1500.3мм, Z = -853.15 мм
Измеритель уровня (L3)	51.998	X = 200.13 мм, Y = -1400.9мм, Z = -716.13 мм
Фланцевое соединение L3	62.887	X = 198.85 мм, Y = -1400.7мм, Z = -928.54 мм
Измеритель уровня (L4)	51.998	X = -200.13 мм, Y = -1400.9мм, Z = -716.13 мм
Фланцевое соединение L4	62.887	X = -201.3 мм, Y = -1400.3мм, Z = -928.54 мм
Обечайка цилиндрическая	2.3239·10 ⁶	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 11188 мм
Опора седловая неподвижная	8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 11190 мм
Опора подвижная правая	8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 20690 мм
Воздушник (V1)	49.987	X = 0 мм, Y = 1859.6мм, Z = 239.99 мм
Фланцевое соединение V1	62.887	X = -1.2371 мм, Y = 2065.5мм, Z = 239.49 мм
Измерение температуры (T1)	471.1	X = 0 мм, Y = 376.71мм, Z = 18940 мм
Крышка плоская T1	57.092	X = -1.3267 мм, Y = 2062.2мм, Z = 18939 мм
Вход продукта (N1)	962	X = 0 мм, Y = 1838.8мм, Z = 21440 мм
Фланцевое соединение N1	1327.1	X = 0 мм, Y = 2109.5мм, Z = 21440 мм
Люк-лаз (M1)	1384.3	X = 0 мм, Y = 1854.8мм, Z = 19940 мм
Крышка плоская M1	1809.9	X = 0 мм, Y = 2087.1мм, Z = 19940 мм
Дренаж (D1)	42.13	X = 0 мм, Y = -1834.5мм, Z = 239.99 мм
Фланцевое соединение D1	69.522	X = 1.2469 мм, Y = -2021.9мм, Z = 239.48 мм
Выход продукта (N2)	432.54	X = 0 мм, Y = -1833.2мм, Z = 739.95 мм
Фланцевое соединение N2	693.96	X = 0 мм, Y = -2048.5мм, Z = 739.93 мм
Опора подвижная левая	8554	X = 0 мм, Y = -1575.9мм, Z = 1690 мм
Измерение температуры (T2)	471.1	X = 0 мм, Y = 376.71мм, Z = 1240 мм
Крышка плоская T2	57.092	X = -1.3267 мм, Y = 2062.2мм, Z = 1239.5 мм
Обогреватель 1	-	X = - мм, Y = - мм, Z = - мм
Обогреватель 2	-	X = - мм, Y = - мм, Z = - мм
Площадка обслуживания	2.1248·10 ⁵	X = -493.96 мм, Y = 1818мм, Z = 11300 мм
Группа колец жёсткости	7183.1	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 11250 мм
Антизавихритель N2	414	X = 0 мм, Y = -1500мм, Z = 740 мм
Днище эллиптическое правое	76356	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 22778 мм
Пропарка (U1)	53.207	X = 0 мм, Y = -1501.1мм, Z = 23028 мм
Фланцевое соединение U1	69.522	X = 1.2469 мм, Y = -1500.5мм, Z = 23251 мм

Σ

2.7309·10⁶

X = -38.432 мм, Y = 129.36мм, Z = 11208 мм

Условия монтажа (сухой вес)

Элемент	Вес, Н	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели )
Днище эллиптическое левое	19665	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = -531.93 мм
Измеритель уровня (L2)	47.458	X = -200.16 мм, Y = 1501.2мм, Z = -635.83 мм
Фланцевое соединение L2	61.201	X = -198.81 мм, Y = 1500.7мм, Z = -853.15 мм
Измеритель уровня (L1)	47.458	X = 200.17 мм, Y = 1501.2мм, Z = -635.83 мм
Фланцевое соединение L1	61.201	X = 201.33 мм, Y = 1500.4мм, Z = -853.15 мм
Измеритель уровня (L3)	46.165	X = 200.14 мм, Y = -1401мм, Z = -716.08 мм
Фланцевое соединение L3	61.201	X = 198.82 мм, Y = -1400.7мм, Z = -928.54 мм
Измеритель уровня (L4)	46.165	X = -200.14 мм, Y = -1401мм, Z = -716.08 мм
Фланцевое соединение L4	61.201	X = -201.33 мм, Y = -1400.3мм, Z = -928.54 мм
Обечайка цилиндрическая	3.4776·10 ⁵	X = 0 мм, Y = -2.5634мм, Z = 11177 мм
Опора седловая неподвижная	8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 11190 мм

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	------	--------	-------	------

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

11

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Опора подвижная правая		8625.5	X = 0 мм, Y = -1574.3мм, Z = 20690 мм		
Воздушник (V1)		44.375	X = 0 мм, Y = 1859.6мм, Z = 239.99 мм		
Фланцевое соединение V1		61.201	X = -1.2711 мм, Y = 2065.5мм, Z = 239.47 мм		
Измерение температуры (T1)		465.48	X = 0 мм, Y = 358.83мм, Z = 18940 мм		
Крышка плоская T1		56.276	X = -1.3459 мм, Y = 2062.5мм, Z = 18939 мм		
Вход продукта (N1)		572.32	X = 0 мм, Y = 1825.6мм, Z = 21440 мм		
Фланцевое соединение N1		1136.7	X = 0 мм, Y = 2109.4мм, Z = 21440 мм		
Люк-лаз (M1)		487.55	X = 0 мм, Y = 1852.5мм, Z = 19940 мм		
Крышка плоская M1		1622.9	X = 0 мм, Y = 2091.1мм, Z = 19940 мм		
Дренаж (D1)		37.401	X = 0 мм, Y = -1834.5мм, Z = 239.99 мм		
Фланцевое соединение D1		67.836	X = 1.2779 мм, Y = -2021.9мм, Z = 239.47 мм		
Выход продукта (N2)		245.26	X = 0 мм, Y = -1832.8мм, Z = 739.91 мм		
Фланцевое соединение N2		596.37	X = 0 мм, Y = -2048.6мм, Z = 739.92 мм		
Опора подвижная левая		8554	X = 0 мм, Y = -1575.9мм, Z = 1690 мм		
Измерение температуры (T2)		465.48	X = 0 мм, Y = 358.83мм, Z = 1240 мм		
Крышка плоская T2		56.276	X = -1.3459 мм, Y = 2062.5мм, Z = 1239.4 мм		
Обогреватель 1		9800	X = 0 мм, Y = 76мм, Z = 6440 мм		
Обогреватель 2		9800	X = 0 мм, Y = 76мм, Z = 15940 мм		
Площадка обслуживания		80475	X = -493.96 мм, Y = 1818мм, Z = 11300 мм		
Группа колец жёсткости		7183.1	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 11250 мм		
Антизавихритель N2		414	X = 0 мм, Y = -1500мм, Z = 740 мм		
Днище эллиптическое правое		19686	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 22912 мм		
Пропарка (U1)		47.24	X = 0 мм, Y = -1501.2мм, Z = 23028 мм		
Фланцевое соединение U1		67.836	X = 1.2779 мм, Y = -1500.5мм, Z = 23251 мм		
Σ		5.2705·10 ⁵	X = -75.427 мм, Y = 212.77мм, Z = 11230 мм		
Использование материалов					
Материалы элементов					
Элемент		Материал	Количество	Площадь поверхности (наружная+внутренняя)	
Днище эллиптическое левое					
		09Г2С Лист	1912.6 кг	27286000 мм ²	
		Теплоизоляция	92.602 кг	29923000 мм ²	
Измеритель уровня (L2)					
		09Г2С Труба	4.8392 кг	127970 мм ²	
Фланцевое соединение L2					
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.3523 кг	117560 мм ²	
		35 Крепеж	0.88821 кг	41440 мм ²	
		Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм ²	
		Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм ²	
Измеритель уровня (L1)					
		09Г2С Труба	4.8392 кг	127970 мм ²	
Фланцевое соединение L1					
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.3523 кг	117560 мм ²	
		35 Крепеж	0.88821 кг	41440 мм ²	
		Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм ²	
		Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм ²	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР
					Лист
					12

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div>		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
		Измеритель уровня (L3)					
				09Г2С Труба	4.7074 кг	124290 мм²	
		Фланцевое соединение L3					
				09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.3523 кг	117560 мм²	
				35 Крепеж	0.88821 кг	41440 мм²	
				Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм²	
				Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм²	
		Измеритель уровня (L4)					
				09Г2С Труба	4.7074 кг	124290 мм²	
		Фланцевое соединение L4					
				09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.3523 кг	117560 мм²	
				35 Крепеж	0.88821 кг	41440 мм²	
				Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм²	
				Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм²	
		Обечайка цилиндрическая					
				09Г2С Лист	33882 кг	480060000 мм²	
				Теплоизоляция	1578.7 кг	495540000 мм²	
		Опора седловая неподвижная					
				09Г2С Крепеж	2.8614 кг	90866 мм²	
				09Г2С Лист	876.67 кг	10897000 мм²	
		Опора подвижная правая					
				09Г2С Крепеж	2.8614 кг	90866 мм²	
				09Г2С Лист	876.67 кг	10897000 мм²	
		Воздушник (V1)					
				09Г2С Труба	4.5248 кг	119520 мм²	
		Фланцевое соединение V1					
				09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.3523 кг	117560 мм²	
				35 Крепеж	0.88821 кг	41440 мм²	
				Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм²	
				Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм²	
		Измерение температуры (T1)					
				09Г2С Труба	47.464 кг	1212900 мм²	
		Крышка плоская T1					
				09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	4.869 кг	107850 мм²	
				35 Крепеж	0.86927 кг	40837 мм²	
				Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм²	
				Теплоизоляция	2 шт.	138410 мм²	
		Вход продукта (N1)					
				09Г2С Лист	12.422 кг	318140 мм²	
				09Г2С Труба	45.937 кг	875620 мм²	
		Фланцевое соединение N1					
				09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	96.576 кг	1232600 мм²	
				35 Крепеж	19.334 кг	515520 мм²	
				Прокладка ТРГ универсальная	2 шт.	157280 мм²	
				Теплоизоляция	2 шт.	1014000 мм²	
		Люк-лаз (M1)					
				09Г2С Лист	49.715 кг	1310700 мм²	
Крышка плоская M1							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
							13

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	152.21 кг	1559600 мм²		
		35 Крепеж	13.266 кг	482220 мм²		
		Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	64937 мм²		
		Теплоизоляция	2 шт.	1581000 мм²		
	Дренаж (D1)					
		09Г2С Труба	3.8137 кг	101300 мм²		
	Фланцевое соединение D1					
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.9469 кг	138630 мм²		
		35 Крепеж	0.97028 кг	44054 мм²		
		Прокладка ТРГ универсальная	2 шт.	15381 мм²		
		Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм²		
	Выход продукта (N2)					
		09Г2С Труба	25.009 кг	557510 мм²		
	Фланцевое соединение N2					
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	51.021 кг	809850 мм²		
		35 Крепеж	9.7899 кг	297030 мм²		
		Прокладка ТРГ универсальная	2 шт.	104830 мм²		
		Теплоизоляция	2 шт.	701770 мм²		
	Внешние нагрузки от N2					
	Внешние нагрузки от N1					
	Опора подвижная левая					
		09Г2С Крепеж	2.8614 кг	90866 мм²		
		09Г2С Лист	869.37 кг	10819000 мм²		
	Измерение температуры (T2)					
		09Г2С Труба	47.464 кг	1212900 мм²		
	Крышка плоская T2					
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	4.869 кг	107850 мм²		
		35 Крепеж	0.86927 кг	40837 мм²		
		Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	7690.6 мм²		
		Теплоизоляция	2 шт.	138410 мм²		
	Обогреватель 1					
		09Г2С Лист	980 кг	1208000 мм²		
	Обогреватель 2					
		09Г2С Лист	980 кг	1208000 мм²		
	Площадка обслуживания					
		Ст3 Лист	8205.9 кг	160610000 мм²		
	Группа колец жёсткости					
		09Г2С Лист	732.45 кг	12233000 мм²		
	Антизавихритель N2					
		09Г2С Лист	41.4 кг	146520 мм²		
Днище эллиптическое правое						
	09Г2С Лист	1914.6 кг	27299000 мм²			
	Теплоизоляция	92.69 кг	29885000 мм²			
Пропарка (U1)						
	09Г2С Труба	4.817 кг	127330 мм²			
Фланцевое соединение U1						
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	5.9469 кг	138630 мм²			
	35 Крепеж	0.97028 кг	44054 мм²			
Изм.					90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						14
	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

	Прокладка ТРГ универсальная	2 шт.	15381 мм²
	Теплоизоляция	2 шт.	156850 мм²

Итого:

09Г2С Крепеж	8.5843 кг	272600 мм²
09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	348.2 кг	4682800 мм²
09Г2С Лист	43128 кг	583680000 мм²
09Г2С Труба	198.12 кг	4711700 мм²
35 Крепеж	50.51 кг	1671800 мм²
Прокладка ТРГ универсальная	16 шт.	411650 мм²
Ст3 Лист	8205.9 кг	160610000 мм²
Теплоизоляция	1764 кг	560020000 мм²

Расчёт давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Значение давления по элементам

Элемент	Давление испытаний, МПа
Днище эллиптическое левое	0.13668
Измеритель уровня (L2)	0.10065
Фланцевое соединение L2	0.10053
Измеритель уровня (L1)	0.10065
Фланцевое соединение L1	0.10053
Измеритель уровня (L3)	0.13765
Фланцевое соединение L3	0.13749
Измеритель уровня (L4)	0.13765
Фланцевое соединение L4	0.13749
Обечайка цилиндрическая	0.13668
Воздушник (V1)	0.10008
Фланцевое соединение V1	0.099957
Измерение температуры (T1)	0.10008
Крышка плоская T1	0.099957
Вход продукта (N1)	0.096893
Фланцевое соединение N1	0.099957
Люк-лаз (M1)	0.096893
Крышка плоская M1	0.099957
Дренаж (D1)	0.14459
Фланцевое соединение D1	0.1458
Выход продукта (N2)	0.14459
Фланцевое соединение N2	0.14647
Измерение температуры (T2)	0.10008
Крышка плоская T2	0.099957
Группа колец жёсткости	0.13668
Днище эллиптическое правое	0.13668
Пропарка (U1)	0.13893
Фланцевое соединение U1	0.13876
P _{test,min} = 0.096893	

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

15

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Категория оборудования по ТР ТС 032/2013

Элемент, связанный с полостью	Только жидкость ($\xi > 0.99$)	Группа рабочей среды	Вместимость, м³	Произведение значения максимального допустимого рабочего давления и значения вместимости, МПа·м³	Максимальное допустимое рабочее давление, МПа	Категория оборудования
Днище эллиптическое левое	Нет	I	215.03	22.056	0.10257	4

Приложенные нагрузки

Рабочие условия

Название элемента	Нагрузки						Примечание
Измеритель уровня (L2)							
Фланцевое соединение L2							
Измеритель уровня (L1)							
Фланцевое соединение L1							
Измеритель уровня (L3)							
Фланцевое соединение L3							
Измеритель уровня (L4)							
Фланцевое соединение L4							
Обечайка цилиндрическая							Авто
Воздушник (V1)							
Фланцевое соединение V1							
Измерение температуры (T1)							
Вход продукта (N1)	$F_R=(-10000) \text{ Н}$	$F_C=10000 \text{ Н}$	$F_L=10000 \text{ Н}$	$M_C=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_L=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_T=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	Не приложены как внешние
Фланцевое соединение N1	$F_R=(-10000) \text{ Н}$	$F_C=10000 \text{ Н}$	$F_L=10000 \text{ Н}$	$M_C=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_L=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_T=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	Не приложены как внешние
Люк-лаз (M1)							
Дренаж (D1)							

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

16

PP

Фланцевое со- единение D1							
Выход продукта (N2)	$F_R=(-7200) \text{ Н}$	$F_C=7200 \text{ Н}$	$F_L=7200 \text{ Н}$	$M_C=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_L=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_T=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	Не приложе- ны как внеш- ние
Фланцевое со- единение N2	$F_R=(-7200) \text{ Н}$	$F_C=7200 \text{ Н}$	$F_L=7200 \text{ Н}$	$M_C=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_L=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_T=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	Не приложе- ны как внеш- ние
Внешние нагруз- ки от N2	$F_x=7200 \text{ Н}$	$F_y=(-7200) \text{ Н}$	$F_z=7200 \text{ Н}$	$M_x=(-2455) \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_y=9900 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_z=2455 \text{ Н}\cdot\text{м}$	
Внешние нагруз- ки от N1	$F_x=10000 \text{ Н}$	$F_y=(-10000) \text{ Н}$	$F_z=10000 \text{ Н}$	$M_x=33460 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_y=16300 \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_z=(-33460) \text{ Н}\cdot\text{м}$	
Измерение тем- пературы (T2)							
Пропарка (U1)							
Фланцевое со- единение U1							

Условия испытаний

Название элемента	Нагрузки	Примечание
Измеритель уровня (L2)		
Фланцевое соединение L2		
Измеритель уровня (L1)		
Фланцевое соединение L1		
Измеритель уровня (L3)		
Фланцевое соединение L3		
Измеритель уровня (L4)		
Фланцевое соединение L4		
Обечайка цилиндрическая		Авто
Воздушник (V1)		
Фланцевое соединение V1		
Измерение температуры (T1)		
Вход продукта (N1)		
Фланцевое соединение N1		
Люк-лаз (M1)		
Дренаж (D1)		
Фланцевое соединение D1		
Выход продукта (N2)		
Фланцевое соединение N2		
Внешние нагрузки от N2		
Внешние нагрузки от N1		
Измерение температуры (T2)		
Пропарка (U1)		
Фланцевое соединение U1		

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

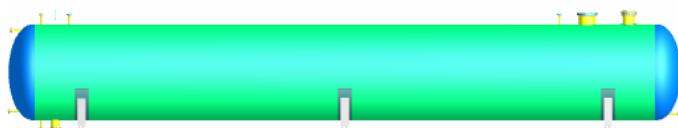
					<div style="text-align: center;"> 90651-20600-AM-02-223 PP </div>	Лист
						17
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Расчёт ветровых нагрузок по ГОСТ 34283-2017 (RUS)

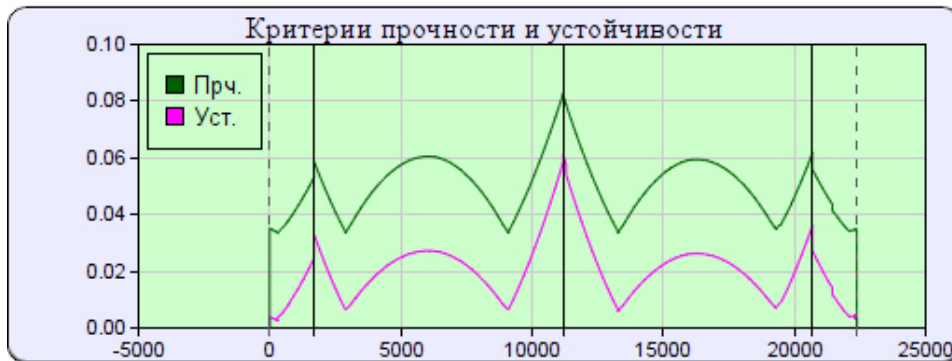
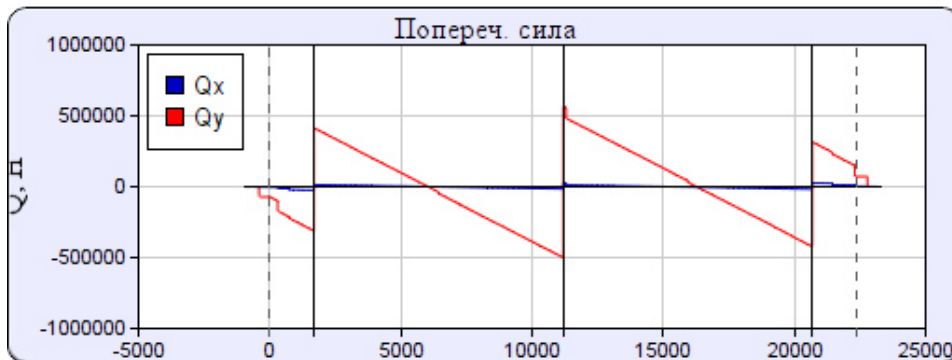
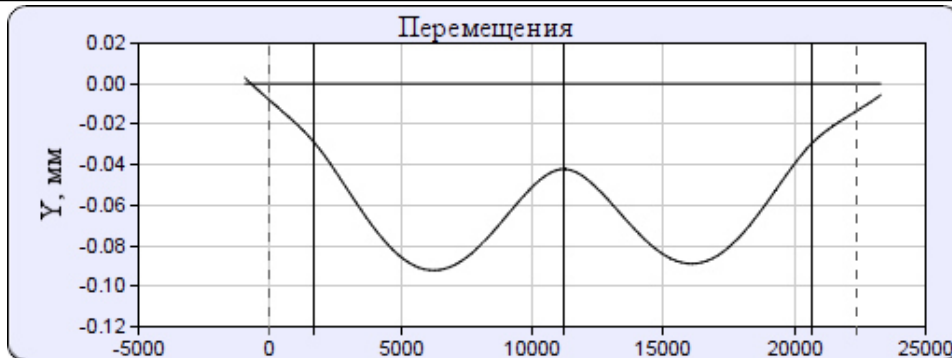
θ_i – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата:

где y_i – расстояние от основания до центра тяжести i -го участка.

Расчёт в рабочих условиях



Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	
90651-20600-AM-02-223 PP					Лист			
					18			



Эпюры нагрузок и критериев

Условие работоспособности выполнено.

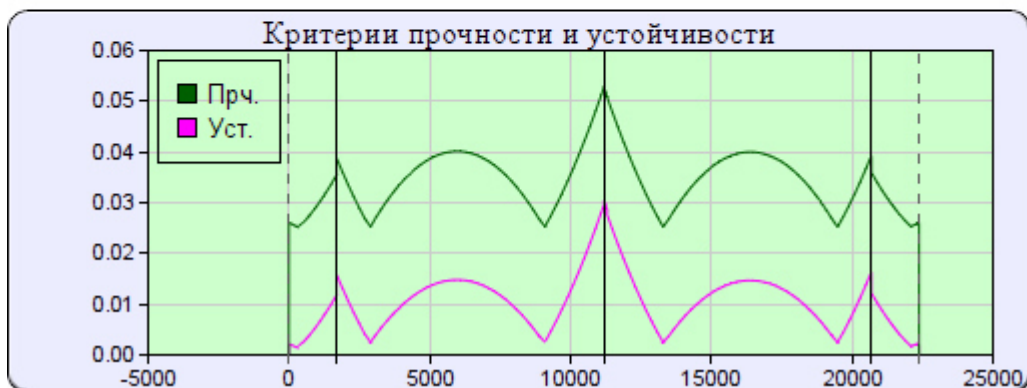
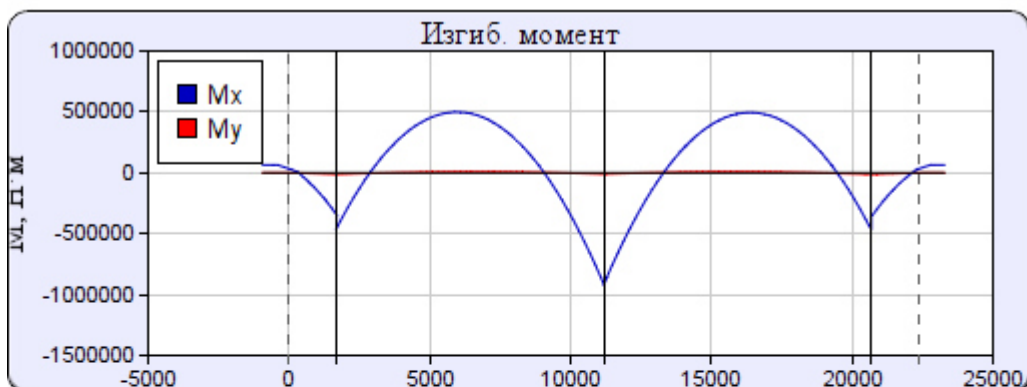
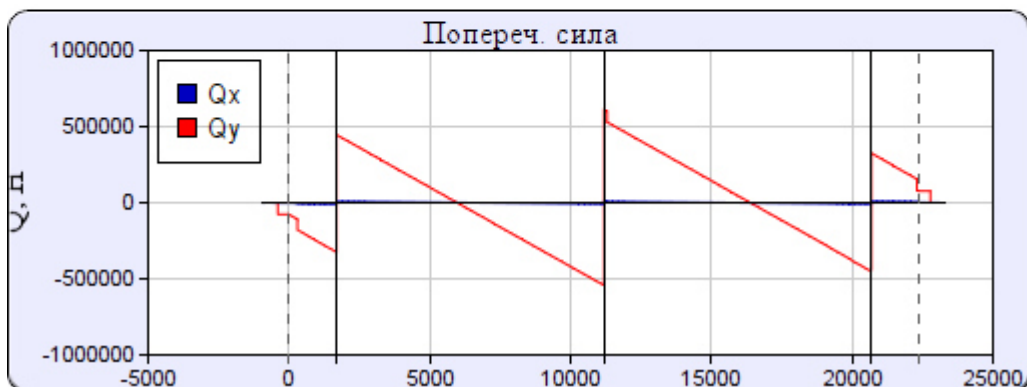
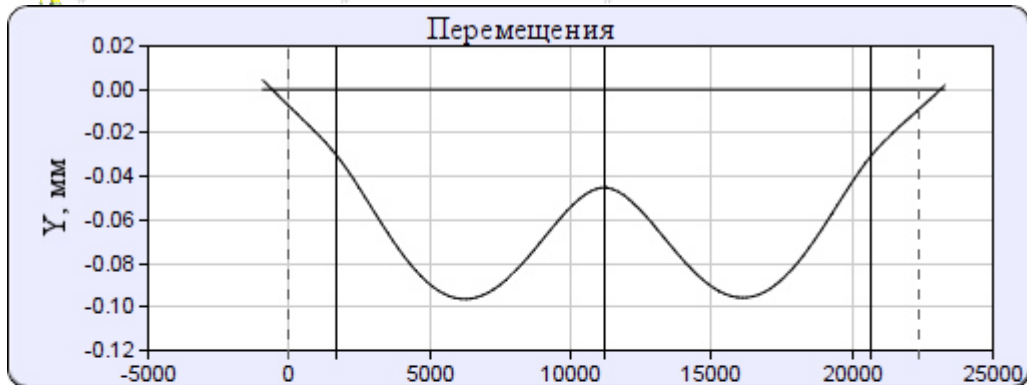
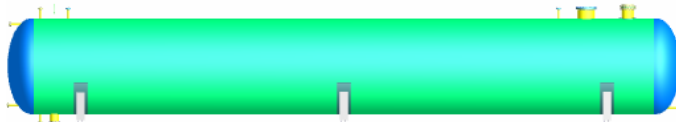
Опорные нагрузки

№ опоры	Название опоры	Опорное усилие, F, Н	Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q, Н	Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M, Н·м
1	Опора подвижная левая	$7.3579 \cdot 10^5$	$4.1412 \cdot 10^5$	$4.3478 \cdot 10^5$
2	Опора седловая неподвижная	$1.075 \cdot 10^6$	$5.6635 \cdot 10^5$	$8.4644 \cdot 10^5$
3	Опора подвижная правая	$7.4717 \cdot 10^5$	$4.2271 \cdot 10^5$	$4.8154 \cdot 10^5$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

90651-20600-AM-02-223 РР

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)



Эпюры нагрузок и критериев

Условие работоспособности выполнено.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

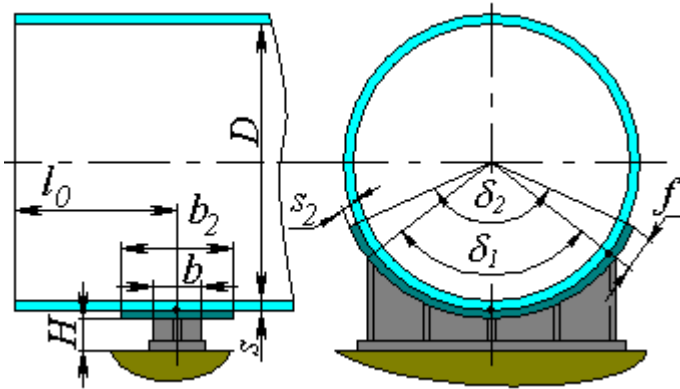
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

20

Опора подвижная левая



Эскиз элемента

Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Внутренний диаметр обечайки, D:

Толщина стенки обечайки, s:

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

Прибавка технологическая, c3:

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

Ширина опоры, b:

Угол охвата опоры, delta1:

Расстояние от края элемента, l0:

Расстояние до дна, a:

Высота опоры, H:

Толщина листа, s2:

Ширина листа, b2:

Угол охвата листа, delta2:

Длина выступающей части листа, f:

Обечайка цилиндрическая

3400 мм

18 мм

3 мм

0.8 мм

0 мм

3.8 мм

300 мм

115 °

1690 мм

1770 мм

205 мм

18 мм

500 мм

140 °

378.74 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура стенки обечайки, T:

100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:

0.098745 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

4.3478·10⁵ Н·м

Опорное усилие, F:

7.3579·10⁵ Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

4.1412·10⁵ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):

Допускаемое наружное давление, [p]:

0.1577 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]_{уст}:

1.8475·10⁷ Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

2.0657·10⁷ Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

4.8261·10⁶ Н

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot 0.1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot 0.1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 3.8) / 3400)^{1/2} = 0.095211$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до дна (δ_1 подставляются в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.095211^{1/2} + 6 \cdot 0.095211) / 2.4435 \} = 0.33482$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.025666)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.3478 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 3.3724 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_{21} \cdot [\sigma]} = -3.3724 / (1.25 \cdot 177) = (-0.015242)$$

$$S_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 3.3724] / (1.25 \cdot 177) = 0.011473$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4957 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1.4957, 1.4989\} = 1.4957$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4957 \cdot 1.25 \cdot 177 = 330.92 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330.92 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3954 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
<p>Примечание: при $\vartheta_{21} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}}$ <p>$= 1.4957$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 1.4989$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$</p> <p>$K_1 = \min\{1.4957, 1.4989\} = 1.4957$ Расчёт в точке 2: Предельное напряжение изгиба: $[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4957 \cdot 1.25 \cdot 177 = 330.92$ МПа Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении: $[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330.92 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3954 \cdot 10^6$ Н</p>					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	<div>90651-20600-AM-02-223 PP</div> <div>Лист 23</div>

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.0708} \cdot \cos(2.0708)) / 2.0708 = 0.51211$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.095211)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.67917$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.42757$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.51211 / [0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.3406)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 3.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.053431$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.3707 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$$

$$= 0.3903 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.3707, 0.3903\} = 0.3707$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.3707 \cdot 1.25 \cdot 177 = 82.018 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 82.018 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757) = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 115^\circ$ (2.0071 рад), $s - c = s_{ef} = 22.927$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0071 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.42487$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((22.927 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12098$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.12098^{1/2} + 6 \cdot 0.12098) / 2.0071\} = 0.50029$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 1.0228$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP	Лист 24
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25 \} = 0.319$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.42487 \cdot 0.50029 / (1.0228 \cdot 0.319) = (-0.14985)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.3478 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 2.0887 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.0887 / (1.25 \cdot 177) = (-0.0094406)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 2.0887] / (1.25 \cdot 177) = 0.0071060$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1.4254 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1.4351 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4254, 1.4351 \} = 1.4254$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4254 \cdot 1.25 \cdot 177 = 315.37 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 315.37 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0228) = 4.3312 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.69592$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12098)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0071)]^{1/2} = 0.69251$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0071] = 0.64002$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.69592 \cdot 0.69251 \cdot 0.64002 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0071)] = (-1.6456)$$

$$\varphi_{2,1} = 0$$

$$\varphi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 0.49693 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 0.51303 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0.49693, 0.51303 \} = 0.49693$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

25

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.49693 \cdot 1.25 \cdot 177 = 109.94 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 109.94 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.69592 \cdot 0.69251 \cdot 0.64002) = 2.0535 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$7.3579 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7.3579 \cdot 10^5 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 = 2.1241 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают р=0.

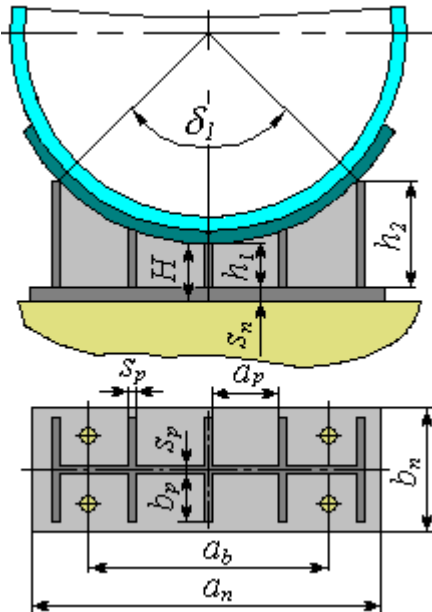
$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0.1577 + 2.1241 \cdot 10^5 / 2.0657 \cdot 10^7 + 4.3478 \cdot 10^5 / 1.8475 \cdot 10^7 + (4.1412 \cdot 10^5 / 4.8261 \cdot 10^6)^2 = 0.041179$$

$$0.041179 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017



Эскиз опоры

Данные опоры

Материал опоры:

09Г2С Лист

Бетон основания:

B25 (M350)

Высота среднего ребра, h₁:

180 мм

Толщина поперечных ребер, s_p:

25 мм

Длина опорной плиты, a_n:

2990 мм

Ширина опорной плиты, b_n:

300 мм

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

26

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Толщина опорной плиты, s_n :		25 мм			
Закрепление:		Подвижная			
Анкерные болты:					
Материал:		09Г2С Крепеж			
Номинальный диаметр, d :		24 мм			
Количество, n :		4			
Расстояние между болтами, a_b :		2390 мм			
Свойства материала опоры:					
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):					
$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$					
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре $T = 100 \text{ °С}$:					
$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$					
Свойства материала бетона:					
Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):					
$[b]_{\text{бет}} = 14 \text{ МПа}$					
Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$					
$J_s = 6.7027 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$					
Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$					
$W_s = 0.0026811 \text{ м}^3$					
Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$					
$A_s = 79366 \text{ мм}^2$					
Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:					
$J_{оп} = 2.8501 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$					
Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:					
$A_{оп} = 1.0943 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$					
Распорная нагрузка:					
$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(115/2) - \sin^2(115)) / (3.1416/180 \cdot 115 - \sin(115)) \cdot 7.3579 \cdot 10^5 = 69518 \text{ Н}$					
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{69518 / 79366; 69518 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(115/2) / (3.1416/180 \cdot 115)\} = 37.044 \text{ МПа}$					
$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$					
Условие прочности при действии распорной нагрузки:					
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\}$					
37.044 МПа < 177 МПа					
Условие прочности выполнено.					
Расчетное сжимающее напряжение в опоре:					
$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 7.3579 \cdot 10^5 / 1.0943 \cdot 10^5 = 6.7237 \text{ МПа}$					
90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					27
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<p>Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости: $M_{RX}=29334 \text{ Н}\cdot\text{м}$ Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: $W=0.0020728 \text{ м}^3$ Расчетное напряжение изгиба в опоре $\sigma_{\text{из}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 29334 / 0.0020728=14.152 \text{ МПа}$ Суммарное напряжение в опоре: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} = 6.7237 + 14.152=20.876 \text{ МПа}$ Условие прочности опоры: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$ $20.876 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$ Условие прочности выполнено. Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1.0943 \cdot 10^6 \cdot 177= 1.937 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{\text{Е1}} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^6 \cdot 2.8501 \cdot 10^8 / (2.4 \cdot 983.25^2)= 2.3156 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p=983.25 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p=137.5 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 137.5= 7.1509$ Коэффициент k_1: $k_1=68.716$ Толщина участка ребра: $s_p=25 \text{ мм}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: $[F]_{\text{Е2}} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 68.716 \cdot 1.91 \cdot 10^6 \cdot 25^2 / (2.4 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^6= 1.5475 \cdot 10^{10} \text{ Н}$ Ширина участка ребра: $l_p=706.25 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 706.25= 1.3922$ Коэффициент k_2: $k_2=12.376$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): $[F]_{\text{Е3}} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 12.376 \cdot 1.91 \cdot 10^6 \cdot 25^2 / (2.4 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^6= 2.7872 \cdot 10^9 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: $[F]_{\text{Е}} = \min \{ [F]_{\text{Е1}}; [F]_{\text{Е2}}; [F]_{\text{Е3}} \} = \min \{ 2.3156 \cdot 10^8; 1.5475 \cdot 10^{10}; 2.7872 \cdot 10^9 \}= 2.3156 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:</p>							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							28
			Изм.	Лист	№ док.		Подп.

90651-20600-AM-02-223 РР.izm.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div>	<div>$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1.937 \cdot 10^7 / (1 + (1.937 \cdot 10^7 / 2.3156 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9302 \cdot 10^7 \text{ Н}$</div> <div>Условие прочности и устойчивости опоры: $F \leq [F]$ $7.3579 \cdot 10^5 \text{ Н} < 1.9302 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Условие прочности и устойчивости выполнено.</div> <div>Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а шири- на равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$): $A_{\text{ш}} = 61096 \text{ мм}^2$</div> <div>Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого сов- падают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$): $W_{\text{ш}} = 0.035233 \text{ м}^3$</div> <div>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: $F_{\text{min}} = 7.3579 \cdot 10^5 \text{ Н}$</div> <div>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: $M_{\text{ок}} = 65555 \text{ Н} \cdot \text{м}$</div> <div>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве: $\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{min}}}{A_{\text{ш}}} \pm \frac{M_{\text{ок}}}{W_{\text{ш}}} = (-7.3579 \cdot 10^5) / 61096 \pm 65555 / 0.035233 = 0 \text{ МПа}$</div> <div>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</div> <div>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах: $F_z = 35697 \text{ Н}$</div> <div>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: $Q_{\text{н}} = 39145 \text{ Н}$</div> <div>Горизонтальная сила на опоре: $Q_{\text{опт}} = \sqrt{F_z^2 + Q_{\text{н}}^2} = \sqrt{35697^2 + 39145^2} = 52977 \text{ Н}$</div> <div>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{опт}}}{A_{\text{ш}}} = 52977 / 61096 = 0.86712 \text{ МПа}$</div> <div>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: $\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0.86712^2)^{1/2} = 1.7342 \text{ МПа}$</div> <div>Коэффициент прочности угловых сварных швов: $\varphi_{\text{ш}} = 0.65$ $\varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{опт}}\} = 0.65 \cdot \min\{177; 177\} = 115.05 \text{ МПа}$</div> <div>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} \leq \varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{опт}}\}$ $1.7342 \text{ МПа} < 115.05 \text{ МПа}$ Условие прочности выполнено.</div> <div>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</div> <div>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $A_0 = 2990 \text{ мм}$</div> <div>Длина сжатой зоны под опорой:</div>					
	Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
						29
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot 0.1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot 0.1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 0.8) / 3400)^{1/2} = 0.10479$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.10479^{1/2} + 6 \cdot 0.10479) / 2.4435 \} = 0.36329$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 1.8815$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1.8815} \cdot \sin(1.8815) / 1.8815; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 * 0.070945 * 0.36329 / (0.85144 * 0.25) = (-0.027849)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.5589 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 0.8)) = 2.9193 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.9193 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.010195)$$

$$S_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma} = [0.13826 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 0.8)) - 2.9193] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.013665$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.496 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{ 1.496, 1.4988 \} = 1.496$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.496 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 428.39 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428.39 \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} \cdot (18-0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 5.8597 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Примечание: при $\vartheta_{2,1} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}}$$

$= 1.496$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$

$= 1.4988$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$

$K_1 = \min\{ 1.496 , 1.4988 \} = 1.496$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.496 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 428.39$ МПа

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428.39 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} \cdot (18 - 0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 5.8597 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						31
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1.8815} \cdot \cos(1.8815)) / 1.8815 = 0.55624$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.10479)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.69503$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 0.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.44328$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.55624 / [0.42494 \cdot 0.69503 \cdot 0.44328 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.3964)$$

$$\vartheta_{2,1} = 0$$

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.13826 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 0.8)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 272.73) = 0.047719$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.36327 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.38043 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.36327, 0.38043\} = 0.36327$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_E = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.36327 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 104.03 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 104.03 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} \cdot (18 - 0.8) / (0.42494 \cdot 0.69503 \cdot 0.44328) = 2.9745 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (18 - 0.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 0.8))^2)^{1/2} = 24.897 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 115^\circ$ (2.0071 рад), $s - c = s_{ef} = 24.897$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0071 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.42487$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((24.897 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12607$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.12607^{1/2} + 6 \cdot 0.12607) / 2.0071\} = 0.51839$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 1.0228$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 32
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} = 0.93833$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.93833} \cdot \sin(0.93833) / 0.93833; 0.25 \} = 0.33634$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.42487 \cdot 0.51839 / (1.0228 \cdot 0.33634) = (-0.14726)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.5589 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (24.897 - 0)) = 2.0169 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.0169 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.0070430)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.13826 \cdot 3400 / (4 \cdot (24.897 - 0)) - 2.0169] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.0094405$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1.429 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1.4385 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.429, 1.4385 \} = 1.429$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.429 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 409.23 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 409.23 \cdot (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} \cdot (24.897 - 0) / (0.33634 \cdot 1.0228) = 6.032 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.93833} \cdot \cos(0.93833)) / 0.93833 = 0.81922$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.69592$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12607)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0071)]^{1/2} = 0.70137$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (24.897 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0071] = 0.64633$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.81922 / [0.69592 \cdot 0.70137 \cdot 0.64633 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0071)] = (-1.6319)$$

$$\varphi_{2,1} = 0$$

$$\varphi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.13826 \cdot 3400 / (2 \cdot (24.897 - 0)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 272.73) = 0.032967$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 0.50027 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 0.51642 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0.50027, 0.51642 \} = 0.50027$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

33

Взам. инв. №		парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $J_s=6.7733 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $W_s=0.0027093 \text{ м}^3$ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s=79803 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп}= 2.8501 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп}= 1.0943 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Распорная нагрузка:						
		Подп. и дата		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
34								

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<p>Расчёт в точке 3:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> <p>$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.50027 \cdot 1.05 \cdot 272.73=143.26$ МПа</p> <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:</p> <p>$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 143.26 \cdot (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} \cdot (24.897 - 0) / (0.69592 \cdot 0.70137 \cdot 0.64633)= 2.9604 \cdot 10^6$ Н</p> <p>Условие прочности:</p> <p>$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$</p> <p>$[F] = 2.9604 \cdot 10^6$ Н</p> <p>$7.8066 \cdot 10^5$ Н$\leq 2.9604 \cdot 10^6$ Н</p> <p>Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.</p> <p>Проверка условия устойчивости</p> <p>Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:</p> <p>$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7.8066 \cdot 10^5 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 0.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 0.36329= 2.2218 \cdot 10^5$ Н</p> <p>Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают р=0.</p> <p>Условие устойчивости: $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$</p> <p>$\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0.35283 + 2.2218 \cdot 10^5 / 4.1288 \cdot 10^7 + 4.5589 \cdot 10^5 / 3.6526 \cdot 10^7 + (4.4622 \cdot 10^5 / 9.382 \cdot 10^6)^2= 0.020125$</p> <p>$0.020125 \leq 1.0$</p> <p>Заключение: Условие устойчивости выполнено.</p> <p>Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017</p> <p>Свойства материала опоры:</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидротестирования):</p> <p>$[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1.1= 272.73$ МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре Т = 20 °С:</p> <p>$E^{20}=1.99 \cdot 10^5$ МПа</p> <p>Свойства материала бетона:</p> <p>Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):</p> <p>$[b]_{бет}=14$МПа</p> <p>Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$J_s=6.7733 \cdot 10^8$ мм⁴</p> <p>Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$W_s=0.0027093$ м³</p> <p>Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$A_s=79803$ мм²</p> <p>Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:</p> <p>$J_{оп}= 2.8501 \cdot 10^8$мм⁴</p> <p>Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:</p> <p>$A_{оп}= 1.0943 \cdot 10^5$мм²</p> <p>Распорная нагрузка:</p>					
				Лист	
90651-20600-AM-02-223 РР				34	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(115/2) - \sin^2(115)) / (3.1416/180 \cdot 115 - \sin(115)) \cdot 7.8066 \cdot 10^5 = 73758 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{73758 / 79803; 73758 / 0.0027093 \cdot 3400 \cdot \sin(115/2) / (3.1416/180 \cdot 115)\} = 38.894 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{272.73; 272.73\} = 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\}$$

$$38.894 \text{ МПа} < 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 7.8066 \cdot 10^5 / 1.0943 \cdot 10^5 = 7.1338 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 23117 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0.0020728 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 23117 / 0.0020728 = 11.153 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} = 7.1338 + 11.153 = 18.286 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$$

$$18.286 \text{ МПа} < 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1.0943 \cdot 10^5 \cdot 272.73 = 2.9845 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{\text{Е1}} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.8501 \cdot 10^6 / (1.8 \cdot 983.25^2) = 3.2168 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 983.25 \text{ мм}$$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):

$$l_p = 137.5 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 137.5 = 7.1509$$

Коэффициент k_1 :

$$k_1 = 68.716$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 25 \text{ мм}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								35
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 68.716 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.8 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^5 = 2.1498 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 706.25 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 706.25 = 1.3922$$

Коэффициент k_2 :

$$k_2 = 12.376$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами):

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.376 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.8 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^5 = 3.8719 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 3.2168 \cdot 10^8; 2.1498 \cdot 10^{10}; 3.8719 \cdot 10^9 \} = 3.2168 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 2.9845 \cdot 10^7 / (1 + (2.9845 \cdot 10^7 / 3.2168 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 2.9718 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$7.8066 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2.9718 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости выполнено.

Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$A_{ш} = 61096 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$W_{ш} = 0.035233 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{min} = 7.8066 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:

$$M_{сх} = 11594 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7.8066 \cdot 10^5) / 61096 \pm 11594 / 0.035233 = 0 \text{ МПа}$$

Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.

Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:

$$F_z = 46584 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

$$Q_H = 19271 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила на опоре:

$$Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 46584^2 + 19271^2 = 50413 \text{ Н}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:

$$\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 50413 / 61096 = 0.82515 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ок}}{W_{ш}} = (-7.8066 \cdot 10^5) / 61096 \pm 11594 / 0.035233 = 0 \text{ МПа}$ <p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</p> <p>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:</p> $F_z = 46584 \text{ Н}$ <p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:</p> $Q_H = 19271 \text{ Н}$ <p>Горизонтальная сила на опоре:</p> $Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 46584^2 + 19271^2 = 50413 \text{ Н}$ <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:</p> $\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 50413 / 61096 = 0.82515 \text{ МПа}$ <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p>				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		36	

Опорное усилие, F:

 $1.0329 \cdot 10^6 \text{ H}$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

$$4.3788 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):

Допускаемое наружное давление, [p]: 0.26738 МПа

0.26738 МПа

Допускаемый изгибающий момент, $[M]_{\text{уст}}$: $2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$2.1066 \cdot 10^7 \text{ H} \cdot \text{M}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]: $2.4217 \cdot 10^7$ Н

 $2.4217 \cdot 10^7 \text{ H}$

Допускаемое поперечное усилие, [Q]: $5.8466 \cdot 10^6$ Н

$$5.8466 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 3.8) / 3400)^{1/2} = 0.095211$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до дна (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 * 0.095211^{1/2} + 6 * 0.095211) / 2.4435 \} = 0.33482$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляются в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{13} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.025666)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.9029 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 3.8029 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3.8029 / (1.25 \cdot 177) = (-0.017188)$$

$$g_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 3.8029] / (1.25 \cdot 177) = 0.0095271$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4954 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1.4954, 1.4987\} = 1.4954$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

ИНВ. № подл.

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

38

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4954 \cdot 1.25 \cdot 177 = 330.85 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330.85 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3947 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.0708} \cdot \cos(2.0708)) / 2.0708 = 0.51211$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \frac{\pi}{\sqrt{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.095211)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.67917$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.42757$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.51211 / [0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.3406)$$

$$g_{21} = 0$$

$$g_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 3.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.053431$$

Примечание: при $g_{21} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.3707 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.3903 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.3707, 0.3903\} = 0.3707$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.3707 \cdot 1.25 \cdot 177 = 82.018 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_1]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 82.018 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757) = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ mm}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 115^\circ$ (2.0071 рад), $s - c = s_{\text{ef}} = 22.927$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0071 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.42487$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((22.927 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12098$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

Взам. инв. №	Расчёт №2: Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 115^\circ$ (2.0071 рад), $s - c = s_{ef} = 22.927$ мм. $K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0071 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.42487$ Параметр, определяемый расстоянием до днища: $\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s - c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((22.927 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12098$ Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):					
	Подп. и дата					
Инв. № подл.						
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 * 0.12098^{1/2} + 6 * 0.12098) / 2.0071 \} = 0.50029$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляются в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 1.0228$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25 \} = 0.319$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{13} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.42487 \cdot 0.50029 / (1.0228 \cdot 0.319) = (-0.14985)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.9029 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 2.3554 \text{ МПа}$$

$$g_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.3554 / (1.25 \cdot 177) = (-0.010646)$$

$$g_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 2.3554] / (1.25 \cdot 177) = 0.0059007$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4247 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4345 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4247, 1.4345\} = 1.4247$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4247 \cdot 1.25 \cdot 177 = 315.2 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 315.2 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0228) = 4.329 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.69592$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12098)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0071)]^{1/2} = 0.69251$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0071] = 0.64002$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.69592 \cdot 0.69251 \cdot 0.64002 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0071)] = (-1.6456)$$

$$g_{21} = 0$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0071) / \sin(0.5 \cdot 2.0071) = 0.69592$ $K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12098)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0071)]^{1/2} = 0.69251$ $K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0071] = 0.64002$ $\varphi_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.69592 \cdot 0.69251 \cdot 0.64002 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0071)] = (-1.6456)$ $\varphi_{21} = 0$				
			<div> <div>90651-20600-AM-02-223 PP</div> <div>Лист 40</div> </div>				

ки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$A_s = 79366 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 2.8501 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1.0943 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(115/2) - \sin^2(115)) / (3.1416/180 \cdot 115 - \sin(115)) \cdot 7.8732 \cdot 10^5 = 74387 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{74387 / 79366; 74387 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(115/2) / (3.1416/180 \cdot 115)\} = 39.639 \text{ МПа}$$

$$\min \{ [\sigma]; [\sigma]_{оп} \} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{ [\sigma]; [\sigma]_{оп} \}$$

$$39.639 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 7.8732 \cdot 10^5 / 1.0943 \cdot 10^5 = 7.1946 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 2.764 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0.0020728 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 2.764 \cdot 10^5 / 0.0020728 = 133.35 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 7.1946 + 133.35 = 140.54 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} \leq [\sigma]_{оп}$$

$$140.54 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{оп} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1.0943 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.937 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8501 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 983.25^2) = 3.9697 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 983.25 \text{ мм}$$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):

$$l_p = 137.5 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

Взам. инв. №	$\sigma_{сж} + \sigma_{\pi} \leq [\sigma]_{опт}$ 140.54 МПа < 177 МПа Условие прочности выполнено. Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\pi} = A_{опт} \cdot [\sigma]_{опт} = 1.0943 \cdot 10^6 \cdot 177 = 1.937 \cdot 10^7 \text{ Н}$				
	Подп. и дата	Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{\pi 1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{опт}}{n_y \cdot h_2^3} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8501 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 983.25^3) = 3.9697 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p = 983.25 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p = 137.5 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра:			
Инв. № подл.					
	90651-20600-AM-02-223 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					42

$$\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 137.5 = 7.1509$$

Коэффициент k_1 :

$$k_1 = 68.716$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 25 \text{ мм}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 68.716 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^5 = 2.6529 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 706.25 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 983.25 / 706.25 = 1.3922$$

Коэффициент k_2 :

$$k_2 = 12.376$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами):

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.376 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 983.25^2) \cdot 1.0943 \cdot 10^5 = 4.778 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2}, [F]_{E3} \} = \min \{ 3.9697 \cdot 10^8; 2.6529 \cdot 10^{10}; 4.778 \cdot 10^9 \} = 3.9697 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{л}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{л}}{[F]_E} \right)^2}} = 1.937 \cdot 10^7 / (1 + (1.937 \cdot 10^7 / 3.9697 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9346 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$7.8732 \cdot 10^5 \text{ Н} < 1.9346 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости выполнено.

Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$A_{ш} = 61096 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$W_{ш} = 0.035233 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{\min} = 7.0583 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:

$$M_{сх} = 14061 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{\min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7.0583 \cdot 10^5) / 61096 \pm 14061 / 0.035233 = 0 \text{ МПа}$$

Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.

Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:

$$F_z = 1.9008 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								43
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP																
<p>Q_Н=(-4583.4)Н</p> <p>Горизонтальная сила на опоре:</p> <p>$Q_{оп} = \sqrt{F_x^2 + Q_H^2} = 1.9008 \cdot 10^{02} + (-4583.4)^2 = 1.9013 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p> <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:</p> <p>$\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 1.9013 \cdot 10^5 / 61096 = 3.112 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p> <p>$\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 3.112^2)^{1/2} = 6.224 \text{ МПа}$</p> <p>Коэффициент прочности угловых сварных швов:</p> <p>$\varphi_{ш} = 0.65$</p> <p>$\varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\} = 0.65 \cdot \min\{177; 177\} = 115.05 \text{ МПа}$</p> <p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:</p> <p>$\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\}$</p> <p>6.224 МПа < 115.05 МПа</p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</p> <p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p>A₀= 2990 мм</p> <p>Длина сжатой зоны под опорой:</p> <p>$C_c = \frac{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{мин} \right \cdot A_0}{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{мин} \right + \left F_{мин} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{ 6 \cdot 4.9715 \cdot 10^5 / 2990 + 7.4257 \cdot 10^5 \cdot 2990 / [6 \cdot 4.9715 \cdot 10^5 / 2990 + 7.4257 \cdot 10^5] + 7.4257 \cdot 10^5 - 6 \cdot 4.9715 \cdot 10^5 / 2990 }{= 2607.8 \text{ мм}}$</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:</p> <p>$a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2990 / 2 - 2607.8 / 3 = 625.74 \text{ мм}$</p> <p>Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:</p> <p>d₆ = 20.319 мм</p> <p>Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:</p> <p>A₆ = 324.26мм²</p> <p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p>B₀= 2390 мм</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:</p> <p>$y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 625.74 + 2390 / 2 = 1820.7 \text{ мм}$</p> <p>Напряжение растяжения в анкерном болте:</p> <p>$\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{мин} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(4.9715 \cdot 10^5 - 7.4257 \cdot 10^5 \cdot 625.74) / (0.5 \cdot 4 \cdot 324.26 \cdot 1820.7); 0\} = 27.519 \text{ МПа}$</p> <p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры для сейсмике:</p> <p>$R^s = \max\{ F_{xX} - f_{тр} \cdot F_{xY}; 0\} = \max\{2.0426 \cdot 10^5 - 0.3 \cdot 7.4257 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}$</p> <p>Напряжение среза в анкерном болте:</p> <p>$\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} = 0 / (4 \cdot 324.26) = 0 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:</p> <p>$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (27.519^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 27.519 \text{ МПа}$</p>																				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP					Лист										
										44										
90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx										Формат А4										

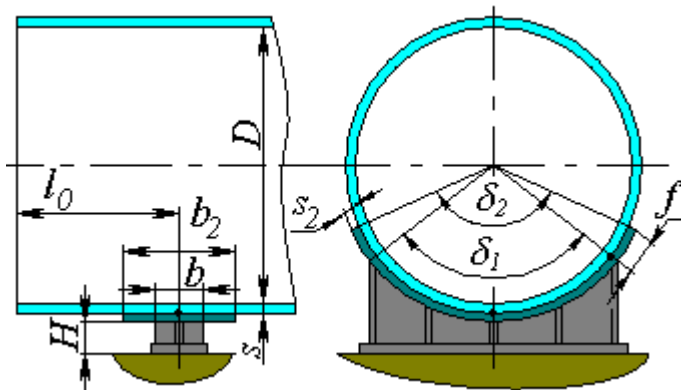
Условие прочности выполнено.

Значения нагрузок

Состояние	Вертикальная сила, Н	Изгибающий мо- мент в попереч- ной плоскости, Н·м	Изгибающий момент в про- дольной плос- кости, Н·м	Поперечная сила, Н	Продольная сила, Н	Перемещения закрепленного узла, мм
Рабочие усло- вия	$(-7.3579 \cdot 10^5)$	(-65555)	29334	39145	(-35697)	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия испы- таний	$(-7.8066 \cdot 10^5)$	(-11594)	23117	19271	(-46584)	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия сей- смических воз- действий	$(-7.7706 \cdot 10^5)$	$(-4.9715 \cdot 10^5)$	$2.764 \cdot 10^5$	$(-2.1649 \cdot 10^5)$	$(-2.3336 \cdot 10^5)$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$

Формат А4

Опора седловая неподвижная



Эскиз элемента

Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки, D:

3400 мм

Толщина стенки обечайки, s:

18 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

3 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

0.8 мм

Прибавка технологическая, c3:

0 мм

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

3.8 мм

Ширина опоры, b:

300 мм

Угол охвата опоры, delta1:

116 °

Расстояние от края элемента, l0:

11190 мм

Расстояние до дна, a:

- мм

Высота опоры, H:

205 мм

Толщина листа, s2:

18 мм

Ширина листа, b2:

500 мм

Угол охвата листа, delta2:

140 °

Длина выступающей части листа, f:

363.59 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура стенки обечайки, T:

100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:

0.098745 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

8.4644·10⁵ Н·м

Опорное усилие, F:

1.075·10⁶ Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

5.6635·10⁵ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт "Обечайка цилиндрическая"):

Допускаемое наружное давление, [p]:

0.1577 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]уст:

1.8475·10⁷ Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

2.0657·10⁷ Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

4.8261·10⁶ Н

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
Лист	№ док.
Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР	
46	

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25\} = 0.25$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 1 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.076657)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 8.4644 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 6.5654 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -6.5654 / (1.25 \cdot 177) = (-0.029674)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 6.5654] / (1.25 \cdot 177) = (-0.0029586)$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4696 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4797 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4696, 1.4797\} = 1.4696$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4696 \cdot 1.25 \cdot 177 = 325.15 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 325.15 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3363 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.0708} \cdot \cos(2.0708)) / 2.0708 = 0.51211$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1.0$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP
					Лист
					47

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.42757$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.51211 / [0.42494 \cdot 1 \cdot 0.42757 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-1.5897)$$

$$\vartheta_{2,1} = 0$$

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c) \cdot K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 3.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.053431$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.51083 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.5375 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.51083, 0.5375\} = 0.51083$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.51083 \cdot 1.25 \cdot 177 = 113.02 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 113.02 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.42494 \cdot 1 \cdot 0.42757) = 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), $s - c = s_{ef} = 22.927$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0246 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.40878$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25\} = 0.319$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 1 / (1.0142 \cdot 0.319) = (-0.29061)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{мк} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 8.4644 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 4.0664 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{мк} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -4.0664 / (1.25 \cdot 177) = (-0.018379)$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

48

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 4.0664] / (1.25 \cdot 177) = (-0.0018324)$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.2736_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}}$$

$$= 1.2878_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}}$$

$$K_1 = \min\{1.2736, 1.2878\} = 1.2736$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.2736 \cdot 1.25 \cdot 177 = 281.78 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 281.78 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0142) = 3.9027 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.63803$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.68325 \cdot 1 \cdot 0.63803 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.158)$$

$$\vartheta_{2,1} = 0$$

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.65005_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}}$$

$$= 0.67069_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}}$$

$$K_1 = \min\{0.65005, 0.67069\} = 0.65005$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.65005 \cdot 1.25 \cdot 177 = 143.82 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 143.82 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.68325 \cdot 1 \cdot 0.63803) = 1.9007 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$1.075 \cdot 10^6 \text{ Н} \leq 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.075 \cdot 10^6 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 1 = 9.2685 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								49
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают $p=0$.

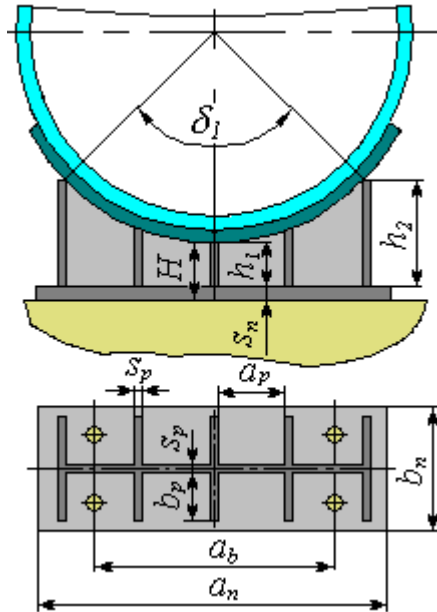
Условие устойчивости: $\frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$

$$\frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0.1577 + 9.2685 \cdot 10^5 / 2.0657 \cdot 10^7 + 8.4644 \cdot 10^5 / 1.8475 \cdot 10^7 + (5.6635 \cdot 10^5 / 4.8261 \cdot 10^6)^2 = 0.10445$$

$$0.10445 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017



Эскиз опоры

Данные опоры

Материал опоры:	09Г2С Лист
Бетон основания:	B25 (M350)
Высота среднего ребра, h_1 :	180 мм
Толщина поперечных ребер, s_p :	25 мм
Длина опорной плиты, a_n :	2990 мм
Ширина опорной плиты, b_n :	300 мм
Толщина опорной плиты, s_n :	25 мм
Закрепление:	Неподвижная

Анкерные болты:

Материал:	09Г2С Крепеж
Номинальный диаметр, d :	24 мм
Количество, n :	4
Расстояние между болтами, a_b :	2390 мм

Свойства материала опоры:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):
 $[\sigma] = 177$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре $T = 100$ °С:
 $E = 1.91 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса B25 (M350):
 $[\sigma]_{бет} = 14$ МПа

Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось ап-

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 50
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$
 $J_s = 6.7027 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$

Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной

$$1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$$

$$W_s = 0.0026811 \text{ м}^3$$

Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечай-

ки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$A_s = 79366 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 2.8505 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 1.075 \cdot 10^6 = 1.2636 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}, \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1.2636 \cdot 10^5 / 79366; 1.2636 \cdot 10^5 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116)\} = 67.121 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma], [\sigma]_{оп}\} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}, \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma], [\sigma]_{оп}\}$$

$$67.121 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 1.075 \cdot 10^6 / 1.1036 \cdot 10^5 = 9.7406 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 7027.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0.0020731 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 7027.7 / 0.0020731 = 3.39 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 9.7406 + 3.39 = 13.131 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} \leq [\sigma]_{оп}$$

$$13.131 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{из} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.9534 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						51

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div>$[F]_{E1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 * 1.91 \cdot 10^5 * 2.8505 \cdot 10^8 / (2.4 * 996.06^2) = 2.2567 \cdot 10^8 Н$</div> <div>Высота участка ребра: $h_p=996.06$ мм</div> <div>Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p=137.5$ мм</div> <div>Отношение высоты ребра к ширине ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5 = 7.2441$</div> <div>Коэффициент k_1: $k_1=70.393$</div> <div>Толщина участка ребра: $s_p=25$ мм</div> <div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: $[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 70.393 * 1.91 \cdot 10^5 * 25^2 / (2.4 * 996.06^2) * 1.1036 \cdot 10^5 = 1.5579 \cdot 10^{10} Н$</div> <div>Ширина участка ребра: $l_p=716$ мм</div> <div>Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716 = 1.3911$</div> <div>Коэффициент k_2: $k_2=12.359$</div> <div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): $[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.359 * 1.91 \cdot 10^5 * 25^2 / (2.4 * 996.06^2) * 1.1036 \cdot 10^5 = 2.7352 \cdot 10^9 Н$</div> <div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: $[F]_E = \min \{ [F]_{E1} ; [F]_{E2} ; [F]_{E3} \} = \min \{ 2.2567 \cdot 10^8 ; 1.5579 \cdot 10^{10} ; 2.7352 \cdot 10^9 \} = 2.2567 \cdot 10^8 Н$</div> <div>Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору: $[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 1.9534 \cdot 10^7 / (1 + (1.9534 \cdot 10^7 / 2.2567 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9461 \cdot 10^7 Н$</div> <div>Условие прочности и устойчивости опоры: $F \leq [F]$ $1.075 \cdot 10^6 Н < 1.9461 \cdot 10^7 Н$ Условие прочности и устойчивости выполнено.</div> <div>Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$): $A_{ш}=61642$ мм²</div> <div>Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$): $W_{ш}=0.035970$ м³</div> <div>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: $F_{min}=1.075 \cdot 10^6$ Н</div> <div>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: $M_{сх}= 65667$ Н·м</div> <div>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:</div>							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
							52
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР				
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div>$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ок}}{W_{ш}} = (-1.075 \cdot 10^6) / 61642 \pm 65667 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$<p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</p><p>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах: Fz=7987.9 Н</p><p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: Qн=37347Н</p><p>Горизонтальная сила на опоре: $Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 7987.9^2 + 37347^2 = 38192 \text{ Н}$</p><p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 38192 / 61642 = 0.61958 \text{ МПа}$</p><p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0.61958^2)^{1/2} = 1.2392 \text{ МПа}$</p><p>Коэффициент прочности угловых сварных швов: φш = 0.65</p><p>$\varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma_{ш}; \sigma_{оп}\} = 0.65 \cdot \min\{177; 177\} = 115.05 \text{ МПа}$</p><p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma_{ш}; \sigma_{оп}\}$ 1.2392 МПа < 115.05 МПа</p><p>Условие прочности выполнено.</p><p>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</p><p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: A0= 2990 мм</p><p>Длина сжатой зоны под опорой: $C_c = \frac{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right \cdot A_0}{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right + \left F_{min} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{ 6 \cdot 65667 / 2990 + 1.075 \cdot 10^6 \cdot 2990}{ 6 \cdot 65667 / 2990 + 1.075 \cdot 10^6 + 1.075 \cdot 10^6 - 6 \cdot 65667 / 2990 } = 1678.3 \text{ мм}$</p><p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: $a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2990 / 2 - 1678.3 / 3 = 935.58 \text{ мм}$</p><p>Внутренний диаметр резьбы анкерного болта: d6 = 20.319 мм</p><p>Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы: A6 = 324.26мм²</p><p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: B0= 2390 мм</p><p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: $y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 935.58 + 2390 / 2 = 2130.6 \text{ мм}$</p><p>Напряжение растяжения в анкерном болте: $\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(65667 - 1.075 \cdot 10^6 \cdot 935.58) / (0.5 \cdot 4 \cdot 324.26 \cdot 2130.6); 0\} = 0 \text{ МПа}$</p><p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры без сейсмики: $R^s = \max \left\{ \sqrt{R_{\Sigma X}^2 + R_{\Sigma Z}^2} - f_{тр} \cdot R_{\Sigma Y}; 0 \right\} = \max\{((-7987.9)^2 + (-37347)^2)^{0.5} - 0.3 \cdot 1.075 \cdot 10^6; 0\} = 0 \text{ Н}$</p></div>								
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР			
Взам. инв. №	Подп. и дата							
Инв. № подл.								

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
Напряжение среза в анкерном болте: $\tau_t = \frac{ R^s }{n_b \cdot A_b} = 0 / (4 \cdot 324.26) = 0 \text{ МПа}$				
Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте: $\sigma_b = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Крепеж (рабочие условия): $\sigma_B = 184 \text{ МПа}$				
Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг: $\sigma_b \leq [\sigma]_b$ 0 МПа < 184 МПа				
Условие прочности выполнено.				
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)				
Условия нагружения при испытаниях (см. Эпюры сил и моментов):				
Расчётная температура стенки обечайки, T:		20 °C		
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:		0.13826 МПа		
Изгибающий момент над опорой, M:		9.1974·10 ⁵ Н·м		
Опорное усилие, F:		1.1655·10 ⁶ Н		
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:		6.1373·10 ⁵ Н		
Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):				
Допускаемое наружное давление, [p]:		0.35283 МПа		
Допускаемый изгибающий момент, [M] _{уст} :		3.6526·10 ⁷ Н·м		
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:		4.1288·10 ⁷ Н		
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:		9.382·10 ⁶ Н		
Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017				
Опора с подкладным листом				
Расчёт №1:				
Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b ₂ с углом охватаδ ₂ . Во всех формулах принимают b = b ₂ = 500 мм,δ ₁ =δ ₂ =140 ° (2.4435 рад)				
$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0 \} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$				
K ₁₅ = 1.0				
Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ ₁ подставляют в радианах):				
$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$				
Параметр, определяемый шириной пояса опоры:				
$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 1.8815$				
Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ ₁ подставляют в радианах):				
$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1.8815} \cdot \sin(1.8815) / 1.8815; 0.25 \} = 0.25$				
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				54
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (18 - 0.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 0.8))^2)^{1/2} = 24.897 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300 \text{ мм}$, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), $s - c = s_{ef} = 24.897 \text{ мм}$.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0246 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.40878$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} = 0.93833$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-0.93833} \cdot \sin(0.93833) / 0.93833; 0.25\} = 0.33634$$

$$\Phi_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 1 / (1.0142 \cdot 0.33634) = (-0.27563)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 9.1974 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (24.897 - 0)) = 4.0689 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -4.0689 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.014209)$$

$$\Phi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.13826 \cdot 3400 / (4 \cdot (24.897 - 0)) - 4.0689] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.0022747$$

Примечание: при $\Phi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \Phi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right)^2 + (1 - \Phi_2^2) \cdot \Phi_1^2}} = 1.2938 \text{ при } \Phi_2 = \Phi_{2,1}$$

$$= 1.3076 \text{ при } \Phi_2 = \Phi_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.2938, 1.3076\} = 1.2938$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.2938 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 370.48 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 370.48 \cdot (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} \cdot (24.897 - 0) / (0.33634 \cdot 1.0142) = 5.5071 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.93833} \cdot \cos(0.93833)) / 0.93833 = 0.81922$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1.0$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 56
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP		
<p>парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$J_s=6.7733 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$</p> <p>Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$W_s=0.0027093 \text{ м}^3$</p> <p>Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$</p> <p>$A_s=79803 \text{ мм}^2$</p> <p>Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:</p> <p>$J_{оп}= 2.8505 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$</p> <p>Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:</p> <p>$A_{оп}= 1.1036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$</p> <p>Распорная нагрузка:</p> $F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 1.1655 \cdot 10^6 = 1.3699 \cdot 10^5 \text{ Н}$ $\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1.3699 \cdot 10^5 / 79803; 1.3699 \cdot 10^5 / 0.0027093 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116)\} = 72.012 \text{ МПа}$ $\min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\} = \min\{272.73; 272.73\} = 272.73 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности при действии распорной нагрузки:</p> $\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\}$ <p>72.012 МПа < 272.73 МПа</p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчетное сжимающее напряжение в опоре:</p> $\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 1.1655 \cdot 10^6 / 1.1036 \cdot 10^5 = 10.56 \text{ МПа}$ <p>Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:</p> <p>$M_{RX}=1104 \text{ Н} \cdot \text{м}$</p> <p>Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:</p> <p>$W=0.0020731 \text{ м}^3$</p> <p>Расчетное напряжение изгиба в опоре</p> $\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 1104 / 0.0020731 = 0.53254 \text{ МПа}$ <p>Суммарное напряжение в опоре:</p> $\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 10.56 + 0.53254 = 11.093 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности опоры:</p> $\sigma_{сж} + \sigma_{из} \leq [\sigma]_{оп}$ <p>11.093 МПа < 272.73 МПа</p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p>Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:</p> $[F]_{из} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 272.73 = 3.0098 \cdot 10^7 \text{ Н}$ <p>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:</p>						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						58

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div>$[F]_{E1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 * 1.99 \cdot 10^5 * 2.8505 \cdot 10^8 / (1.8 * 996.06^2) = 3.135 \cdot 10^8 \text{Н}$<p>Высота участка ребра: h_p=996.06 мм</p><p>Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): l_p=137.5 мм</p><p>Отношение высоты ребра к ширине ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5 = 7.2441$</p><p>Коэффициент k₁: k₁=70.393</p><p>Толщина участка ребра: s_p=25 мм</p><p>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: $[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 70.393 * 1.99 \cdot 10^5 * 25^2 / (1.8 * 996.06^2) * 1.1036 \cdot 10^5 = 2.1642 \cdot 10^{10} \text{Н}$</p><p>Ширина участка ребра: l_p=716 мм</p><p>Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716 = 1.3911$</p><p>Коэффициент k₂: k₂=12.359</p><p>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): $[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.359 * 1.99 \cdot 10^5 * 25^2 / (1.8 * 996.06^2) * 1.1036 \cdot 10^5 = 3.7997 \cdot 10^9 \text{Н}$</p><p>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: $[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 3.135 \cdot 10^8; 2.1642 \cdot 10^{10}; 3.7997 \cdot 10^9 \} = 3.135 \cdot 10^8 \text{Н}$</p><p>Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору: $[F] = \frac{[F]_{п}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{п}}{[F]_E} \right)^2}} = 3.0098 \cdot 10^7 / (1 + (3.0098 \cdot 10^7 / 3.135 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 2.9961 \cdot 10^7 \text{ Н}$</p><p>Условие прочности и устойчивости опоры: F ≤ [F]</p><p>1.1655·10⁶ Н < 2.9961·10⁷ Н</p><p>Условие прочности и устойчивости выполнено.</p><p>Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна 0.7·Δ_ш): A_ш=61642 мм²</p><p>Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна 0.7·Δ_ш): W_ш=0.035970 м³</p><p>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: F_{min}=1.1655·10⁶ Н</p><p>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: M_{сх}= 11955 Н·м</p><p>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:</p></div>						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР			Лист
						59
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ок}}{W_{ш}} = (-1.1655 \cdot 10^6) / 61642 \pm 11955 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$ <p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</p> <p>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах: $F_z=957.9 \text{ Н}$</p> <p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: $Q_H=21881 \text{ Н}$</p> <p>Горизонтальная сила на опоре: $Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 957.9^2 + 21881^2=21902 \text{ Н}$</p> <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 21902 / 61642= 0.3553 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0.3553^2)^{1/2}= 0.71061 \text{ МПа}$</p> <p>Коэффициент прочности угловых сварных швов: $\varphi_{ш} = 0.65$</p> <p>$\varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\} = 0.65 \cdot \min\{272.73; 272.73\}=177.27 \text{ МПа}$</p> <p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\}$ $0.71061 \text{ МПа} < 177.27 \text{ МПа}$</p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</p> <p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $A_0= 2990 \text{ мм}$</p> <p>Длина сжатой зоны под опорой: $C_c = \frac{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right \cdot A_0}{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right + \left F_{min} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{[6 \cdot 11955 / 2990 + 1.1655 \cdot 10^6] \cdot 2990}{[6 \cdot 11955 / 2990 + 1.1655 \cdot 10^6] + [1.1655 \cdot 10^6 - 6 \cdot 11955 / 2990]} = 1525.8 \text{ мм}$</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: $a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2990 / 2 - 1525.8 / 3= 986.41 \text{ мм}$</p> <p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $B_0= 2390 \text{ мм}$</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: $y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 986.41 + 2390 / 2= 2181.4 \text{ мм}$</p> <p>Напряжение растяжения в анкерном болте: $\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_b \cdot A_b \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(11955 - 1.1655 \cdot 10^6 \cdot 986.41) / (0.5 \cdot 4 \cdot 324.26 \cdot 2181.4); 0\}= 0 \text{ МПа}$</p> <p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры без сейсмики: $R^s = \max \left\{ \sqrt{R_{xz}^2 + R_{yz}^2} - f_{тр} \cdot R_{xy}; 0 \right\} = \max\{((-957.9)^2 + (-21881)^2)^{0.5} - 0.3 \cdot 1.1655 \cdot 10^6; 0\}=0 \text{ Н}$</p> <p>Напряжение среза в анкерном болте: $\tau_t = \frac{ R^s }{n_b \cdot A_b} = 0 / (4 \cdot 324.26)= 0 \text{ МПа}$</p>					
	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инов. № подл.	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
						60
	Изм.	Лист	№ док.			Подп.

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:				
	$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$				
	Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Крепеж (условия гидроиспытаний):				
	$\sigma_B = 184 \text{ МПа}$				
	Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг:				
	$\sigma_6 \leq [\sigma]_6$				
	0 МПа < 184 МПа				
	Условие прочности выполнено.				
	Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)				
Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):					
Расчётная температура стенки обечайки, Т:		100 °С			
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, р:		0.098745 МПа			
Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, М:		8.427·10 ⁵ Н·м			
Опорное усилие, F:		1.4534·10 ⁶ Н			
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:		5.8117·10 ⁵ Н			
Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт "Обечайка цилиндрическая"):					
Допускаемое наружное давление, [р]:		0.26738 МПа			
Допускаемый изгибающий момент, [M] _{уст.} :		2.1066·10 ⁷ Н·м			
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:		2.4217·10 ⁷ Н			
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:		5.8466·10 ⁶ Н			
Опора с подкладным листом					
Расчёт №1:					
Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b ₂ с углом охвата δ ₂ . Во всех формулах принимают b = b ₂ = 500 мм, δ ₁ = δ ₂ = 140 ° (2.4435 рад)					
$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0 \} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$					
K ₁₅ = 1.0					
Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ ₁ подставляют в радианах):					
$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$					
Параметр, определяемый шириной пояса опоры:					
$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$					
Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ ₁ подставляют в радианах):					
$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25 \} = 0.25$					
$\varphi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 1 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.076657)$					
Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:					
$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 8.427 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 6.5364 \text{ МПа}$					
$\varphi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -6.5364 / (1.25 \cdot 177) = (-0.029543)$					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР
					Лист
					61

$$g_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 6.5364] / (1.25 \cdot 177) = (-0.0028274)$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4697 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{ 1.4697, 1.4797 \} = 1.4697$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4697 \cdot 1.25 \cdot 177 = 325.16 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 325.16 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3364 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.0708} \cdot \cos(2.0708)) / 2.0708 = 0.51211$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.42757$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.51211 / [0.42494 \cdot 1 \cdot 0.42757 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-1.5897)$$

$$g_{21} = 0$$

$$g_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot |\sigma|} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 3.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.053431$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.51083 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.5375 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.51083, 0.5375\} = 0.51083$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.51083 \cdot 1.25 \cdot 177 = 113.02 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_1]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 113.02 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.42494 \cdot 1 \cdot 0.42757) = 1.7468 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ mm}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), $s - c = s_{\text{ef}} = 22.927$ мм.

Взам. инв. №	$[\sigma]_{\text{Б}} = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.51083 \cdot 1.25 \cdot 177 = 113.02 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 113.02 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.42494 \cdot 1 \cdot 0.42757) = 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$																		
	Подп. и дата	$s_{\text{ef}} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c} \right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ мм}$ Расчёт №2: Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают b = 300 мм, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), s - c = s _{ef} = 22.927 мм.																	
Инв. № подл.																			
	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>															Изм.	Лист	№ док.	Подп.
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата															
90651-20600-AM-02-223 PP					Лист 62														

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0246 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.40878$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25\} = 0.319$$

$$\varphi_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 1 / (1.0142 \cdot 0.319) = (-0.29061)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 8.427 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 4.0484 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -4.0484 / (1.25 \cdot 177) = (-0.018298)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 4.0484] / (1.25 \cdot 177) = (-0.0017512)$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1.2737 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1.2879 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.2737, 1.2879\} = 1.2737$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.2737 \cdot 1.25 \cdot 177 = 281.8 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 281.8 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0142) = 3.9029 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.63803$$

$$\varphi_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.68325 \cdot 1 \cdot 0.63803 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.158)$$

$$\varphi_{2,1} = 0$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 63
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.65005 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.67069 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.65005, 0.67069\} = 0.65005$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.65005 \cdot 1.25 \cdot 177 = 143.82 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 143.82 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.68325 \cdot 1 \cdot 0.63803) = 1.9007 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$1.4534 \cdot 10^6 \text{ Н} \leq 1.7468 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.4534 \cdot 10^6 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 1 = 1.2531 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают $p=0$.

$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0.26738 + 1.2531 \cdot 10^6 / 2.4217 \cdot 10^7 + 8.427 \cdot 10^5 / 2.1066 \cdot 10^7 + (5.8117 \cdot 10^5 / 5.8466 \cdot 10^6)^2 = 0.10163$$

$$0.10163 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017

Свойства материала опоры:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре $T = 100$ °С:

$$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):

$$[\sigma]_{\text{бет}} = 14 \text{ МПа}$$

Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$J_s = 6.7027 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$W_s = 0.0026811 \text{ м}^3$$

Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечай-

Взам. инв. №	Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 100 °C: E=1.91·10 ⁵ МПа					
Подп. и дата	Свойства материала бетона: Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350): [σ] _{бет} =14МПа Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ J _S =6.7027·10 ⁸ мм ⁴ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ W _S =0.0026811 м ³ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечай-					
Инв. № подл.					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						64
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

ки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$A_s = 79366 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 2.8505 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 1.0646 \cdot 10^6 = 1.2514 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max \{ 1.2514 \cdot 10^5 / 79366; 1.2514 \cdot 10^5 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116) \} = 66.474 \text{ МПа}$$

$$\min \{ [\sigma]; [\sigma]_{оп} \} = \min \{ 177; 177 \} = 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{ [\sigma]; [\sigma]_{оп} \}$$

$$66.474 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 1.0646 \cdot 10^6 / 1.1036 \cdot 10^5 = 9.6467 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 3.1516 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0.0020731 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 3.1516 \cdot 10^5 / 0.0020731 = 152.03 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 9.6467 + 152.03 = 161.67 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} \leq [\sigma]_{оп}$$

$$161.67 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{оп} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.9534 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 996.06^2) = 3.8687 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 996.06 \text{ мм}$$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):

$$l_p = 137.5 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\sigma_{сж} + \sigma_{н} \leq [\sigma]_{опт}$ 161.67 МПа < 177 МПа Условие прочности выполнено. Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{опт} = A_{опт} \cdot [\sigma]_{опт} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.9534 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{опт}}{n_y \cdot h_2^3} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 996.06^2) = 3.8687 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p = 996.06 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p = 137.5 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра:				
			90651-20600-AM-02-223 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист		
					65		

$$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5 = 7.2441$$

Коэффициент k_1 :

$$k_1 = 70.393$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 25 \text{ мм}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 70.393 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 2.6707 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 716 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716 = 1.3911$$

Коэффициент k_2 :

$$k_2 = 12.359$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами):

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.359 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 4.689 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2}, [F]_{E3} \} = \min \{ 3.8687 \cdot 10^8; 2.6707 \cdot 10^{10}; 4.689 \cdot 10^9 \} = 3.8687 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} = 1.9534 \cdot 10^7 / (1 + (1.9534 \cdot 10^7 / 3.8687 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9509 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$1.0646 \cdot 10^6 \text{ Н} < 1.9509 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости выполнено.

Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$A_{ш} = 61642 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$W_{ш} = 0.035970 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{min} = 1.0635 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:

$$M_{сх} = 14419 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-1.0635 \cdot 10^6) / 61642 \pm 14419 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$$

Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.

Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:

$$F_z = 3.0538 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 66
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР		
	Q _н =692.65Н										
	Горизонтальная сила на опоре:										
	Q _{опт} = √(F _х ² + Q _н ²) = 3.0538·10 ⁵² + 692.65 ² =3.0538·10 ⁵ Н										
	Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:										
	τ _ш = Q _{опт} / A _ш = 3.0538·10 ⁵ /61642= 4.9541МПа										
	Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:										
	√(σ _ш ² + 4 · τ _ш ²) = (0 ² + 4 · 4.9541 ²) ^{1/2} = 9.9081МПа										
	Коэффициент прочности угловых сварных швов:										
	φ _ш = 0.65										
	φ _ш · min{[σ]; [σ] _{опт} } = 0.65 * min{177; 177}=115.05 МПа										
Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:											
√(σ _ш ² + 4 · τ _ш ²) ≤ φ _ш · min{[σ]; [σ] _{опт} }											
9.9081 МПа < 115.05 МПа											
Условие прочности выполнено.											
Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017											
Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:											
A ₀ = 2990 мм											
Длина сжатой зоны под опорой:											
C _c = (6 · M _{ок} / A ₀ + F _{мин} · A ₀) / (6 · M _{ок} / A ₀ + F _{мин} + F _{мин} - 6 · M _{ок} / A ₀) = (6 * 5.0887·10 ⁵ / 2990 + 1.0614·10 ⁶ * 2990 / [6 * 5.0887·10 ⁵ / 2990 + 1.0614·10 ⁶ + 1.0614·10 ⁶ - 6 * 5.0887·10 ⁵ / 2990]) = 2933.3 мм											
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:											
a _c = A ₀ / 2 - C _c / 3 = 2990 / 2 - 2933.3 / 3= 517.24 мм											
Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:											
d ₆ = 20.319 мм											
Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:											
A ₆ = 324.26мм ²											
Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:											
B ₀ = 2390 мм											
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:											
y _c = a _c + B ₀ / 2 = 517.24 + 2390 / 2= 1712.2 мм											
Напряжение растяжения в анкерном болте:											
σ _с = max { (M _{ок} - F _{мин} · a _c) / (0.5 · n ₆ · A ₆ · y _c) ; 0 } = max{(5.0887·10 ⁵ - 1.0614·10 ⁶ * 517.24) / (0.5 * 4 * 324.26 * 1712.2); 0}= 0 МПа											
Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры для сейсмики:											
R ^s = max { max {F _{ΣZ} ; F _{ΣX} } - f _{тр} · F _{ΣY} ; 0 } = max{max{ -7983.9 ; 2.9385·10 ⁵ } - 0.3 * 1.0614·10 ⁶ ; 0}=0 Н											
Напряжение среза в анкерном болте:											
τ _t = R ^s / (n ₆ · A ₆) = 0 / (4 * 324.26)= 0МПа											
Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:											
σ ₆ = √(σ _с ² + 4 · τ _t ²) = (0 ² + 4 * 0 ²) ^{1/2} = 0МПа											
Взам. инв. №											
Подп. и дата											
Инв. № подл.											
Изм.				Лист		№ док.		Подп.		Дата	
90651-20600-AM-02-223 РР										Лист	
										67	

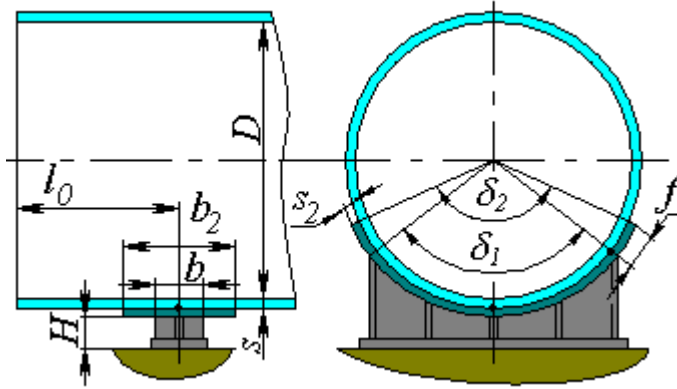
Условие прочности выполнено.

Значения нагрузок

Состояние	Вертикальная сила, Н	Изгибающий мо- мент в попереч- ной плоскости, Н·м	Изгибающий момент в про- дольной плос- кости, Н·м	Поперечная сила, Н	Продольная сила, Н	Перемещения закрепленного узла, мм
Рабочие усло- вия	$(-1.075 \cdot 10^6)$	(-65667)	7027.7	37347	7987.9	$\delta_x=0$
						$\delta_y=0$
						$\delta_z=0$
Условия испы- таний	$(-1.1655 \cdot 10^6)$	(-11955)	1104	21881	957.9	$\delta_x=0$
						$\delta_y=0$
						$\delta_z=0$
Условия сей- смических воз- действий	$(-1.0638 \cdot 10^6)$	$(-5.0887 \cdot 10^5)$	$3.1516 \cdot 10^5$	$(-2.9385 \cdot 10^5)$	$3.0538 \cdot 10^5$	$\delta_x=0$
						$\delta_y=0$
						$\delta_z=0$

Формат А4

Опора подвижная правая



Эскиз элемента

Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки, D:

3400 мм

Толщина стенки обечайки, s:

18 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

3 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

0.8 мм

Прибавка технологическая, c3:

0 мм

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

3.8 мм

Ширина опоры, b:

300 мм

Угол охвата опоры, delta1:

116 °

Расстояние от края элемента, l0:

20690 мм

Расстояние до дна, a:

1770 мм

Высота опоры, H:

205 мм

Толщина листа, s2:

18 мм

Ширина листа, b2:

500 мм

Угол охвата листа, delta2:

140 °

Длина выступающей части листа, f:

363.59 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура стенки обечайки, T:

100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:

0.098745 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

4.8154·10⁵ Н·м

Опорное усилие, F:

7.4717·10⁵ Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

4.2271·10⁵ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт "Обечайка цилиндрическая"):

Допускаемое наружное давление, [p]:

0.1577 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]уст:

1.8475·10⁷ Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

2.0657·10⁷ Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

4.8261·10⁶ Н

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
Лист	№ док.
Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР	
69	

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot 8.1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot 8.1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 3.8) / 3400)^{1/2} = 0.095211$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.095211^{1/2} + 6 \cdot 0.095211) / 2.4435 \} = 0.33482$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.025666)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.8154 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 3.735 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3.735 / (1.25 \cdot 177) = (-0.016881)$$

$$S_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 3.735] / (1.25 \cdot 177) = 0.0098341$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4954 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1.4954, 1.4988\} = 1.4954$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4954 \cdot 1.25 \cdot 177 = 330.86 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330.86 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} \cdot (18-3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3948 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата	<p>Примечание: при $\vartheta_{2,1} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4954 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 1.4988 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$ <p>$K_1 = \min\{1.4954, 1.4988\} = 1.4954$</p> <p>Расчёт в точке 2:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> <p>$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4954 \cdot 1.25 \cdot 177 = 330.86$ МПа</p> <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:</p> $[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330.86 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 3.3948 \cdot 10^6 \text{ Н}$				
			<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Изм. Лист № док. Подп. Дата</div>				
70							

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.0708} \cdot \cos(2.0708)) / 2.0708 = 0.51211$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.095211)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.67917$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.42757$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.51211 / [0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.3406)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 3.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.053431$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.3707 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$$

$$= 0.3903 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.3707, 0.3903\} = 0.3707$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.3707 \cdot 1.25 \cdot 177 = 82.018 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 82.018 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \cdot (18 - 3.8) / (0.42494 \cdot 0.67917 \cdot 0.42757) = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (18 - 3.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 3.8))^2)^{1/2} = 22.927 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), $s - c = s_{ef} = 22.927$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0246 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.40878$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((22.927 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12098$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.12098^{1/2} + 6 \cdot 0.12098) / 2.0246\} = 0.49597$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 71
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25 \} = 0.319$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 0.49597 / (1.0142 \cdot 0.319) = (-0.14413)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.8154 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 2.3133 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.3133 / (1.25 \cdot 177) = (-0.010456)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 2.3133] / (1.25 \cdot 177) = 0.0060909$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4297 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4392 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4297, 1.4392 \} = 1.4297$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4297 \cdot 1.25 \cdot 177 = 316.32 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 316.32 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0142) = 4.3809 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12098)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0246)]^{1/2} = 0.69384$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.63803$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.68325 \cdot 0.69384 \cdot 0.63803 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.6689)$$

$$\vartheta_{2,1} = 0$$

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.49134 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.50727 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0.49134, 0.50727 \} = 0.49134$$

Взам. инв. №	$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.63803$				
	$\vartheta_{17} = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.68325 \cdot 0.69384 \cdot 0.63803 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.6689)$				
Подп. и дата	$\vartheta_{21} = 0$				
	$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$				
Инв. № подл.	Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные				
	$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.49134 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$				
	$= 0.50727 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$				
$K_1 = \min\{0.49134, 0.50727\} = 0.49134$					
90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					72
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.49134 \cdot 1.25 \cdot 177 = 108.71 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 108.71 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.68325 \cdot 0.69384 \cdot 0.63803) = 2.0706 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$7.4717 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7.4717 \cdot 10^5 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 = 2.1569 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают р=0.

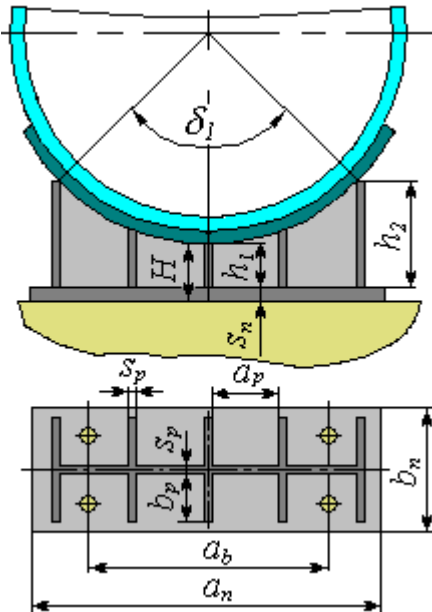
$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0.1577 + 2.1569 \cdot 10^5 / 2.0657 \cdot 10^7 + 4.8154 \cdot 10^5 / 1.8475 \cdot 10^7 + (4.2271 \cdot 10^5 / 4.8261 \cdot 10^6)^2 = 0.044177$$

$$0.044177 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017



Эскиз опоры

Данные опоры

Материал опоры:

09Г2С Лист

Бетон основания:

B25 (M350)

Высота среднего ребра, h₁:

180 мм

Толщина поперечных ребер, s_p:

25 мм

Длина опорной плиты, a_n:

2990 мм

Ширина опорной плиты, b_n:

300 мм

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

73

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
Толщина опорной плиты, Sп:		25 мм				
Закрепление:		Подвижная				
Анкерные болты:						
Материал:		09Г2С Крепеж				
Номинальный диаметр, d:		24 мм				
Количество, n:		4				
Расстояние между болтами, аb:		2390 мм				
Свойства материала опоры:						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):						
[σ]= 177 МПа						
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре Т = 100 °С:						
Е=1.91·10 ⁵ МПа						
Свойства материала бетона:						
Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):						
[б]бет=14МПа						
Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$						
Js=6.7027·10 ⁸ мм ⁴						
Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$						
Ws=0.0026811 м ³						
Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$						
As=79366 мм ²						
Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:						
Jon= 2.8505·10 ⁸ мм ⁴						
Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:						
Aоп= 1.1036·10 ⁵ мм ²						
Распорная нагрузка:						
$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 7.4717 \cdot 10^5 = 87826 \text{ Н}$						
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{87826 / 79366; 87826 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116)\} = 46.653 \text{ МПа}$						
$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$						
Условие прочности при действии распорной нагрузки:						
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\}$						
46.653 МПа < 177 МПа						
Условие прочности выполнено.						
Расчетное сжимающее напряжение в опоре:						
$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 7.4717 \cdot 10^5 / 1.1036 \cdot 10^5 = 6.7702 \text{ МПа}$						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						74

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<p>Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости: $M_{RX}=10247 \text{ Н}\cdot\text{м}$ Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: $W=0.0020731 \text{ м}^3$ Расчетное напряжение изгиба в опоре $\sigma_{\text{из}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 10247 / 0.0020731=4.943 \text{ МПа}$ Суммарное напряжение в опоре: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} = 6.7702 + 4.943=11.713 \text{ МПа}$ Условие прочности опоры: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$ $11.713 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$ Условие прочности выполнено. Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177= 1.9534 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{\text{Е1}} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (2.4 \cdot 996.06^2)= 2.2567 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p=996.06 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p=137.5 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5= 7.2441$ Коэффициент k_1: $k_1=70.393$ Толщина участка ребра: $s_p=25 \text{ мм}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: $[F]_{\text{Е2}} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 70.393 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (2.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5= 1.5579 \cdot 10^{10} \text{ Н}$ Ширина участка ребра: $l_p=716 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716= 1.3911$ Коэффициент k_2: $k_2=12.359$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): $[F]_{\text{Е3}} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 12.359 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (2.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5= 2.7352 \cdot 10^9 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: $[F]_{\text{Е}} = \min \{ [F]_{\text{Е1}}; [F]_{\text{Е2}}; [F]_{\text{Е3}} \} = \min \{ 2.2567 \cdot 10^8; 1.5579 \cdot 10^{10}; 2.7352 \cdot 10^9 \}= 2.2567 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:</p>						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						75

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
<div><div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div><div>$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1.9534 \cdot 10^7 / (1 + (1.9534 \cdot 10^7 / 2.2567 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9461 \cdot 10^7 \text{ Н}$<p>Условие прочности и устойчивости опоры:</p>$F \leq [F]$$7.4717 \cdot 10^5 \text{ Н} < 1.9461 \cdot 10^7 \text{ Н}$<p>Условие прочности и устойчивости выполнено.</p><p>Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$):</p>$A_{\text{ш}} = 61642 \text{ мм}^2$<p>Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$):</p>$W_{\text{ш}} = 0.035970 \text{ м}^3$<p>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:</p>$F_{\text{min}} = 7.4717 \cdot 10^5 \text{ Н}$<p>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:</p>$M_{\text{сх}} = 67182 \text{ Н} \cdot \text{м}$<p>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:</p>$\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{min}}}{A_{\text{ш}}} \pm \frac{M_{\text{сх}}}{W_{\text{ш}}} = (-7.4717 \cdot 10^5) / 61642 \pm 67182 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$<p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</p><p>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:</p>$F_z = 44909 \text{ Н}$<p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:</p>$Q_{\text{н}} = 45116 \text{ Н}$<p>Горизонтальная сила на опоре:</p>$Q_{\text{оп}} = \sqrt{F_z^2 + Q_{\text{н}}^2} = 44909^2 + 45116^2 = 63657 \text{ Н}$<p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:</p>$\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{A_{\text{ш}}} = 63657 / 61642 = 1.0327 \text{ МПа}$<p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p>$\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} = (0^2 + 4 \cdot 1.0327^2)^{1/2} = 2.0654 \text{ МПа}$<p>Коэффициент прочности угловых сварных швов:</p>$\varphi_{\text{ш}} = 0.65$$\varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = 0.65 \cdot \min\{177; 177\} = 115.05 \text{ МПа}$<p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:</p>$\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} \leq \varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\}$$2.0654 \text{ МПа} < 115.05 \text{ МПа}$<p>Условие прочности выполнено.</p><p>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</p><p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p>$A_0 = 2990 \text{ мм}$<p>Длина сжатой зоны под опорой:</p></div></div>				
Взам. инв. №		Подп. и дата		
Инов. № подл.				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				76

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 34233.5-2017

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 0.8) / 3400)^{1/2} = 0.10479$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.10479^{1/2} + 6 \cdot 0.10479) / 2.4435\} = 0.36329$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 1.8815$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-1.8815} \cdot \sin(1.8815) / 1.8815; 0.25\} = 0.25$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.36329 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.027849)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 4.699 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 0.8)) = 3.009 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3.009 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.010508)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.13826 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 0.8)) - 3.009] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.013352$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4959 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4988 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4959, 1.4988\} = 1.4959$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4959 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 428.38 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428.38 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} \cdot (18 - 0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 5.8595 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		<div>Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные</div> <div>$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}}$<div>$= 1.4959$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$</div><div>$= 1.4988$ при $\vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$</div></div> <div>$K_1 = \min\{ 1.4959, 1.4988 \} = 1.4959$</div> <div>Расчёт в точке 2:</div> <div>Предельное напряжение изгиба:</div> <div>$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4959 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 428.38$ МПа</div> <div>Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:</div> <div>$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428.38 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} \cdot (18 - 0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 5.8595 \cdot 10^6$ Н</div>						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
		90651-20600-AM-02-223 РР					Лист	
							78	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1.8815} \cdot \cos(1.8815)) / 1.8815 = 0.55624$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.10479)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.69503$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (18 - 0.8))^{1/3} \cdot 500 / 3400 \cdot 2.4435] = 0.44328$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.55624 / [0.42494 \cdot 0.69503 \cdot 0.44328 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.3964)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.13826 \cdot 3400 / (2 \cdot (18 - 0.8)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 272.73) = 0.047719$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.36327 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$$

$$= 0.38043 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.36327, 0.38043\} = 0.36327$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_E = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.36327 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 104.03 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 104.03 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} \cdot (18 - 0.8) / (0.42494 \cdot 0.69503 \cdot 0.44328) = 2.9745 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (18 - 0.8) \cdot (1 + (18 / (18 - 0.8))^2)^{1/2} = 24.897 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300$ мм, $\delta_1 = 116^\circ$ (2.0246 рад), $s - c = s_{ef} = 24.897$ мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.0246 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.40878$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((24.897 - 0) / 3400)^{1/2} = 0.12607$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.12607^{1/2} + 6 \cdot 0.12607) / 2.0246\} = 0.51392$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP	Лист 79
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} = 0.93833$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.93833} \cdot \sin(0.93833) / 0.93833; 0.25 \} = 0.33634$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 0.51392 / (1.0142 \cdot 0.33634) = (-0.14165)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4.699 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (24.897 - 0)) = 2.0788 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.0788 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.0072593)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.13826 \cdot 3400 / (4 \cdot (24.897 - 0)) - 2.0788] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.0092242$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1.4336 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1.4429 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4336, 1.4429 \} = 1.4336$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4336 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 410.54 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 410.54 \cdot (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} \cdot (24.897 - 0) / (0.33634 \cdot 1.0142) = 6.1025 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.93833} \cdot \cos(0.93833)) / 0.93833 = 0.81922$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12607)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0246)]^{1/2} = 0.70266$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (24.897 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.64435$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.81922 / [0.68325 \cdot 0.70266 \cdot 0.64435 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.6551)$$

$$\varphi_{2,1} = 0$$

$$\varphi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.13826 \cdot 3400 / (2 \cdot (24.897 - 0)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 272.73) = 0.032967$$

Примечание: при $\varphi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 0.49465 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 0.51062 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0.49465, 0.51062 \} = 0.49465$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

80

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $J_s = 6.7733 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $W_s = 0.0027093 \text{ м}^3$ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s = 79803 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп} = 2.8505 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп} = 1.1036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Распорная нагрузка:						
			90651-20600-AM-02-223 PP					Лист	
								81	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
Расчёт в точке 3: Предельное напряжение изгиба: $[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.49465 \cdot 1.05 \cdot 272.73=141.65 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 141.65 \cdot (3400 \cdot (24.897 - 0))^{1/2} \cdot (24.897 - 0) / (0.68325 \cdot 0.70266 \cdot 0.64435)= 2.9851 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Условие прочности: $F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$ $[F] = 2.9745 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $7.8658 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 2.9745 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.						
Проверка условия устойчивости Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений: $F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7.8658 \cdot 10^5 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 0.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 0.36329= 2.2386 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают p=0. Условие устойчивости: $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$ $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0.35283 + 2.2386 \cdot 10^5 / 4.1288 \cdot 10^7 + 4.699 \cdot 10^5 / 3.6526 \cdot 10^7 + (4.5154 \cdot 10^5 / 9.382 \cdot 10^6)^2 = 0.020603$ $0.020603 \leq 1.0$ Заключение: Условие устойчивости выполнено.						
Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017						
Свойства материала опоры: Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидротиспытаний): $[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1.1= 272.73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 20 °С: $E^{20}=1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$						
Свойства материала бетона: Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350): $[b]_{бет}=14\text{МПа}$ Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $J_s=6.7733 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $W_s=0.0027093 \text{ м}^3$ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s=79803 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп}= 2.8505 \cdot 10^8\text{мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп}= 1.1036 \cdot 10^5\text{мм}^2$ Распорная нагрузка:						
					Лист	
					81	
90651-20600-AM-02-223 РР						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 7.8658 \cdot 10^5 = 92459 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{92459 / 79803; 92459 / 0.0027093 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116)\} = 48.602 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{272.73; 272.73\} = 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\}$$

$$48.602 \text{ МПа} < 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 7.8658 \cdot 10^5 / 1.1036 \cdot 10^5 = 7.1274 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 21838 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0.0020731 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 21838 / 0.0020731 = 10.534 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} = 7.1274 + 10.534 = 17.662 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$$

$$17.662 \text{ МПа} < 272.73 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 272.73 = 3.0098 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{\text{Е1}} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (1.8 \cdot 996.06^2) = 3.135 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 996.06 \text{ мм}$$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):

$$l_p = 137.5 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5 = 7.2441$$

Коэффициент k_1 :

$$k_1 = 70.393$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 25 \text{ мм}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
										82
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 70.393 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.8 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 2.1642 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 716 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716 = 1.3911$$

Коэффициент k_2 :

$$k_2 = 12.359$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами):

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.359 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.8 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 3.7997 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 3.135 \cdot 10^8; 2.1642 \cdot 10^{10}; 3.7997 \cdot 10^9 \} = 3.135 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 3.0098 \cdot 10^7 / (1 + (3.0098 \cdot 10^7 / 3.135 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 2.9961 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$7.8658 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2.9961 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости выполнено.

Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$A_{ш} = 61642 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):

$$W_{ш} = 0.035970 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{\min} = 7.8658 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:

$$M_{сх} = 11635 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{\min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7.8658 \cdot 10^5) / 61642 \pm 11635 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$$

Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.

Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:

$$F_z = 45627 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

$$Q_H = 19472 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила на опоре:

$$Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 45627^2 + 19472^2 = 49608 \text{ Н}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:

$$\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 49608 / 61642 = 0.80478 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\sigma_{ш} = \frac{F_{шн}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ск}}{W_{ш}} = (-7.8658 \cdot 10^5) / 61642 \pm 11635 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$ <p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.</p> <p>Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах: $F_z = 45627 \text{ Н}$</p> <p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: $Q_H = 19472 \text{ Н}$</p> <p>Горизонтальная сила на опоре: $Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 45627^2 + 19472^2 = 49608 \text{ Н}$</p> <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 49608 / 61642 = 0.80478 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p>				
			<div>90651-20600-AM-02-223 РР</div>				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист		
					83		

Опорное усилие, F:

 $1.0519 \cdot 10^6 \text{ H}$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

$$4.4729 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):

Допускаемое наружное давление, [p]: 0.26738 МПа

0.26738 МПа

Допускаемый изгибающий момент, $[M]_{\text{уст}}$: $2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$

 $2.1066 \cdot 10^7 \text{ H} \cdot \text{M}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]: $2.4217 \cdot 10^7$ Н

$$:2.4217 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемое поперечное усилие, [Q]: $5.8466 \cdot 10^6$ Н

 $5.8466 \cdot 10^6 \text{ H}$

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 500$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2.4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.4435 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.070945$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1770 / 3400 \cdot ((18 - 3.8) / 3400)^{1/2} = 0.095211$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до дна (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 * 0.095211^{1/2} + 6 * 0.095211) / 2.4435 \} = 0.33482$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0.85144$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 500 / (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.0708$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляются в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.0708} \cdot \sin(2.0708) / 2.0708; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{13} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.025666)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 5.4315 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (18 - 3.8)) = 4.2129 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -4.2129 / (1.25 \cdot 177) = (-0.019041)$$

$$g_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot |\sigma|} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (18 - 3.8)) - 4.2129] / (1.25 \cdot 177) = 0.0076741$$

Примечание: при $g_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки g_1 и g_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4951 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4986 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4951, 1.4986\} = 1.4951$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

ИНВ. № подл.

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

85

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.12098^{1/2} + 6 \cdot 0.12098) / 2.0246 \} = 0.49597$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 1.0142$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} = 0.9778$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-0.9778} \cdot \sin(0.9778) / 0.9778; 0.25 \} = 0.319$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.40878 \cdot 0.49597 / (1.0142 \cdot 0.319) = (-0.14413)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 5.4315 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3400^2 \cdot (22.927 - 0)) = 2.6093 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.6093 / (1.25 \cdot 177) = (-0.011794)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.098745 \cdot 3400 / (4 \cdot (22.927 - 0)) - 2.6093] / (1.25 \cdot 177) = 0.0047530$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4289 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4384 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4289, 1.4384 \} = 1.4289$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4289 \cdot 1.25 \cdot 177 = 316.14 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 316.14 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.319 \cdot 1.0142) = 4.3785 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-0.9778} \cdot \cos(0.9778)) / 0.9778 = 0.80773$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.0246) / \sin(0.5 \cdot 2.0246) = 0.68325$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.12098)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.0246)]^{1/2} = 0.69384$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3400 / (22.927 - 0))^{1/3} \cdot 300 / 3400 \cdot 2.0246] = 0.63803$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.80773 / [0.68325 \cdot 0.69384 \cdot 0.63803 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.0246)] = (-1.6689)$$

$$\vartheta_{2,1} = 0$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

87

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.098745 \cdot 3400 / (2 \cdot (22.927 - 0)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.033093$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.49134 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$
$$= 0.50727 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.49134, 0.50727\} = 0.49134$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.49134 \cdot 1.25 \cdot 177 = 108.71 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 108.71 \cdot (3400 \cdot (22.927 - 0))^{1/2} \cdot (22.927 - 0) / (0.68325 \cdot 0.69384 \cdot 0.63803) = 2.0706 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$1.0519 \cdot 10^6 \text{ Н} \leq 1.8664 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.0519 \cdot 10^6 \cdot 3.1416 / 4 \cdot (3400 / (18 - 3.8))^{1/2} \cdot 0.070945 \cdot 0.33482 = 3.0368 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают $p=0$.

$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0.26738 + 3.0368 \cdot 10^5 / 2.4217 \cdot 10^7 + 5.4315 \cdot 10^5 / 2.1066 \cdot 10^7 + (4.4729 \cdot 10^5 / 5.8466 \cdot 10^6)^2 = 0.044176$$

$$0.044176 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017

Свойства материала опоры:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре $T = 100$ °С:

$$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):

$$[\sigma]_{\text{бет}} = 14 \text{ МПа}$$

Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$J_s = 6.7027 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$W_s = 0.0026811 \text{ м}^3$$

Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечай-

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
№ док.	Подп.
Дата	
90651-20600-AM-02-223 РР	
Лист	
88	

ки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$A_s = 79366 \text{ mm}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{\text{оп}} = 2.8505 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{0П} = 1.1036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_{\xi} = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(116/2) - \sin^2(116)) / (3.1416/180 \cdot 116 - \sin(116)) \cdot 1.0519 \cdot 10^6 = 1.2365 \cdot 10^5 \text{ H}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1.2365 \cdot 10^5 / 79366; 1.2365 \cdot 10^5 / 0.0026811 \cdot 3400 \cdot \sin(116/2) / (3.1416/180 \cdot 116)\} = 65.683 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{ [\sigma], [\sigma]_{\text{on}} \}$$

$$65.683 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{от}}} = 1.0519 \cdot 10^6 / 1.1036 \cdot 10^5 = 9.5319 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX}=2.5741 \cdot 10^5 \text{ H} \cdot \text{M}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$V = 0.0020731 \text{ m}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{\text{RX}}}{W_{\text{от}}} = 2.5741 \cdot 10^5 / 0.0020731 = 124.17 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} = 9.5319 + 124.17 = 133.7 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$$

$$133.7 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{\Pi} = A_{\sigma\Pi} \cdot [\sigma]_{\sigma\Pi} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.9534 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{E1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{on}}{n_{xy} \cdot h_2^3} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 996.06^2) = 3.8687 \cdot 10^8 \text{H}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 996.06 \text{ mm}$$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):

$$l_p = 137.5 \text{ mm}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\sigma_{сж} + \sigma_{\pi} \leq [\sigma]_{отт}$ 133.7 МПа < 177 МПа Условие прочности выполнено. Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{от} = A_{от} \cdot [\sigma]_{отт} = 1.1036 \cdot 10^5 \cdot 177 = 1.9534 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{отт}}{n_y \cdot h_2^3} = 9.87 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 2.8505 \cdot 10^8 / (1.4 \cdot 996.06^3) = 3.8687 \cdot 10^8 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p = 996.06 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p = 137.5 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра:					Лист
			90651-20600-AM-02-223 PP					89
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 137.5 = 7.2441$				
					Коэффициент k_1 :				
					$k_1 = 70.393$				
					Толщина участка ребра:				
					$s_p = 25 \text{ мм}$				
					Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:				
					$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 70.393 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 2.6707 \cdot 10^{10} \text{ Н}$				
					Ширина участка ребра:				
					$l_p = 716 \text{ мм}$				
					Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
$\frac{h_p}{l_p} = 996.06 / 716 = 1.3911$									
Коэффициент k_2 :									
$k_2 = 12.359$									
Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швами (между двумя другими ребрами):									
$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 12.359 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 25^2 / (1.4 \cdot 996.06^2) \cdot 1.1036 \cdot 10^5 = 4.689 \cdot 10^9 \text{ Н}$									
Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:									
$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2}, [F]_{E3} \} = \min \{ 3.8687 \cdot 10^8; 2.6707 \cdot 10^{10}; 4.689 \cdot 10^9 \} = 3.8687 \cdot 10^8 \text{ Н}$									
Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:									
$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} = 1.9534 \cdot 10^7 / (1 + (1.9534 \cdot 10^7 / 3.8687 \cdot 10^8)^2)^{0.5} = 1.9509 \cdot 10^7 \text{ Н}$									
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Условие прочности и устойчивости опоры:				
					$F \leq [F]$				
					$1.0519 \cdot 10^6 \text{ Н} < 1.9509 \cdot 10^7 \text{ Н}$				
					Условие прочности и устойчивости выполнено.				
					Расчетная площадь углового сварного шва приварки опорного узла и/или подкладного листа (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):				
					$A_{ш} = 61642 \text{ мм}^2$				
					Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{ш}$):				
					$W_{ш} = 0.035970 \text{ м}^3$				
					Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:				
					$F_{min} = 7.1711 \cdot 10^5 \text{ Н}$				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:				
					$M_{сх} = 12550 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
					Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:				
					$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7.1711 \cdot 10^5) / 61642 \pm 12550 / 0.035970 = 0 \text{ МПа}$				
					Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва.				
					Сила вдоль аппарата с учетом трения в подвижных опорах:				
					$F_z = 1.8018 \cdot 10^5 \text{ Н}$				
					Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:				
					90651-20600-AM-02-223 РР				
					Лист				
90									

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<p>Q_н=(-10190)Н</p> <p>Горизонтальная сила на опоре:</p> <p>$Q_{оп} = \sqrt{F_x^2 + Q_H^2} = 1.8018 \cdot 10^{02} + (-10190)^2 = 1.8047 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p> <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:</p> <p>$\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 1.8047 \cdot 10^5 / 61642 = 2.9277 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p> <p>$\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 2.9277^2)^{1/2} = 5.8555 \text{ МПа}$</p> <p>Коэффициент прочности угловых сварных швов:</p> <p>$\varphi_{ш} = 0.65$</p> <p>$\varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\} = 0.65 \cdot \min\{177; 177\} = 115.05 \text{ МПа}$</p> <p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:</p> <p>$\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\}$</p> <p>5.8555 МПа < 115.05 МПа</p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</p> <p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p>A₀= 2990 мм</p> <p>Длина сжатой зоны под опорой:</p> <p>$C_c = \frac{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{мин} \right \cdot A_0}{\left \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{мин} \right + \left F_{мин} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{ 6 \cdot 4.9614 \cdot 10^5 / 2990 + 7.5396 \cdot 10^5 \cdot 2990 / [6 \cdot 4.9614 \cdot 10^5 / 2990 + 7.5396 \cdot 10^5] + 7.5396 \cdot 10^5 - 6 \cdot 4.9614 \cdot 10^5 / 2990 }{= 2627.2 \text{ мм}}$</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:</p> <p>$a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2990 / 2 - 2627.2 / 3 = 619.28 \text{ мм}$</p> <p>Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:</p> <p>d₆ = 20.319 мм</p> <p>Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:</p> <p>A₆ = 324.26мм²</p> <p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p>B₀= 2390 мм</p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:</p> <p>$y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 619.28 + 2390 / 2 = 1814.3 \text{ мм}$</p> <p>Напряжение растяжения в анкерном болте:</p> <p>$\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{мин} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(4.9614 \cdot 10^5 - 7.5396 \cdot 10^5 \cdot 619.28) / (0.5 \cdot 4 \cdot 324.26 \cdot 1814.3); 0\} = 24.839 \text{ МПа}$</p> <p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры для сейсмике:</p> <p>$R^s = \max\{ F_{xx} - f_{тп} \cdot F_{xy}; 0\} = \max\{1.9991 \cdot 10^5 - 0.3 \cdot 7.5396 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}$</p> <p>Напряжение среза в анкерном болте:</p> <p>$\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} = 0 / (4 \cdot 324.26) = 0 \text{ МПа}$</p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:</p> <p>$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (24.839^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 24.839 \text{ МПа}$</p>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				90651-20600-AM-02-223 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

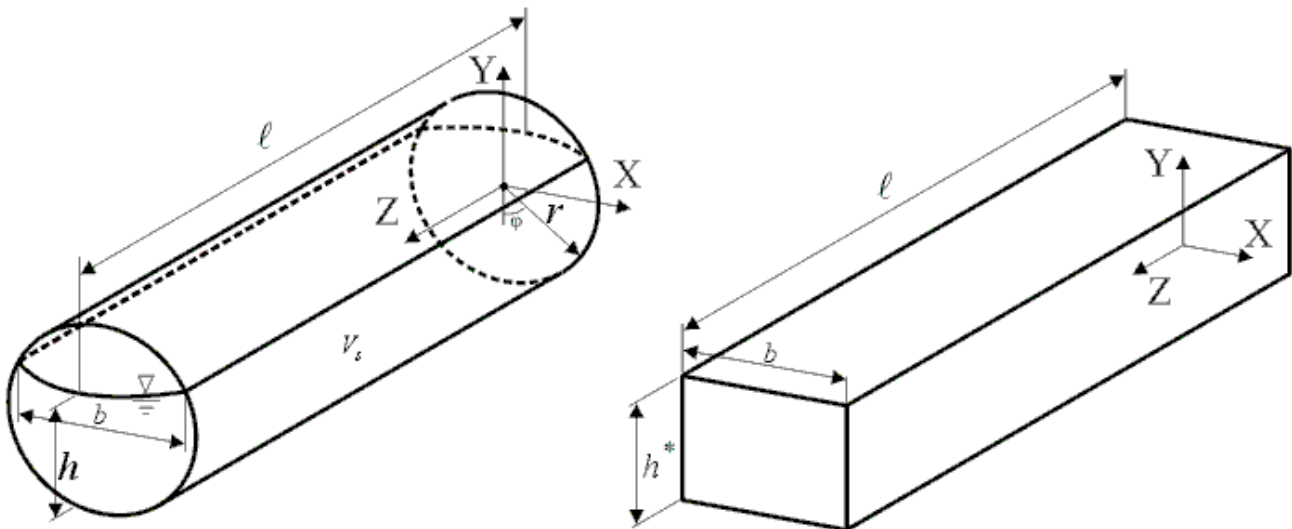
Условие прочности выполнено.

Значения нагрузок

Состояние	Вертикальная сила, Н	Изгибающий мо- мент в попереч- ной плоскости, Н·м	Изгибающий момент в про- дольной плос- кости, Н·м	Поперечная сила, Н	Продольная сила, Н	Перемещения закрепленного узла, мм
Рабочие усло- вия	$(-7.4717 \cdot 10^5)$	(-67182)	(-10247)	45116	44909	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия испы- таний	$(-7.8658 \cdot 10^5)$	(-11635)	(-21838)	19472	45627	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия сей- смических воз- действий	$(-7.8863 \cdot 10^5)$	$(-4.9614 \cdot 10^5)$	$(-2.5741 \cdot 10^5)$	$(-2.2341 \cdot 10^5)$	$2.3696 \cdot 10^5$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0.0081345$

Формат А4

Расчет на сейсмические воздействия по ГОСТ 34283-2017 (RUS)



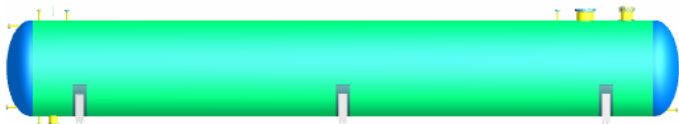
Модель горизонтального сосуда

Исходные данные

Сейсмичность площадки, балл:	8
Назначение сосуда или аппарата:	I
Уровень ПЗ/МРЗ:	МРЗ
Высота жидкости в сосуде, h:	$3.22 \cdot 10^3$ мм
Условный диаметр сосуда, D:	$3.4 \cdot 10^3$ мм
Ширина свободной поверхности жидкости в сосуде, b:	$1.52 \cdot 10^3$ мм
Длина свободной поверхности жидкости в сосуде, l:	$2.37 \cdot 10^4$ мм
Объем жидкости в исходном сосуде, Vs:	211 м³

Эпюры сил и моментов

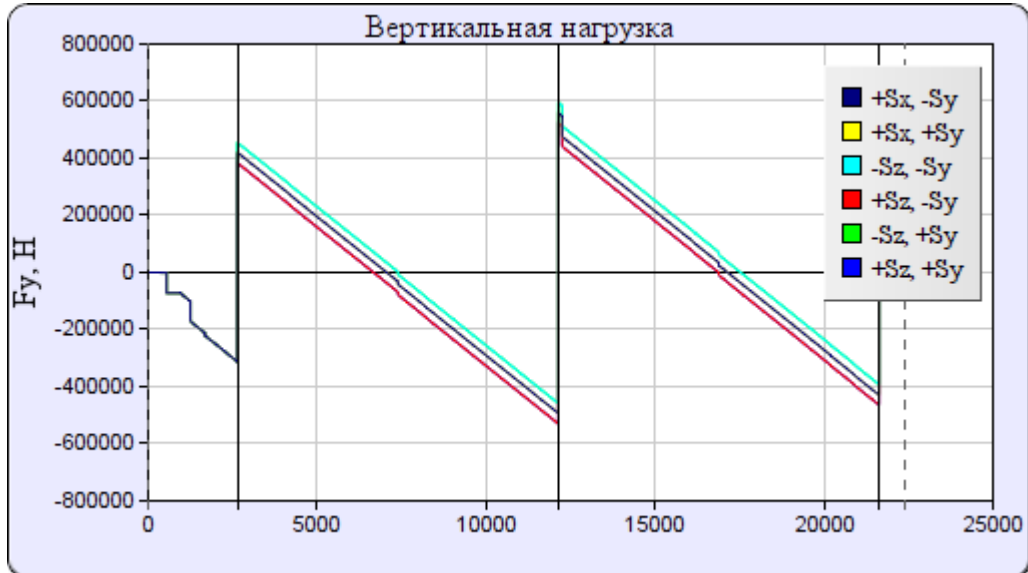
Коэффициент, определяемый назначением сосуда или аппарата:	$K_0 = 2$
Коэффициент, учитывающий допустимые повреждения в сосудах и аппаратах:	$K_1 = 0.25$
Сейсмический коэффициент:	$K_s = 0.2$
Коэффициент изменения максимального ускорения по высоте сооружения в горизонтальном направлении:	$K_B = 1 + 0.05 \cdot x_{\text{очк}} = 1 + 0.05 \cdot 8.15 = 1.41$
Коэффициент интенсивности сейсмической нагрузки:	$K_{ii} = 2$
Суммарное максимальное гидродинамическое давление на стенки сосуда от сейсмического воздействия:	$P^s = 0$



Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР



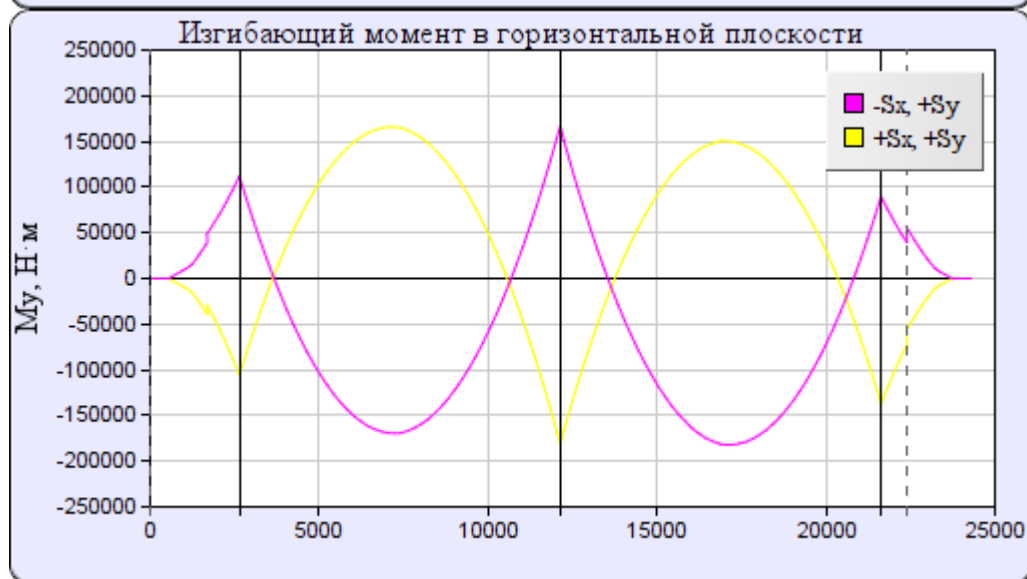
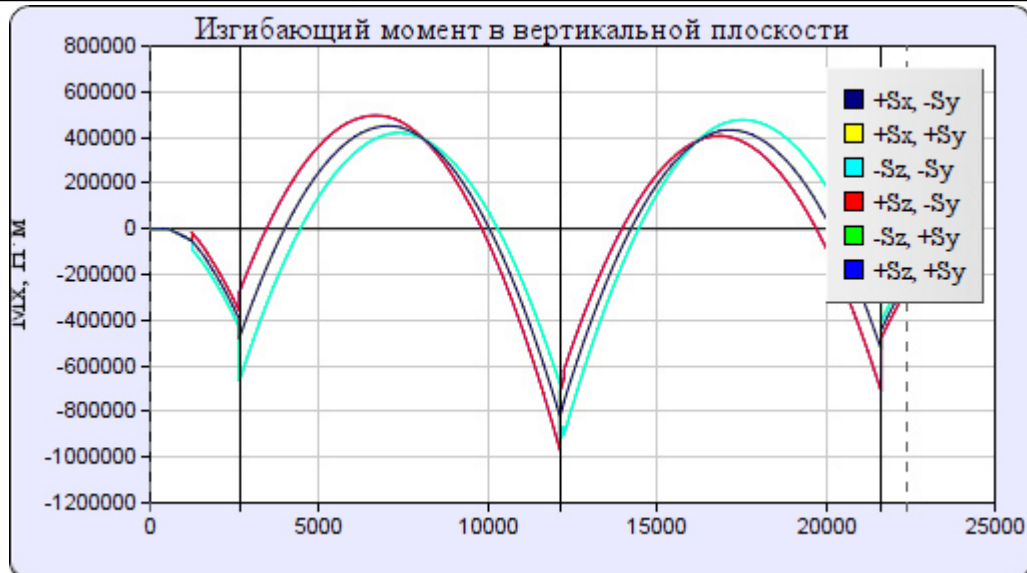
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

94



Диаграммы нагрузок

Суммарные опорные нагрузки (рабочие условия + сейсмические воздействия)

Реакции закрепления (опорные усилия, рабочие условия + сейсмические воздействия)

№ опоры	Название опоры	№ расчета	$F_{\Sigma X}, \text{H}$	$F_{\Sigma Y}, \text{H}$	$F_{\Sigma Z}, \text{H}$	$M_{\Sigma X}, \text{H}\cdot\text{м}$	$M_{\Sigma Z}, \text{H}\cdot\text{м}$	$F_{\Sigma s} = F_{\Sigma Y} + \frac{2 \cdot F_{\Sigma X} \cdot H_L}{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}$
1 (Подвижная)	Опора подвижная левая	№1: +S _z , +S _y	-4583.4	7.0583·10 ⁵	-1.9008·10 ⁵	-2.764·10 ⁵	-14061	7.1198·10 ⁵
		№2: -S _z , +S _y	-7647.3	7.7706·10 ⁵	2.3336·10 ⁵	2.0516·10 ⁵	-13592	7.8732·10 ⁵
		№3: +S _z , -S _y	-4583.4	7.0583·10 ⁵	-1.9008·10 ⁵	-2.764·10 ⁵	-14061	7.1198·10 ⁵
		№4: -S _z , -S _y	-7647.3	7.7706·10 ⁵	2.3336·10 ⁵	2.0516·10 ⁵	-13592	7.8732·10 ⁵
		№5: +S _x , +S _y	2.1649·10 ⁵	7.4257·10 ⁵	29911	-26248	4.695·10 ⁵	1.0329·10 ⁶
		№6: -S _x , +S _y	2.0426·10 ⁵	7.4257·10 ⁵	29911	-26248	4.9715·10 ⁵	1.0165·10 ⁶
		№7: +S _x , -S _y	2.1649·10 ⁵	7.4257·10 ⁵	29911	-26248	4.695·10 ⁵	1.0329·10 ⁶
		№8: -S _x , -S _y	2.0426·10 ⁵	7.4257·10 ⁵	29911	-26248	4.9715·10 ⁵	1.0165·10 ⁶

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

95

2 (Неподвижная)	Опора седловая неподвижная	№1: $+S_z, +S_y$	692.65	$1.0635 \cdot 10^6$	$3.0538 \cdot 10^5$	$3.1516 \cdot 10^5$	-14419	$1.0644 \cdot 10^6$
		№2: $-S_z, +S_y$	637.25	$1.0638 \cdot 10^6$	$2.8447 \cdot 10^5$	$2.955 \cdot 10^5$	-14412	$1.0646 \cdot 10^6$
		№3: $+S_z, -S_y$	692.65	$1.0635 \cdot 10^6$	$3.0538 \cdot 10^5$	$3.1516 \cdot 10^5$	-14419	$1.0644 \cdot 10^6$
		№4: $-S_z, -S_y$	637.25	$1.0638 \cdot 10^6$	$2.8447 \cdot 10^5$	$2.955 \cdot 10^5$	-14412	$1.0646 \cdot 10^6$
		№5: $+S_x, +S_y$	$2.9252 \cdot 10^5$	$1.0614 \cdot 10^6$	-7983.9	-7023.5	$4.8004 \cdot 10^5$	$1.4516 \cdot 10^6$
		№6: $-S_x, +S_y$	$2.9385 \cdot 10^5$	$1.0614 \cdot 10^6$	-7983.9	-7023.5	$5.0887 \cdot 10^5$	$1.4534 \cdot 10^6$
		№7: $+S_x, -S_y$	$2.9252 \cdot 10^5$	$1.0614 \cdot 10^6$	-7983.9	-7023.5	$4.8004 \cdot 10^5$	$1.4516 \cdot 10^6$
		№8: $-S_x, -S_y$	$2.9385 \cdot 10^5$	$1.0614 \cdot 10^6$	-7983.9	-7023.5	$5.0887 \cdot 10^5$	$1.4534 \cdot 10^6$
3 (Подвижная)	Опора подвижная прая	№1: $+S_z, +S_y$	-13309	$7.8863 \cdot 10^5$	$2.3696 \cdot 10^5$	$-2.181 \cdot 10^5$	-12074	$8.0638 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	-10190	$7.1711 \cdot 10^5$	$1.8018 \cdot 10^5$	$2.5741 \cdot 10^5$	-12550	$7.307 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	-13309	$7.8863 \cdot 10^5$	$2.3696 \cdot 10^5$	$-2.181 \cdot 10^5$	-12074	$8.0638 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	-10190	$7.1711 \cdot 10^5$	$1.8018 \cdot 10^5$	$2.5741 \cdot 10^5$	-12550	$7.307 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$2.2341 \cdot 10^5$	$7.5396 \cdot 10^5$	-39128	7156.2	$4.7151 \cdot 10^5$	$1.0519 \cdot 10^6$
		№6: $-S_x, +S_y$	$1.9991 \cdot 10^5$	$7.5396 \cdot 10^5$	-39128	7156.2	$4.9614 \cdot 10^5$	$1.0206 \cdot 10^6$
		№7: $+S_x, -S_y$	$2.2341 \cdot 10^5$	$7.5396 \cdot 10^5$	-39128	7156.2	$4.7151 \cdot 10^5$	$1.0519 \cdot 10^6$
		№8: $-S_x, -S_y$	$1.9991 \cdot 10^5$	$7.5396 \cdot 10^5$	-39128	7156.2	$4.9614 \cdot 10^5$	$1.0206 \cdot 10^6$

Поперечные усилия в сечении оболочки над опорой (рабочие условия + сейсмические воздействия), Н

№ опоры	Название опоры	№ расчета	$Q_{\Sigma X}$	$Q_{\Sigma Y}$	$Q_{\Sigma} = \sqrt{Q_{\Sigma X}^2 + Q_{\Sigma Y}^2}$
1 (Подвижная)	Опора подвижная левая	№1: $+S_z, +S_y$	-7200	$3.8416 \cdot 10^5$	$3.8423 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	-7200	$4.5539 \cdot 10^5$	$4.5545 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	-7200	$3.8416 \cdot 10^5$	$3.8423 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	-7200	$4.5539 \cdot 10^5$	$4.5545 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$1.2077 \cdot 10^5$	$4.209 \cdot 10^5$	$4.3788 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-1.2294 \cdot 10^5$	$4.209 \cdot 10^5$	$4.3849 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$1.2077 \cdot 10^5$	$4.209 \cdot 10^5$	$4.3788 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-1.2294 \cdot 10^5$	$4.209 \cdot 10^5$	$4.3849 \cdot 10^5$
2 (Неподвижная)	Опора седловая неподвижная	№1: $+S_z, +S_y$	-3309.3	$-5.2996 \cdot 10^5$	$5.2997 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	447.27	$5.9641 \cdot 10^5$	$5.9641 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	-3309.3	$-5.2996 \cdot 10^5$	$5.2997 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	447.27	$5.9641 \cdot 10^5$	$5.9641 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$1.5353 \cdot 10^5$	$5.5956 \cdot 10^5$	$5.8024 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-1.5703 \cdot 10^5$	$5.5956 \cdot 10^5$	$5.8117 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$1.5353 \cdot 10^5$	$5.5956 \cdot 10^5$	$5.8024 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-1.5703 \cdot 10^5$	$5.5956 \cdot 10^5$	$5.8117 \cdot 10^5$
3 (Подвижная)	Опора подвижная правая	№1: $+S_z, +S_y$	10000	$-4.6417 \cdot 10^5$	$4.6428 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	10000	$-3.9265 \cdot 10^5$	$3.9278 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	10000	$-4.6417 \cdot 10^5$	$4.6428 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	10000	$-3.9265 \cdot 10^5$	$3.9278 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-1.2489 \cdot 10^5$	$-4.295 \cdot 10^5$	$4.4729 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$1.2139 \cdot 10^5$	$-4.295 \cdot 10^5$	$4.4633 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-1.2489 \cdot 10^5$	$-4.295 \cdot 10^5$	$4.4729 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$1.2139 \cdot 10^5$	$-4.295 \cdot 10^5$	$4.4633 \cdot 10^5$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

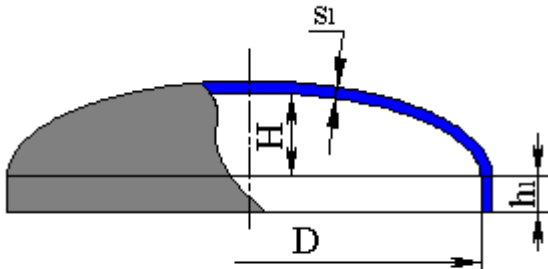
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Изгибающие моменты в сечении оболочки над опорой (рабочие условия + сейсмические воздействия), Н·м

№ опоры	Название опоры	№ расчета	$M_{\Sigma X}$	$M_{\Sigma Y}$	$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{\Sigma X}^2 + M_{\Sigma Y}^2}$
1 (Подвижная)	Опора подвижная левая	№1: $+S_z, +S_y$	$-3.5981 \cdot 10^5$	12969	$3.6004 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-6.6652 \cdot 10^5$	-6848.8	$6.6656 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-3.5981 \cdot 10^5$	12969	$3.6004 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-6.6652 \cdot 10^5$	-6848.8	$6.6656 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-4.7871 \cdot 10^5$	$-1.0593 \cdot 10^5$	$4.9029 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-4.7871 \cdot 10^5$	$1.1205 \cdot 10^5$	$4.9165 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-4.7871 \cdot 10^5$	$-1.0593 \cdot 10^5$	$4.9029 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-4.7871 \cdot 10^5$	$1.1205 \cdot 10^5$	$4.9165 \cdot 10^5$
2 (Неподвижная)	Опора седловая неподвижная	№1: $+S_z, +S_y$	$-9.7414 \cdot 10^5$	-11902	$9.7421 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-9.2863 \cdot 10^5$	-2601.2	$9.2863 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-9.7414 \cdot 10^5$	-11902	$9.7421 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-9.2863 \cdot 10^5$	-2601.2	$9.2863 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-8.2592 \cdot 10^5$	$-1.8183 \cdot 10^5$	$8.457 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-8.2592 \cdot 10^5$	$1.6734 \cdot 10^5$	$8.427 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-8.2592 \cdot 10^5$	$-1.8183 \cdot 10^5$	$8.457 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-8.2592 \cdot 10^5$	$1.6734 \cdot 10^5$	$8.427 \cdot 10^5$
3 (Подвижная)	Опора подвижная правая	№1: $+S_z, +S_y$	$-7.099 \cdot 10^5$	-33794	$7.1071 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-4.0682 \cdot 10^5$	-13976	$4.0706 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-7.099 \cdot 10^5$	-33794	$7.1071 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-4.0682 \cdot 10^5$	-13976	$4.0706 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-5.2546 \cdot 10^5$	$-1.3749 \cdot 10^5$	$5.4315 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-5.2546 \cdot 10^5$	89768	$5.3307 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-5.2546 \cdot 10^5$	$-1.3749 \cdot 10^5$	$5.4315 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-5.2546 \cdot 10^5$	89768	$5.3307 \cdot 10^5$

Днище эллиптическое левое, правое

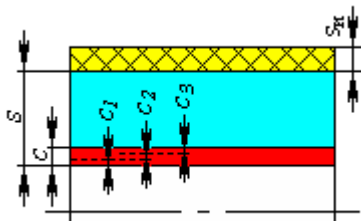
Расчет приведен для днища эллиптического левого



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал:	09Г2С Лист
Внутр. диаметр, D:	3400 мм
Толщина стенки днища, s ₁ :	18 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	3 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0.8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c:	3.8 мм
Высота днища, H:	850 мм
Длина отбортовки, h ₁ :	80 мм
Коэффициент прочности сварного шва:	
φ = 1	
Изоляция:	



Изоляция

Название:	Теплоизоляция
Толщина, s _{из.} :	80мм
Плотность, ρ _{из.} :	80 кг/м³
Присутствует в условиях испытаний:	Нет
Присутствует в условиях монтажа:	Да

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения: внутреннее давление

Расчётная температура, T:	100	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0.098745	МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °C (рабочие условия):
[σ] = 177 МПа

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 100 °C: E=1.91·10 ⁵ МПа						
Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением. Радиус кривизны в вершине днища: $R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{3400^2}{4 \cdot 850} = 3400 \text{ мм}$ Расчётная толщина стенки с учётом прибавок: $s_{\text{т}} + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = \frac{(0.098745 \cdot 3400)}{(2 \cdot 177 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0.098745)} + 3.8 = 4.7485 \text{ мм}$ 4.7485 мм ≤ 18 мм Заключение: Условие работоспособности выполнено. Допускаемое давление: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8)}{(3400 + 0.5 \cdot (18 - 3.8))} = 1.4754 \text{ МПа}$ 1.4754 МПа ≥ 0.098745 МПа Заключение: Условие прочности выполнено.						
Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{\text{т}}} = 1.25 \cdot 0.098745 \cdot 196 / 177 = 0.13668 \text{ МПа}$						
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания) Условия нагружения при испытаниях: Расчётная температура, T: 20 °C Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.13826 МПа						
Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017 По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие: $P_{\text{исп}} < 1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ $1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 \cdot 0.098745 \cdot 196 / 177 = 0.14762 \text{ МПа} \geq 0.13826 \text{ МПа}$						
Допускаемые напряжения: Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20} = \frac{R_{\text{е}} / 20}{n_{\text{T}}} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$						
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 20 °C: E ²⁰ =1.99·10 ⁵ МПа						
Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением. Радиус кривизны в вершине днища: $R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{3400^2}{4 \cdot 850} = 3400 \text{ мм}$ Расчётная толщина стенки с учётом прибавок: $s_{\text{т}} + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = \frac{(0.13826 \cdot 3400)}{(2 \cdot 272.73 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0.13826)} + 0.8 = 1.6619 \text{ мм}$ 1.6619 мм ≤ 18 мм Заключение: Условие работоспособности выполнено.						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР			
			99			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Днища, нагруженные наружным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3400^2 / (4 \cdot 850) = 3400 \text{ мм}$$

$$x = 10 \cdot \frac{s_1 - c}{D} \cdot \left[\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right] = 10 \cdot (18 - 3.8) / 3400 \cdot (3400 / (2 \cdot 850) - 2 \cdot 850 / 3400) = 0.062647$$

$$K_3 = \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3.0 + 10 \cdot x) \cdot x} = (1 + (2.4 + 8 \cdot 0.062647) \cdot 0.062647) / (1 + (3.0 + 10 \cdot 0.062647) \cdot 0.062647) = 0.96297$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (при давлении $p = 0.10000$ МПа):

$$s_p + c = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} + c = \max \{ 0.96297 \cdot 3400 / 161 \cdot (2.4 \cdot 0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5))^{1/2}; 1.2 \cdot 0.10000 \cdot 3400 / (2 \cdot 177) \} + 3.8 = 11.009 \text{ мм}$$

$$11.009 \text{ мм} \leq 18 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_п = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 0.5 \cdot (18 - 3.8)) = 1.4754 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_y} \cdot \left[\frac{100(s_1 - c)}{K_3 \cdot R} \right]^2 = 26 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 / 2.4 \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / (0.96297 \cdot 3400))^2 = 0.38921 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_п}{[p]_E} \right)^2}} = 1.4754 / (1 + (1.4754 / 0.38921)^2)^{1/2} = 0.37634 \text{ МПа}$$

$$0.37634 \text{ МПа} \geq 0.10000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)

Условия нагружения: наружное давление

Расчётная температура, T: 100 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0.10000 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °C (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 100 °C:

$$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Днища, нагруженные наружным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3400^2 / (4 \cdot 850) = 3400 \text{ мм}$$

$$x = 10 \cdot \frac{s_1 - c}{D} \cdot \left[\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right] = 10 \cdot (18 - 3.8) / 3400 \cdot (3400 / (2 \cdot 850) - 2 \cdot 850 / 3400) = 0.062647$$

$$K_3 = \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3.0 + 10 \cdot x) \cdot x} = (1 + (2.4 + 8 \cdot 0.062647) \cdot 0.062647) / (1 + (3.0 + 10 \cdot 0.062647) \cdot 0.062647) = 0.96297$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (при давлении $p = 0.10000$ МПа):

$$s_p + c = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} + c = \max \{ 0.96297 \cdot 3400 / 161 \cdot (1.4 \cdot 0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5))^{1/2}; 1.2 \cdot 0.10000 \cdot 3400 / (2 \cdot 177) \} + 3.8 = 9.3057 \text{ мм}$$

$$9.3057 \text{ мм} \leq 18 \text{ мм}$$

90651-20600-AM-02-223 РР

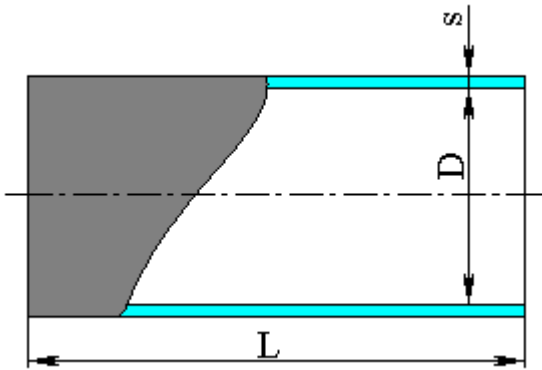
Лист

101

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Обечайка цилиндрическая



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал: 09Г2С Лист
Внутр. диаметр, D: 3400 мм
Толщина стенки, s: 18 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c₁: 3 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c₂: 0.8 мм
Прибавка технологическая, c₃: 0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c: 3.8 мм
Длина обечайки, L: 22380 мм
Коэффициенты прочности сварных швов:
Продольный шов:
 $\varphi_P = 1$
Окружной шов:
 $\varphi_T = 1$
Сопряжённые элементы жёсткости

Название элемента	Расстояние от начала координат до оси, l _i , мм	Ширина, t _i , мм	Площадь сечения, A _{ki} , мм ²	Момент инерции, I _{ki} , мм ⁴	Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом, k
Группа колец жёсткости: кольцо №1	3250	18	1800	1.5·10 ⁶	2.4861
Группа колец жёсткости: кольцо №2	7250	18	1800	1.5·10 ⁶	2.4861
Группа колец жёсткости: кольцо №3	11250	18	1800	1.5·10 ⁶	2.4861
Группа колец жёсткости: кольцо №4	15250	18	1800	1.5·10 ⁶	2.4861

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР
Группа колец жёсткости: кольцо №5	19250	18	1800	1.5·10 ⁶	2.4861	

Изоляция:

Изоляция

Название: Теплоизоляция

Толщина, s_{из}: 80мм

Плотность, ρ_{из}: 80 кг/м³

Присутствует в условиях испытаний: Нет

Присутствует в условиях монтажа: Да

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения: внутреннее давление

Расчётная температура, T: 100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.098745 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 8.4688·10⁵ Н·м

Расчётное поперечное усилие, Q: 5.6386·10⁵ Н

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 42897 Н

Расчётный крутящий момент, M_к: 31258 Н·м

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °C (рабочие условия): [σ] = 177 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 100 °C: E = 1.91·10⁵ МПа

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0.098745 \cdot 3400) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0.098745) + 3.8 = 4.7487 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления: l = 4000 мм

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c) + \frac{A_{k1}}{1} \cdot [\sigma]_{k1} \cdot \varphi_{k1} + \frac{A_{k2}}{1} \cdot [\sigma]_{k2} \cdot \varphi_{k2}}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000 + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000}{3400 + 18 - 3.8} = 1.519 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления: b = 3982 мм

$$\lambda_{\Pi}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 3982^2 / (3400 \cdot (18 - 3.8)) = 328.42$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								104
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{\Pi}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{\Pi}^2}{\varphi_P}} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) \cdot [2 + 328.42] / [1 + (1 \cdot 328.42) / 1] = 1.4768 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 1.519; 1.4768 \} = 1.4768 \text{ МПа}$$

$$1.4768 \text{ МПа} \geq 0.098745 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot \sqrt{3400 \cdot (18 - 3.8)} = 439.45 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 23107 \text{ мм}$$

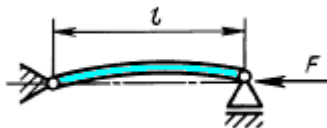
Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400^2 / (2.4) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 3.2149 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

$$\text{Приведённая длина: } l_{пр} = 23107 \text{ мм}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2.83 \cdot 23107 / (3400 + 18 - 3.8) = 19.153$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 1.91 \cdot 10^5 / (2.4) \cdot (3.1416 / 19.153)^2 = 3.2612 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 3.2149 \cdot 10^7, 3.2612 \cdot 10^8 \} = 3.2149 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 2.6959 \cdot 10^7 / \sqrt{1 + (2.6959 \cdot 10^7 / 3.2149 \cdot 10^7)^2} = 2.0657 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$2.0657 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 42897 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3400 / 3.5 \cdot 3.2149 \cdot 10^7 = 3.123 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								105
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{II}}{[M]_E} \right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 3.123 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$1.8475 \cdot 10^7 \text{ H} \cdot \text{M} \geq 8.4688 \cdot 10^5 \text{ H} \cdot \text{M}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.

Обечайка, нагруженная поперечным усилием

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3.1416 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 6.7117 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$I_p = 4000 \text{ mm}^4$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$l_0 = 4000 \text{ mm}$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s-c)}{l^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (18-3.8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18-3.8) / 4000^2) = 7.3159 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{II}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{II}}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 7.3159 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 4.9457 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$4.9457 \cdot 10^6 \text{ H} > 5.6386 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 42897/2.0657 \cdot 10^7 + 8.4688 \cdot 10^5 / 1.8475 \cdot 10^7 + (5.6386 \cdot 10^5 / 4.9457 \cdot 10^6)^2 = 0.060914 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 \cdot 1 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{top}}} = (-42897 + 0.098745 \cdot 3.1416 \cdot 3400^2 / 4) / 2.6959 \cdot 10^7 + 8.4688 \cdot 10^6 / 2.2915 \cdot 10^7 = 0.068622 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

Взам. инв. №		Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения: $[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3400 / 4 * 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$ Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.					
Подп. и дата		Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$ $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-42897 + 0.098745 * 3.1416 * 3400^2 / 4) / 2.6959 \cdot 10^7 + 8.4688 \cdot 10^6 / 2.2915 \cdot 10^7 = 0.068622 \leq 1$ Заключение: Условие прочности выполнено.					
Инв. № подл.		Для расчёта обечайки от действия седловых опор:					
						90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
							106
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 4000 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \text{ E}}{n_v \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400 / (2.4 \cdot 1 \cdot 4000) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 0.15861 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) = 1.4723 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1.4723 / (1 + (1.4723 / 0.15861)^2)^{1/2} = 0.1577 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 0.1577 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{El}} \right)^2}} = 2.6959 \cdot 10^7 / (1 + (2.6959 \cdot 10^7 / 3.2149 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.0657 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{yct}} = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 3.123 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ H-M}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{M_{\text{изп}}, M_{\text{уст}}\} = \min \{2.2915 \cdot 10^7, 1.8475 \cdot 10^7\} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 22380 \text{ mm}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_v} \cdot \left[0.18 + 3.3 \frac{D(s-c)}{1_c^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^6 \cdot (18-3.8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18-3.8) / 22380^2) = 6.9446 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 6.9446 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 4.8261 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{np} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.25 \cdot 0.098745 \cdot 196 / 177 = 0.13668 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T :

20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), $p: 0.13826$ МПа

Расчётный изгибающий момент, М: $9.198 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Расчётное поперечное усилие, Q:

$$6.1075 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Расчётное осевое сжимающее усилие

46584 H

Расчётный крутящий момент, M_t :

26986 H·M

По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на

ПРОВОДИТЬ.

					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						107
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$9.6347 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 6.1075 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 46584 / 4.1288 \cdot 10^7 + 9.198 \cdot 10^5 / 3.6526 \cdot 10^7 + (6.1075 \cdot 10^5 / 9.6347 \cdot 10^6)^2 = 0.030329 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 0.8) \cdot (18 - 0.8) \cdot 272.73 \cdot 1 = 5.0359 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3400 / 4 \cdot 5.0359 \cdot 10^7 = 4.2805 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-46584 + 0.13826 \cdot 3.1416 \cdot 3400^2 / 4) / 5.0359 \cdot 10^7 + 9.198 \cdot 10^5 / 4.2805 \cdot 10^7 = 0.045489 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 4000 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 0.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \text{ Е}}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot 3400 / (1.8 \cdot 1 \cdot 4000) \cdot (100 \cdot (18 - 0.8) / 3400)^{2.5} = 0.35578 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272.73 \cdot (18 - 0.8) / (3400 + 18 - 0.8) = 2.7455 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 2.7455 / (1 + (2.7455 / 0.35578)^2)^{1/2} = 0.35283 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 0.35283 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{Е1}}} \right)^2}} = 5.0359 \cdot 10^7 / (1 + (5.0359 \cdot 10^7 / 7.2115 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 4.1288 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						110

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:					
			$[p]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c) + \frac{A_{K1}}{1} \cdot [\sigma]_{K1} \cdot \varphi_{K1} + \frac{A_{K2}}{1} \cdot [\sigma]_{K2} \cdot \varphi_{K2}}{D + (s - c)} = \frac{[2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000 + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000]}{/(3400 + 18 - 3.8)} = 1.519 \text{ МПа}$					
			Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления: b = 3982 мм $\lambda_{\Pi}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 3982^2 / (3400 \cdot (18 - 3.8)) = 328.42$					
Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:								
$[p]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{\Pi}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{\Pi}^2}{\varphi_p}} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) \cdot [2 + 328.42] / [1 + (1 \cdot 328.42) / 1] = 1.4768 \text{ МПа}$								
					90651-20600-AM-02-223 PP			Лист
								111
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_{п}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{п}}{[M]_{е}}\right)^2}} = 4.2805 \cdot 10^7 / (1 + (4.2805 \cdot 10^7 / 7.0054 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 3.6526 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min\{[M]_{пр}, [M]_{уст}\} = \min\{4.2805 \cdot 10^7, 3.6526 \cdot 10^7\} = 3.6526 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 22380 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{е} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2.4 \cdot 1.99 \cdot 10^5 \cdot (18 - 0.8)^2 / 1.8 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 0.8) / 22380^2) = 1.416 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{п}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{п}}{[Q]_{е}}\right)^2}} = 1.2526 \cdot 10^7 / (1 + (1.2526 \cdot 10^7 / 1.416 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 9.382 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)

Условия нагружения: внутреннее давление

Расчётная температура, Т: 100 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.098745 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: $1.74 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Расчётное поперечное усилие, Q: $1.1575 \cdot 10^6 \text{ Н}$

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: $1.7595 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Расчётный крутящий момент, М_к: 37655 Н·м

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре Т = 100 °С:

$$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0.098745 \cdot 3400) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0.098745) + 3.8 = 4.7487 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l = 4000 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c) + \frac{A_{k1}}{1} \cdot [\sigma]_{k1} \cdot \varphi_{k1} + \frac{A_{k2}}{1} \cdot [\sigma]_{k2} \cdot \varphi_{k2}}{D + (s - c)} = \frac{[2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000 + 1800 \cdot 177 \cdot 1 / 4000]}{7(3400 + 18 - 3.8)} = 1.519 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

$$b = 3982 \text{ мм}$$

$$\lambda_{п}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 3982^2 / (3400 \cdot (18 - 3.8)) = 328.42$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{п}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{п}^2}{\varphi_p}} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) \cdot [2 + 328.42] / [1 + (1 \cdot 328.42) / 1] = 1.4768 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 1.519; 1.4768 \} = 1.4768 \text{ МПа}$$

$$1.4768 \text{ МПа} \geq 0.098745 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot \sqrt{3400 \cdot (18 - 3.8)} = 439.45 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 23107 \text{ мм}$$

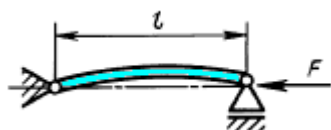
Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400^2 / (1.4) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 5.5112 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

$$\text{Приведённая длина: } l_{\text{пр}} = 23107 \text{ мм}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s - c} = 2.83 \cdot 23107 / (3400 + 18 - 3.8) = 19.153$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 1.91 \cdot 10^5 / (1.4) \cdot (3.1416 / 19.153)^2 = 5.5907 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 5.5112 \cdot 10^7, 5.5907 \cdot 10^8 \} = 5.5112 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 2.6959 \cdot 10^7 / (1 + (2.6959 \cdot 10^7 / 5.5112 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.4217 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$2.4217 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 1.7595 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3400 / 3.5 \cdot 5.5112 \cdot 10^7 = 5.3538 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 5.3538 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

$$2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н·м} \geq 1.74 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

<div>Обечайка, нагруженная изгибающим моментом</div> <div>Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:</div> <div>$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$</div> <div>Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:</div> <div>$[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 3400 / 3.5 \cdot 5.5112 \cdot 10^7 = 5.3538 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$</div> <div>Допускаемый изгибающий момент:</div> <div>$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 5.3538 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$</div> <div>$2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м} \geq 1.74 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$</div> <div>Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.</div>								
					90651-20600-AM-02-223 PP		Лист	
							112	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная наружным избыточным давлением

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4000 \text{ мм}$$

$$B = \max \left\{ 1; 0.47 \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{1}{D} \right)^{0.4} \right\} = \max \{ 1; 0.47 \cdot (0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5))^{0.067} \cdot (4000 / 3400)^{0.4} \} = 1$$

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок:

$$s_p + c = \max \left\{ 1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \{ 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot 3400 / 1 \cdot (0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5)) \cdot 4000 / 3400^{0.4}; 1.2 \cdot \frac{0.10000 \cdot 3400}{(2 \cdot 177 - 0.10000)} \} + 3.8 = 15.62 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта устойчивости всей обечайки:

$$L = 23107 \text{ мм}$$

$$B_2 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 23107 \cdot (3400 / (100 \cdot 2.4861 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{1E} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{k \cdot n_y \cdot B_2} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400}{(2.4861 \cdot 2.4 \cdot 1 \cdot 23107) \cdot (100 \cdot 2.4861 \cdot (18 - 3.8) / 3400)} = 0.10763 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l = 3613.3 \text{ мм}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{1П} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c) + \frac{A_{k1}}{1} \cdot [\sigma]_{k1} + \frac{A_{k2}}{1} \cdot [\sigma]_{k2}}{D + (s - c)} = [2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) + 0 \cdot 0 / 3613.3 + 1800 \cdot 177 / 3613.3] / (3400 + 18 - 3.8) = 1.4981 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{[p]_{1П}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{1П}}{[p]_{1E}} \right)^2}} = 1.4981 / (1 + (1.4981 / 0.10763)^2)^{1/2} = 0.10735 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

$$l = 3604.3 \text{ мм}$$

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 3604.3 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{2E} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400}{(2.4 \cdot 1 \cdot 3604.3) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5}} = 0.17602 \text{ МПа}$$

$$\lambda_{II}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = \frac{3604.3^2}{(3400 \cdot (18 - 3.8))} = 269.08$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{2П} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{II}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{II}^2}{\varphi_P}} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) \cdot [2 + 269.08] / [1 + (1.0 \cdot 269.08) / 1] = 1.4778 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости обечайки между кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{[p]_{2П}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{2П}}{[p]_{2E}} \right)^2}} = 1.4778 / (1 + (1.4778 / 0.17602)^2)^{1/2} = 0.17478 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 0.10735; 0.17478 \} = 0.10735 \text{ МПа}$$

$$0.10735 \text{ МПа} \geq 0.10000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 115
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами: $b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$				
Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием Допускаемое осевое растягивающее усилие: $[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 \cdot 1 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$ $2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 10554 \text{ Н}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
Обечайка, нагруженная изгибающим моментом Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности: $[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия: $[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости: $[F]_{\text{EI}} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400^2 / (2.4) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 3.2149 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости: $[M]_{\text{E}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{EI}} = 3400 / 3.5 \cdot 3.2149 \cdot 10^7 = 3.123 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Допускаемый изгибающий момент: $[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 3.123 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 2.2783 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
Обечайка, нагруженная поперечным усилием Допускаемое поперечное усилие из условия прочности: $[Q]_{\Pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3.1416 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 6.7117 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы: $l_Q = 4000 \text{ мм}$ Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости: $[Q]_{\text{E}} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (18 - 3.8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) / 4000^2) = 7.3159 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Допускаемое поперечное усилие: $[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 7.3159 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 4.9457 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $4.9457 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 1.4235 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия. Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$ $\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0.10000 / 0.10735 + 0 / 0 + 2.2783 \cdot 10^5 / 1.8475 \cdot 10^7 + (1.4235 \cdot 10^5 / 4.9457 \cdot 10^6)^2 = 0.94466 \leq 1$				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				116

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (10554 + 0 \cdot 3.1416 \cdot 3400^2 / 4) / 2.6959 \cdot 10^7 + 2.2783 \cdot 10^5 / 2.2915 \cdot 10^7 = 0.010334 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 4000 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400 / (2.4 \cdot 1 \cdot 4000) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 0.15861 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) = 1.4723 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 1.4723 / (1 + (1.4723 / 0.15861)^2)^{1/2} = 0.1577 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 0.1577 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 2.6959 \cdot 10^7 / (1 + (2.6959 \cdot 10^7 / 3.2149 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.0657 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{уст}} = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 3.123 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}}, [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 2.2915 \cdot 10^7, 1.8475 \cdot 10^7 \} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 22380 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_e = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (18 - 3.8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) / 22380^2) = 6.9446 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_e} \right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 6.9446 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 4.8261 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 3.123 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
		<p>Допускаемый изгибающий момент:</p> $[M] = \min \{ M_{\Pi}, M_{\text{уст}} \} = \min \{ 2.2915 \cdot 10^7, 1.8475 \cdot 10^7 \} = 1.8475 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ <p>Расчётная длина для расчёта седловых опор:</p> <p>$l_s = 22380 \text{ мм}$</p> <p>Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:</p> $[Q]_{\text{E}} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (18 - 3.8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) / 22380^2) = 6.9446 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Допускаемое поперечное усилие:</p> $[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 6.9446 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 4.8261 \cdot 10^6 \text{ Н}$				
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						117

Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)

Условия нагружения: наружное давление

Расчётная температура, T: 100 °C
 Расчётное наружное избыточное давление, p: 0.10000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: $4.9 \cdot 10^5$ Н·м
 Расчётное поперечное усилие, Q: $2.7019 \cdot 10^5$ Н
 Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 55705 Н
 Расчётный крутящий момент, M_t: 37655 Н·м

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °C (рабочие условия):

[σ] = 177 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 100 °C:

E = $1.91 \cdot 10^5$ МПа

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная наружным избыточным давлением

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 4000 мм

$$B = \max \left\{ 1; 0.47 \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{1}{D} \right)^{0.4} \right\} = \max \{ 1; 0.47 \cdot (0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5))^{0.067} \cdot (4000 / 3400)^{0.4} \} = 1$$

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок:

$$s_p + c = \max \left\{ 1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0.4}; \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \{ 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot 3400 / 1 \cdot (0.10000 / (10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5)) \cdot 4000 / 3400^{0.4}; 1.2 \cdot \frac{0.10000 \cdot 3400}{(2 \cdot 177 - 0.10000)} \} + 3.8 = 15.62 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта устойчивости всей обечайки:

L = 23107 мм

$$B_2 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 23107 \cdot (3400 / (100 \cdot 2.4861 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{1E} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{k \cdot n_y \cdot B_2 \cdot L} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400}{(2.4861 \cdot 1.4 \cdot 1 \cdot 23107) \cdot (100 \cdot 2.4861 \cdot (18 - 3.8) / 3400)} = 0.18451 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l = 3613.3 мм

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{1II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c) + \frac{A_{k1}}{1} \cdot [\sigma]_{k1} + \frac{A_{k2}}{1} \cdot [\sigma]_{k2}}{D + (s - c)} = [2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) + 0 \cdot 0 / 3613.3 + 1800 \cdot 177 / 3613.3] / (3400 + 18 - 3.8) = 1.4981 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{[p]_{1II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{1II}}{[p]_{1E}} \right)^2}} = 1.4981 / (1 + (1.4981 / 0.18451)^2)^{1/2} = 0.18313 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

l = 3604.3 мм

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 3604.3 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{2E} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot l} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400}{(1.4 \cdot 1 \cdot 3604.3) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5}} = 0.30175 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

118

$$\lambda_{\Pi}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = \frac{3604.3^2}{(3400 \cdot (18 - 3.8))} = 269.08$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{2\pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{\Pi}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{\Pi}^2}{\varphi_P}} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) \cdot [2 + 269.08] / [1 + (1.0 \cdot 269.08) / 1] = 1.4778 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости обечайки между кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{[p]_{2\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{2\pi}}{[p]_{2E}} \right)^2}} = 1.4778 / (1 + (1.4778 / 0.30175)^2)^{1/2} = 0.29565 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 0.18313; 0.29565 \} = 0.18313 \text{ МПа}$$

$$0.18313 \text{ МПа} \geq 0.10000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$$

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 \cdot 1 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 55705 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3.1416 \cdot (3400 + 18 - 3.8) \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 2.6959 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400^2 / (1.4) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 5.5112 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{E1} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3400 / 3.5 \cdot 5.5112 \cdot 10^7 = 5.3538 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{E1}} \right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 5.3538 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

$$2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н·м} \geq 4.9 \cdot 10^5 \text{ Н·м}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная поперечным усилием

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\Pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3.1416 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) \cdot 177 = 6.7117 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$$l_Q = 4000 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{E1} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (18 - 3.8)^2 / 1.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) / 4000^2) = 1.2542 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2.2915 \cdot 10^7 / (1 + (2.2915 \cdot 10^7 / 5.3538 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.1066 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
	2.1066 · 10 ⁷ Н·м ≥ 4.9 · 10 ⁵ Н·м				
Подп. и дата	Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
	Обечайка, нагруженная поперечным усилием Допускаемое поперечное усилие из условия прочности: [Q] _π = 0.25 · π · D · (s – c) · [σ] = 0.25 · 3.1416 · 3400 · (18 – 3.8) · 177 = 6.7117 · 10 ⁶ Н Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы: l _Q = 4000 мм Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:				
Инв. № подл.	$[Q]_{\text{E}} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^6 \cdot (18 - 3.8)^2 / 1.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3400 \cdot (18 - 3.8) / 4000^2) = 1.2542 \cdot 10^7 \text{ Н}$				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР
					Лист
					119

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 6.7117 \cdot 10^6 / (1 + (6.7117 \cdot 10^6 / 1.2542 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 5.9176 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$5.9176 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 2.7019 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0.10000 / 0.18313 + 0 / 0 + 4.9 \cdot 10^5 / 2.1066 \cdot 10^7 + (2.7019 \cdot 10^5 / 5.9176 \cdot 10^6)^2 = 0.57142 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3400 / 4 \cdot 2.6959 \cdot 10^7 = 2.2915 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1.0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (55705 + 0 \cdot 3.1416 \cdot 3400^2 / 4) / 2.6959 \cdot 10^7 + 4.9 \cdot 10^5 / 2.2915 \cdot 10^7 = 0.023450 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3400 / 4000 \cdot (3400 / (100 \cdot (18 - 3.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_{\text{е}} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3400 / (1.4 \cdot 1 \cdot 4000) \cdot (100 \cdot (18 - 3.8) / 3400)^{2.5} = 0.2719 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (18 - 3.8) / (3400 + 18 - 3.8) = 1.4723 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1.4723 / (1 + (1.4723 / 0.2719)^2)^{1/2} = 0.26738 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 0.26738 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{Е1}}}\right)^2}} = 2.6959 \cdot 10^7 / (1 + (2.6959 \cdot 10^7 / 5.5112 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2.4217 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								120
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Воздушник (V1)

Исходные данные

Элемент:

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штуцер:

Тип элемента, несущего штуцер:

Тип штуцера:

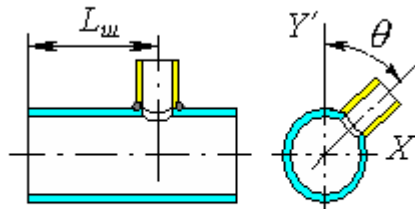
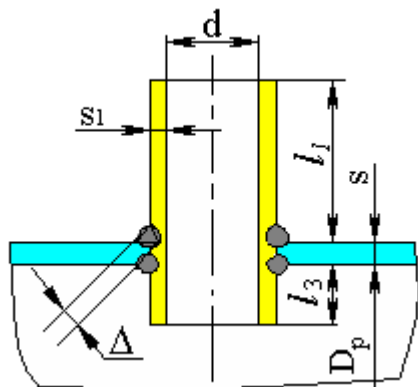
Воздушник (V1)

V1

Обечайка цилиндрическая

Обечайка цилиндрическая

Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:

Толщина стенки несущего элемента, s :

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c :

Материал штуцера:

Внутренний диаметр штуцера, d :

Толщина стенки штуцера, s_1 :

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_{s1} :

Длина штуцера, l_1 :

Смещение штуцера, $L_{ш}$:

Угол поворота штуцера, ϑ :

Длина внутр. части штуцера, l_3 :

Прибавка на коррозию, c_{s1} :

Минимальный размер сварного шва, Δ :

Расчётные параметры размещения штуцера:

09Г2С Лист

18мм

3.8 мм

09Г2С Труба

48 мм

10 мм

3 мм

300 мм

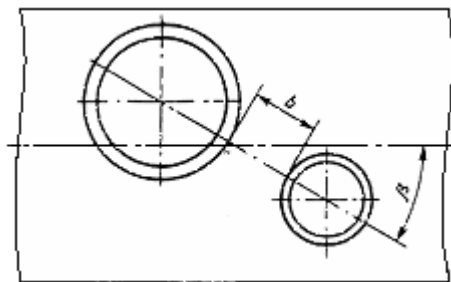
240 мм

0 °

0 мм

3 мм

10 мм



Ближайший штуцер

Название штуцера:

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b :

Угол β :

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 1$

Измерение температуры

(T2)

932 мм

0 °

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 PP

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:
φ= 1
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:
D_р = D =3400 мм

Нагрузки, приложенные к патрубку, **не передаются** на соседние элементы аппарата

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:
Расчётная температура, Т: 100 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.070000МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):
[σ]= 177 МПа
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:
E=1.91·10⁵ МПа

Свойства материала штуцера
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):
[σ]₁= 160 МПа
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:
E₁=1.91·10⁵ МПа

Расчётная толщина стенки штуцера:
$$s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.070000 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.070000) + 3 = 3.0118 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:
$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 36.721 \text{ МПа}$$

36.721 МПа ≥ 0.070000 МПа
Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:
D_р = D =3400 мм

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:
s_р= 0.67245 мм
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):
d_р = d + 2 · c_s =48 + 2 · 3=54 мм

Максимальный диаметр отверстия:
$$d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:
s_{рн} = s_р = 0.67245мм

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:
$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{\text{рн}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\text{max}} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 3.8) / 0.67245 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3 \} = 3406 \text{ мм}$$

d_р < d₀:**Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

123

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 219.73 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 286 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 219.73 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{300; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2}\} = 24.303 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min\left\{1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\{1.0, 160/177\} = 0.90395$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 3))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

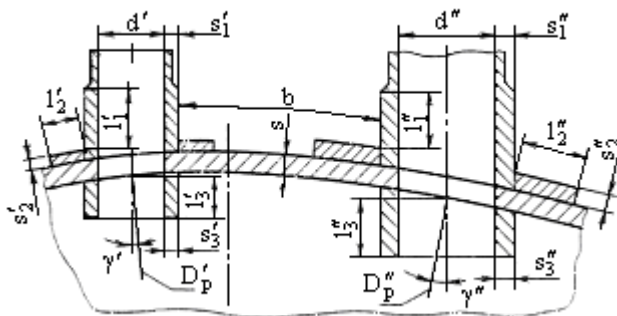
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 87.891 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (24.303 \cdot (10 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395) / (219.73 \cdot (18 - 3.8))] / [1 + 0.5 \cdot (54 - 87.891) / 219.73 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 219.73]\} = 1.1348\}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 1 / [3400 + (18 - 3.8) \cdot 1] = 1.4723 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение температуры (T2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 1.4723 \text{ МПа}$

$$1.4723 \text{ МПа} \geq 0.070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (54 - 87.891) \cdot 0.67245 = (-11.395) \text{ мм}^2$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
					90651-20600-AM-02-223 РР
					Лист
					124

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:
$$A_a = 1_p \cdot \{s_1 - s_p - c_s\} \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot \{s_3 - c_s - c_{s1}\} \cdot \chi_3 + 1_p \cdot \{s - s_p - c\} \cdot \chi_4$$
$$= 24.303 \cdot (10 - 0.011815 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 219.73 \cdot (18 - 0.67245 - 3.8) \cdot 1$$
$$= 3125.9 \text{ мм}^2$$
$$A_r = (-11.395) \text{ мм}^2 \leq 3125.9 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:
$$P_{\text{гп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 183 / 160 = 0.10008 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:
Расчётная температура, Т: 20 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.10491 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):
$$[\sigma]^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:
 $E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):
$$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:
 $E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:
$$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.10491 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.10491) + 0 = 0.0098940 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:
$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (48 + 10 + 0) = 87.774 \text{ МПа}$$
$$87.774 \text{ МПа} \geq 0.10491 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:
 $D_p = D = 3400 \text{ мм}$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:
 $s_p = 0.6541 \text{ мм}$

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):
$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 0 = 48 \text{ мм}$$

Максимальный диаметр отверстия:
$$d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:
 $s_{px} = s_p = 0.6541 \text{ мм}$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
125

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18-0.8)/0.6541-0.8) \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 0 \} = 3400 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} = 241.83 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 286 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 241.83 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1-c_s)} \} = \min \{ 300; 1.25 \cdot ((48+2 \cdot 0) \cdot (10-0))^{1/2} \} = 27.386 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55/272.73 \} = 0.93333$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3-c_s-c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((48+2 \cdot 0) \cdot (10-0-0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

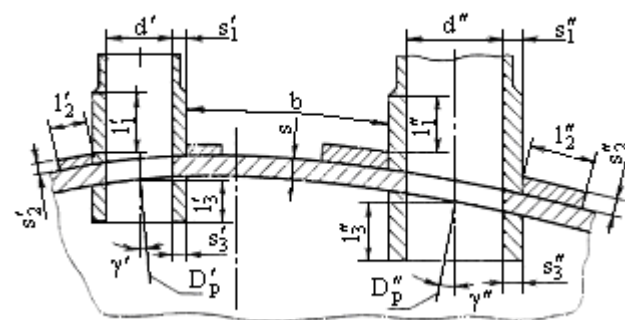
$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} = 96.731 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1-c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3-c_s-c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (27.386 \cdot (10-0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10-0-0) \cdot 0.93333) / (241.83 \cdot (18-0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (48-96.731) / 241.83 + 1 \cdot (48+2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1/1 \cdot 27.386 / 241.83] \} = 1.1783$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18-0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 1 / [3400 + (18-0.8) \cdot 1] = 2.7455 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение температуры (Т2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s-c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s-c)} = (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} = 483.65 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						126
						Формат А4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР			
<p>Допускаемое давление [p] = 2.7455 МПа</p> <p>2.7455 МПа ≥ 0.10491 МПа</p> <p>Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.</p> <p>Площадь, необходимая для укрепления отверстия:</p> <p>$A_r = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (48 - 96.731) \cdot 0.6541 = (-15.937) \text{ мм}^2$</p> <p>Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:</p> <p>$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$</p> <p>$= 27.386 \cdot (10 - 0.0098940 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 241.83 \cdot (18 - 0.6541 - 0.8) \cdot 1$</p> <p>$= 4256.6 \text{ мм}^2$</p> <p>$A_r = (-15.937) \text{ мм}^2 \leq 4256.6 \text{ мм}^2$</p> <p>Заключение: Условие прочности выполнено.</p>									
					90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					127

Вход продукта (N1)

Исходные данные

Элемент:

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штуцер:

Тип элемента, несущего штуцер:

Тип штуцера:

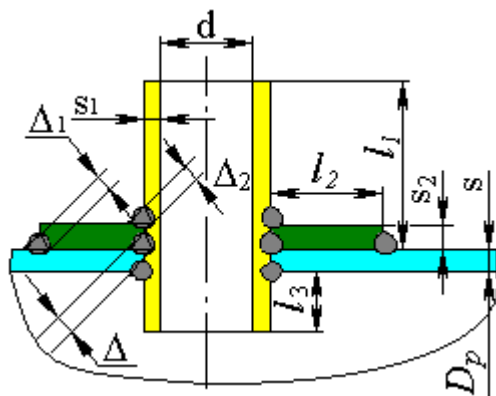
Вход продукта (N1)

N1

Обечайка цилиндрическая

Обечайка цилиндрическая

Проходящий с накладным
кольцом



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:

Толщина стенки несущего элемента, s:

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c:

Материал штуцера:

Внутренний диаметр штуцера, d:

Толщина стенки штуцера, s1:

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая
коррозию), c_s:

Длина штуцера, l1:

Смещение штуцера, L_ш:

Угол поворота штуцера, θ:

Длина внутр. части штуцера, l3:

Прибавка на коррозию, c_{s1}:

Материал кольца:

Ширина кольца, l2:

Толщина кольца, s2:

Минимальный размер сварного шва, Δ:

Минимальный размер сварного шва, Δ1:

Минимальный размер сварного шва, Δ2:

Расчётные параметры размещения штуцера:

09Г2С Лист

18мм

3.8 мм

09Г2С Труба

398 мм

14 мм

3 мм

300 мм

21440 мм

0 °

0 мм

3 мм

09Г2С Лист

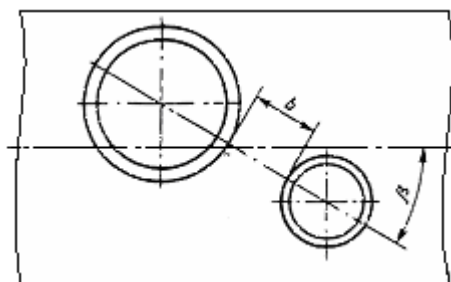
100 мм

10 мм

14 мм

18 мм

14 мм



Ближайший штуцер

Название штуцера:

Люк-лаз (M1)

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

128

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0.67245 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18-3.8) / 0.67245 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3 \} = 3406 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} = 219.73 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 807 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 219.73 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1-c_s)} \} = \min \{ 300; 1.25 \cdot ((398+2 \cdot 3) \cdot (14-3))^{1/2} \} = 83.329 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 160/177 \} = 0.90395$$

Расчётная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min \{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2+s-c)} \} = \min \{ 100; (3400 \cdot (10+18-3.8))^{1/2} \} = 100 \text{ мм}$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 177/177 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3-c_s-c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((398+2 \cdot 3) \cdot (14-3-3))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2} = 87.891 \text{ мм}$$

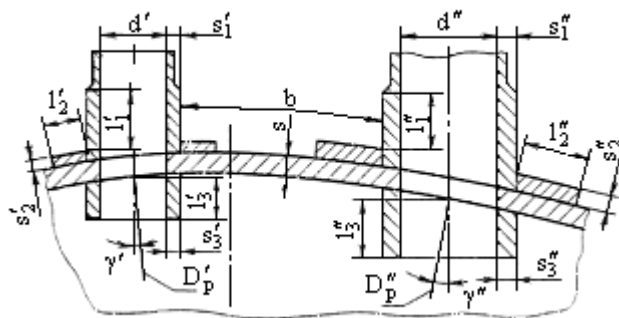
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1-c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3-c_s-c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (83.329 \cdot (14-3) \cdot 0.90395 + 100 \cdot 10 \cdot 1 + 0 \cdot (14-3-3) \cdot 0.90395) / (219.73 \cdot (18-3.8))] / [1 + 0.5 \cdot (404-87.891) / 219.73 + 1 \cdot (398+2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 83.329 / 219.73] \} = 0.89893$$

$$= 0.89893$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18-3.8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 0.89893 / [3400 + (18-3.8) \cdot 0.89893] = 1.3241 \text{ МПа}$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 130
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Люк-лаз (М1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчетов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 1.3241 \text{ МПа}$

$$1.3241 \text{ МПа} \geq 0.070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (404 - 87.891) \cdot 0.67245 = 106.28 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 83.329 \cdot (14 - 0.088394 - 3) \cdot 0.90395 + 100 \cdot 10 \cdot 1 + 0 \cdot (14 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 219.73 \cdot (18 - 0.67245 - 3.8) \cdot 1$$

$$= 4794.3 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 106.28 \text{ мм}^2 \leq 4794.3 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

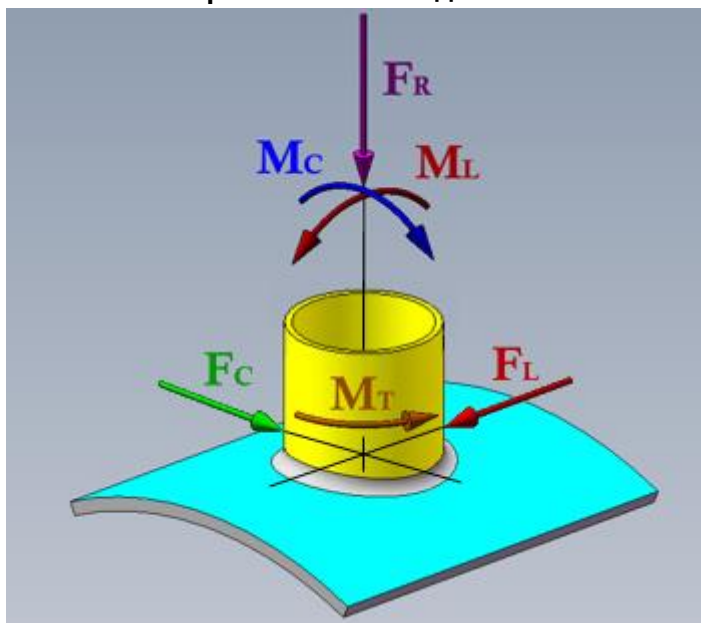
$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 183 / 160 = 0.10008 \text{ МПа}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 196 / 177 = 0.096893 \text{ МПа}$$

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	
						Лист
						131

Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ 34233.3-2017



Нагрузки

Радиальная нагрузка, F_R : (-10000) Н

Окружной момент, M_C : 16300 Н·м

Продольный момент, M_L : 16300 Н·м

Крутящий момент, M_T : 16300 Н·м

Сдвиговая нагрузка, F_C : 10000 Н

Сдвиговая нагрузка, F_L : 10000 Н

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c + s_2 = 3400 + 18 + 3.8 + 10 = 3431.8 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера при $l_2 < \sqrt{\frac{D_c}{2} \cdot (s + s_2)}$:

$$s_3 = s + \min \left\{ s_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{\frac{D_c}{2} \cdot (s + s_2)}}; s_2 \right\} \cdot \chi_2 - C = 18 + \min \{ 10 \cdot 100 / (3431.8 / 2 \cdot (18 + 10))^{1/2}; 10 \} \cdot 1 - 3.8 = 18.762 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 398 + 14 + 3 = 415 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_3}} = 415 / (3431.8 \cdot 18.762)^{1/2} = 1.6355$$

Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |0.070000 / 1.3241| = 0.052867$$

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

$0.052867 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

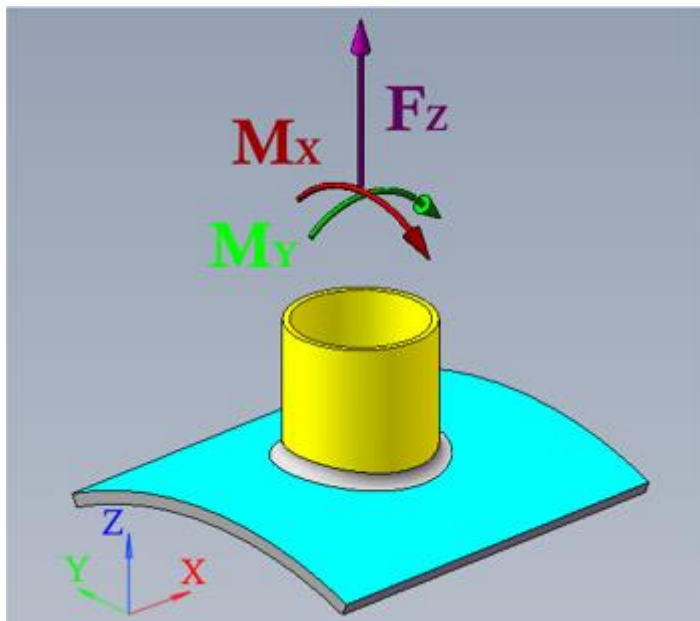
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

132

Расчетная схема по ГОСТ 34233.3-2017



Нагрузки по ГОСТ 34233.3-2017

Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_x = -F_R = -(-10000) = 10000 \text{ Н}$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0.60072 + 0.95196 \cdot 1.6355 + 0.0051958 \cdot 1.6355^2 - 0.0014064 \cdot 1.6355^3 + 0 \cdot 1.6355^4 = 2.1654$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_c = 1.6355$):

$$[F_{x1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1.81\} = 177 \cdot (18 + 1 \cdot 10 - 3.8)^2 \cdot \max\{2.1654; 1.81\} = 2.2446 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Наружный диаметр накладного кольца:

$$D_2 = d + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot l_2 = 398 + 2 \cdot 14 + 2 \cdot 100 = 626 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{D_2}{\sqrt{D_c \cdot [s - c]}} = 626 / (3431.8 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 2.8358$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0.60072 + 0.95196 \cdot 2.8358 + 0.0051958 \cdot 2.8358^2 - 0.0014064 \cdot 2.8358^3 + 0 \cdot 2.8358^4 = 3.31$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ($\lambda_c = 2.8358$):

$$[F_{x2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1.81\} = 177 \cdot (18 - 3.8)^2 \cdot \max\{3.31; 1.81\} = 1.1813 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$[F_x] = \min\{[F_{x1}]; [F_{x2}]\} = \min\{2.2446 \cdot 10^5; 1.1813 \cdot 10^5\} = 1.1813 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_x = \frac{F_x}{[F_x]} = |10000 / 1.1813 \cdot 10^5| = 0.084650$$

Условие прочности: $\Phi_x \leq 1$

$0.084650 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено.

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_x = M_c = 16300 \text{ Н·м}$$

Продольный приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_y = M_L = 16300 \text{ Н·м}$$

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4.5263 + 0.064022 \cdot 1.6355 + 0.15888 \cdot 1.6355^2 - 0.021419 \cdot 1.6355^3 + 0.0010350 \cdot 1.6355^4 = 4.9697$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_c = 1.6355$):

$$[M_{x1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4.9\} = 177 \cdot (18 + 1 \cdot 10 - 3.8)^2 \cdot 415 / 4 \cdot \max\{4.9697; 4.9\} = 53447 \text{ Н·м}$$

Взам. инв. №		$\Phi_x = \left \frac{F_x}{[F_x]} \right = 10000 / 1.1813 \cdot 10^5 = 0.084650$				
		Условие прочности: $\Phi_x \leq 1$ $0.084650 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено.				
Подп. и дата		Окружной приведенный момент, действующий на штуцер: $M_x = M_c = 16300 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Продольный приведенный момент, действующий на штуцер: $M_y = M_L = 16300 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4.5263 + 0.064022 \cdot 1.6355 + 0.15888 \cdot 1.6355^2 + -0.021419 \cdot 1.6355^3 + 0.0010350 \cdot 1.6355^4 = 4.9697$ Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_c = 1.6355$): $[M_{x1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4.9\} = 177 \cdot (18 + 1 \cdot 10 - 3.8)^2 \cdot 415 / 4 \cdot \max\{4.9697; 4.9\} = 53447 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
Инд. № подл.		90651-20600-AM-02-223 РР				
		Лист 133				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4.5263 + 0.064022 \cdot 2.8358 + 0.15888 \cdot 2.8358^2 - 0.021419 \cdot 2.8358^3 + 0.0010350 \cdot 2.8358^4 = 5.564$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ($\lambda_c = 2.8358$):

$$[M_{x2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{D_2}{4} \cdot \max\{C_2; 4.9\} = 177 \cdot (18 - 3.8)^2 \cdot 626 / 4 \cdot \max\{5.564; 4.9\} = 31078 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при наличии накладного кольца:

$$[M_x] = \min\{[M_{x1}; M_{x2}\} = \min\{53447; 31078\} = 31078 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)}} = 415 / (3431.8 \cdot (18 + 1 \cdot 10 - 3.8))^{1/2} = 1.4401$$

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 8.1432$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ($\lambda_c = 1.4401$):

$$[M_{y1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_3; 4.9\} = 177 \cdot (18 + 1 \cdot 10 - 3.8)^2 \cdot 415 / 4 \cdot \max\{8.1432; 4.9\} = 87576 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 16.567$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ($\lambda_c = 2.8358$):

$$[M_{y2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{D_2}{4} \cdot \max\{C_3; 4.9\} = 177 \cdot (18 - 3.8)^2 \cdot 626 / 4 \cdot \max\{16.567; 4.9\} = 92537 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, совпадающей с осью, при наличии накладного кольца:

$$[M_y] = \min\{[M_{y1}; M_{y2}\} = \min\{87576; 92537\} = 87576 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]}\right)^2} = ((16300 / 31078)^2 + (16300 / 87576)^2)^{1/2} = 0.55654$$

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

$0.55654 \leq 1.0$. **Условие прочности выполнено.**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\sqrt{\left[\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z\right|; \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z\right|\right)\right]^2 + \Phi_b^2} = ((\max(|0.052867 / 1 + 0.084650|; |0.052867 / 1 - 0.2 \cdot 0.084650|)^2 + 0.55654^2)^{1/2} = 0.57328$$

Если $F_z < 0$, то знак Φ_z меняется на противоположный.

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\left[\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z\right|; \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z\right|\right)\right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$$

$0.57328 \leq 1.0$. **Условие прочности выполнено.**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = 0.070000 \cdot (398 + 14) / (4 \cdot (14 - 3)) + 4 \cdot (16300^2 + 16300^2)^{1/2} / (3.1416 \cdot (398 + 14)^2 \cdot (14 - 3)) + 10000 / (3.1416 \cdot (398 + 14) \cdot (14 - 3)) = 17.077 \text{ МПа}$$

Если F_z создает сжимающее напряжение, ее следует принять равной нулю.

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

$17.077 \text{ МПа} \leq 160 \text{ МПа}$. **Условие прочности выполнено.**

$$\frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} = (16300^2 + 16300^2)^{1/2} / 2.2484 \cdot 10^5 + |0| / 2.2614 \cdot 10^6 = 0.10253$$

Если F_z растягивающая продольная сила, то F_z следует принять равной нулю.

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

134

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
Условиеустойчивости штуцера: $\frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{ F_z }{[F]} \leq 1.0$				
0.10253 ≤ 1.0.Условие устойчивости выполнено.				
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)				
Условия нагружения при испытаниях:				
Расчётная температура, Т: 20 °С				
Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.10503МПа				
Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017				
Свойства материала элемента, несущего штуцер				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):				
$[\sigma]^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$				
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:				
E=1.99·10 ⁵ МПа				
Свойства материала штуцера				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):				
$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$				
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:				
E ₁ =1.99·10 ⁵ МПа				
Свойства материала кольца				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):				
$[\sigma]^{20}_2 = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$				
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:				
E ₂ =1.99·10 ⁵ МПа				
Расчётная толщина стенки штуцера:				
$s_{ш} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.10503 \cdot (398 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.10503) + 0 = 0.082126 \text{ мм}$				
Допускаемое давление для патрубка штуцера:				
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (14 - 0) / (398 + 14 + 0) = 17.299 \text{ МПа}$				
17.299 МПа ≥ 0.10503 МПа				
Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:				
D _р = D =3400 мм				
Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:				
s _р = 0.6548 мм				
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):				
d _р = d + 2 · c _s =398 + 2 · 0=398 мм				
Максимальный диаметр отверстия:				
$d_{max} = \begin{cases} D & \text{– для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{– для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{– для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400\text{мм}$				
Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требую-				
щего дополнительного укрепления:				
s _{рн} = s _р = 0.6548мм				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				135

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18-0.8) / 0.6548 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 0 \} = 3400 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} = 241.83 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптического правое):

$$L_k = 807 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 241.83 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1-c_s)} \} = \min \{ 300; 1.25 \cdot ((398+2 \cdot 0) \cdot (14-0))^{1/2} \} = 93.307 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55 / 272.73 \} = 0.93333$$

Расчётная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min \left\{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2+s-c)} \right\} = \min \{ 100; (3400 \cdot (10+18-0.8))^{1/2} \} = 100 \text{ мм}$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 272.73 / 272.73 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3-c_s-c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((398+2 \cdot 0) \cdot (14-0-0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

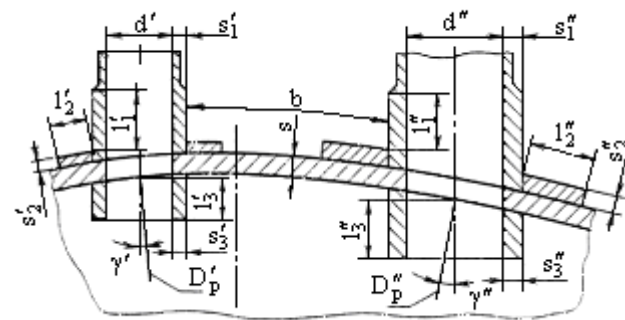
$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2} = 96.731 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1-c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3-c_s-c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (93.307 \cdot (14-0) \cdot 0.93333 + 100 \cdot 10 \cdot 1 + 0 \cdot (14-0-0) \cdot 0.93333) / (241.83 \cdot (18-0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (398-96.731) / 241.83 + 1 \cdot (398+2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 93.307 / 241.83] \} = 0.91935$$

$$= 0.91935$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (18-0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 0.91935 / [3400 + (18-0.8) \cdot 0.91935] = 2.5251 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

136

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p>Шов обечайки в зоне врезки штуцера: φ= 1 Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D_р = D =3400 мм</p> <p>Нагрузки, приложенные к патрубку, не передаются на соседние элементы аппарата</p> <p>Расчёт в рабочих условиях</p> <p>Условия нагружения: Расчётная температура, Т: 100 °С Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.10114МПа</p> <p>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</p> <p>Свойства материала элемента, несущего штуцер Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]= 177 МПа Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: E=1.91·10⁵ МПа</p> <p>Свойства материала штуцера Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]₁= 160 МПа Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: E₁=1.91·10⁵ МПа</p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера: $s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.10114 \cdot (301 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.10114) + 3 = 3.0971 \text{ мм}$</p> <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (12 - 3) / (301 + 12 + 3) = 9.1139 \text{ МПа}$</p> <p>9.1139 МПа ≥ 0.10114 МПа Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено. Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D_р = D =3400 мм</p> <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера: s_р= 0.97165 мм</p> <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): d_р = d + 2 · c_s =301 + 2 · 3=307 мм</p> <p>Максимальный диаметр отверстия: $d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$</p> <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления: s_{рн} = s_р = 0.97165мм</p> <p>Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: $d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{\text{рн}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\text{max}} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 3.8) / 0.97165 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3 \} = 3406 \text{ мм}$</p> <p>d_р < d₀: Условие прочности выполнено.</p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист	
							139
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР		

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'_1}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''_1}{\varphi''_1} \cdot \frac{l''_{1p}}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(65.705 \cdot (12 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 24.303 \cdot (10 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395) / (303.5 \cdot (3.8 - 3.8))] / (1 \cdot (0.8 + (307 + 54) / (2 \cdot 303.5)) + 1 \cdot [(301 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 65.705 / 303.5 + [(48 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 303.5])]) = 0.81927 \}$$

$$= 0.81927$$

$$[p]_{\Sigma} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 / [0.5 \cdot (3400 + 3400) + (18 - 3.8) \cdot 0.81927] \cdot 0.81927 = 1.2071 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 1.1315; 1.2071 \}$ МПа

1.1315 МПа \geq 0.10114 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_T = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (307 - 87.891) \cdot 0.97165 = 106.45 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 65.705 \cdot (12 - 0.097059 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 219.73 \cdot (18 - 0.97165 - 3.8) \cdot 1$$

$$= 3435.4 \text{ мм}^2$$

$$A_T = 106.45 \text{ мм}^2 \leq 3435.4 \text{ мм}^2$$

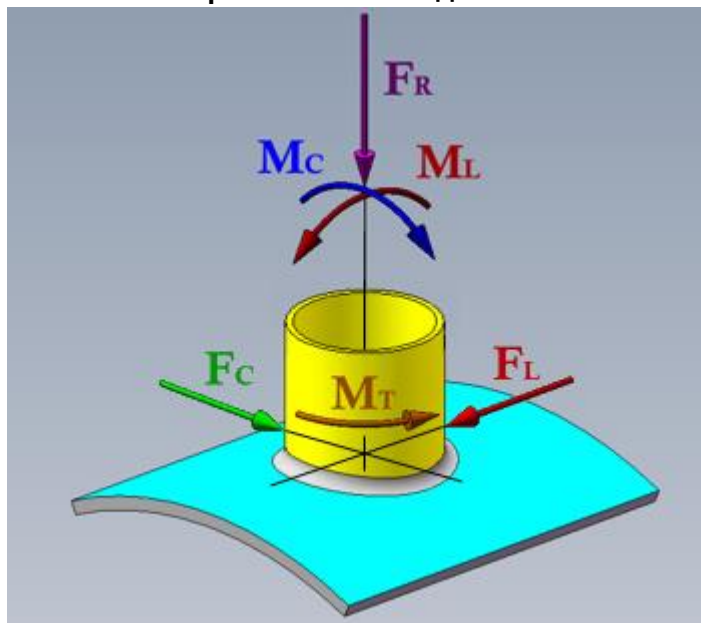
Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{гп} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.10114 \cdot 183 / 160 = 0.14459 \text{ МПа}$$

Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ 34233.3-2017



Нагрузки

Радиальная нагрузка, F_R : (-7200) Н

Окружной момент, M_C : 9900 Н·м

Продольный момент, M_L : 9900 Н·м

Крутящий момент, M_T : 9900 Н·м

Сдвиговая нагрузка, F_C : 7200 Н

Сдвиговая нагрузка, F_L : 7200 Н

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			141

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

$$s_s = s - c = 18 - 3.8 = 14.2 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c = 3400 + 18 + 3.8 = 3421.8 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 301 + 12 + 3 = 316 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_s}} = 316 / (3421.8 \cdot 14.2)^{1/2} = 1.4336$$

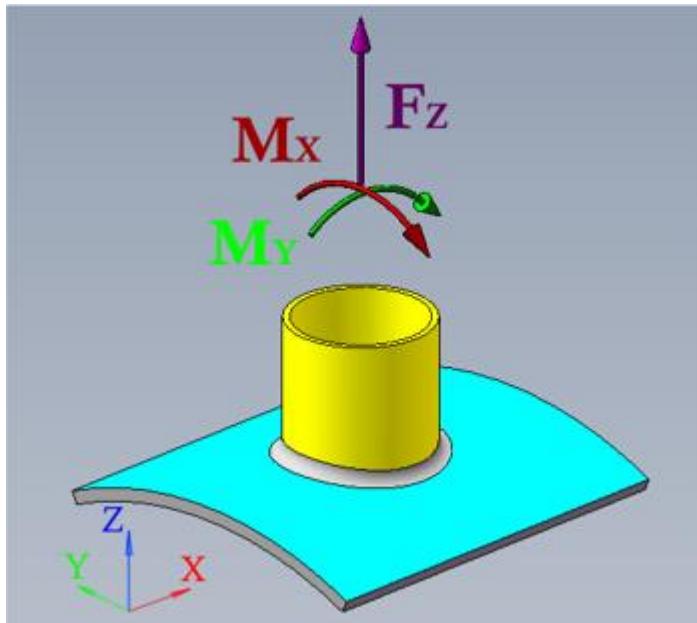
Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |0.10114 / 1.1315| = 0.089382$$

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

$0.089382 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено.

Расчетная схема по ГОСТ 34233.3-2017



Нагрузки по ГОСТ 34233.3-2017

Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-7200) = 7200 \text{ Н}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s - c)}} = 316 / (3421.8 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 1.4336$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0.60072 + 0.95196 \cdot 1.4336 + 0.0051958 \cdot 1.4336^2 - 0.0014064 \cdot 1.4336^3 + 0 \cdot 1.4336^4 = 1.972$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ($\lambda_c = 1.4336$):

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1.81\} = 177 \cdot (18 - 3.8)^2 \cdot \max\{1.972; 1.81\} = 70379 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |7200 / 70379| = 0.1023$$

Условие прочности: $\Phi_z \leq 1$

$0.1023 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено.

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_x = M_c = 9900 \text{ Н·м}$$

Продольный приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_y = M_L = 9900 \text{ Н·м}$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 142
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E=1.99·10 ⁵ МПа						
Свойства материала штуцера						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):						
$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$						
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E ₁ =1.99·10 ⁵ МПа						
Расчётная толщина стенки штуцера:						
$s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.14089 \cdot (301 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.14089) + 0 = 0.083322 \text{ мм}$						
Допускаемое давление для патрубка штуцера:						
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (12 - 0) / (301 + 12 + 0) = 19.518 \text{ МПа}$						
19.518 МПа ≥ 0.14089 МПа						
Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.						
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:						
$D_p = D = 3400 \text{ мм}$						
Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:						
$s_p = 0.87841 \text{ мм}$						
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):						
$d_p = d + 2 \cdot c_s = 301 + 2 \cdot 0 = 301 \text{ мм}$						
Максимальный диаметр отверстия:						
$d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$						
Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:						
$s_{\text{pn}} = s_p = 0.87841 \text{ мм}$						
Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:						
$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{\text{pn}}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\text{max}} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 0.8) / 0.87841 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 0 \} = 3400 \text{ мм}$						
d _p < d ₀ : Условие прочности выполнено.						
Ширина зоны укрепления:						
$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 241.83 \text{ мм}$						
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):						
L _k = 657.5мм						
Расчётная ширина зоны укрепления:						
$l_p = L_0 = 241.83 \text{ мм}$						
Расчётная длина внешней части штуцера:						
$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 250; 1.25 \cdot ((301 + 2 \cdot 0) \cdot (12 - 0))^{1/2} \} = 75.125 \text{ мм}$						
Отношения допускаемых напряжений						
Для внешней части штуцера:						
$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55 / 272.73 \} = 0.93333$						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						144

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((301 + 2 \cdot 0) \cdot (12 - 0 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

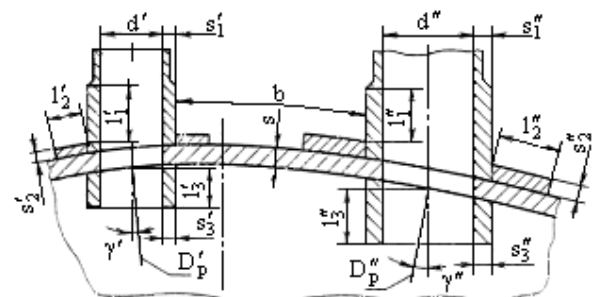
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 96.731 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_p \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_p}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (75.125 \cdot (12 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (241.83 \cdot (18 - 0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (301 - 96.731) / 241.83 + 1 \cdot (301 + 2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 75.125 / 241.83] \} = 0.82925$$

$$= 0.82925$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 0.82925 / [3400 + (18 - 0.8) \cdot 0.82925] = 2.2786 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Дренаж (D1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 483.65 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(180)] / 2 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_p' \cdot (s_1' - c_s') \cdot \chi_1' + l_{2p}' \cdot s_2' \cdot \chi_2' + l_{3p}' \cdot (s_3' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_3' + l_{4p}' \cdot (s_4' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_4' + l_{5p}' \cdot (s_5' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_5' + l_{6p}' \cdot (s_6' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_6' + l_{7p}' \cdot (s_7' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_7' + l_{8p}' \cdot (s_8' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_8' + l_{9p}' \cdot (s_9' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_9' + l_{10p}' \cdot (s_{10}' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_{10}'}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d_p' + d_p''}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2 \cdot c_s'}{D_p'} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi_1'} \cdot \frac{l_p'}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s''}{D_p''} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi_1''} \cdot \frac{l_p''}{b} \right)}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(75.125 \cdot (12 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 24.303 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (303.5 \cdot (0.8 - 0.8))] / (1 \cdot (0.8 + (301 + 54) / (2 \cdot 303.5)) + 1 \cdot [(301 + 2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 75.125 / 303.5 + [(48 + 2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 303.5])]) \} = 0.85563$$

$$= 0.85563$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D_p' + D_p'') + (s - c) \cdot V_1} = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 / [0.5 \cdot (3400 + 3400) + (18 - 0.8) \cdot 0.85563] = 2.3508 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 2.2786; 2.3508 \}$ МПа

$$2.2786 \text{ МПа} \geq 0.14089 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (301 - 96.731) \cdot 0.87841 = 89.716 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 75.125 \cdot (12 - 0.083322 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 241.83 \cdot (18 - 0.87841 - 0.8) \cdot 1$$

$$= 4782.5 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 89.716 \text{ мм}^2 \leq 4782.5 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №				
Подп. и дата				
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 PP

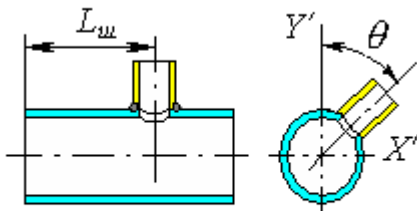
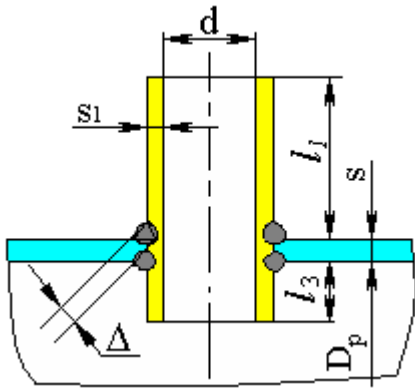
Лист

145

Дренаж (D1)

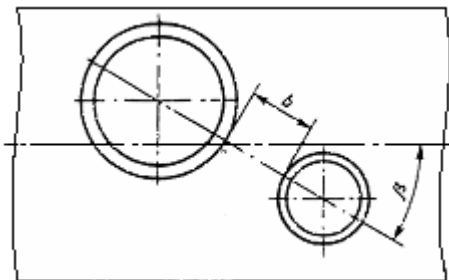
Исходные данные

Элемент:	Дренаж (D1)
Условное обозначение (метка)	D1
Элемент, несущий штуцер:	Обечайка цилиндрическая
Тип элемента, несущего штуцер:	Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:	09Г2С Лист
Толщина стенки несущего элемента, s:	18 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	3.8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	3 мм
Длина штуцера, l1:	250 мм
Смещение штуцера, Lш:	240 мм
Угол поворота штуцера, θ:	180 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	3 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	10 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Выход продукта (N2)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	303.5 мм
Угол β:	0 °
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов штуцера:	
φ _т = 1	

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	------	--------	-------	------

90651-20600-AM-02-223 PP

Лист

146

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	<p>Шов обечайки в зоне врезки штуцера: φ= 1 Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D_p = D =3400 мм</p> <p>Нагрузки, приложенные к патрубку, не передаются на соседние элементы аппарата</p> <p>Расчёт в рабочих условиях</p> <p>Условия нагружения: Расчётная температура, Т: 100 °С Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.10114МПа</p> <p>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</p> <p>Свойства материала элемента, несущего штуцер Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]= 177 МПа Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: E=1.91·10⁵ МПа</p> <p>Свойства материала штуцера Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]₁= 160 МПа Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: E₁=1.91·10⁵ МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.10114 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.10114) + 3 = 3.0171 \text{ мм}$ Допускаемое давление для патрубка штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 36.721 \text{ МПа}$ 36.721 МПа ≥ 0.10114 МПа Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено. Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D_p = D =3400 мм Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера: s_p= 0.97165 мм Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): d_p = d + 2 · c_s =48 + 2 · 3=54 мм Максимальный диаметр отверстия: $d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$ Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления: s_{pn} = s_p = 0.97165мм Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: $d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 3.8) / 0.97165 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3 \} = 3406 \text{ мм}$ d_p < d₀: Условие прочности выполнено.</p>					
	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
						147
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 219.73 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 286 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 219.73 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{250; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2}\} = 24.303 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min\left\{1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\{1.0, 160/177\} = 0.90395$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\left\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\right\} = \min\{0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 3))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

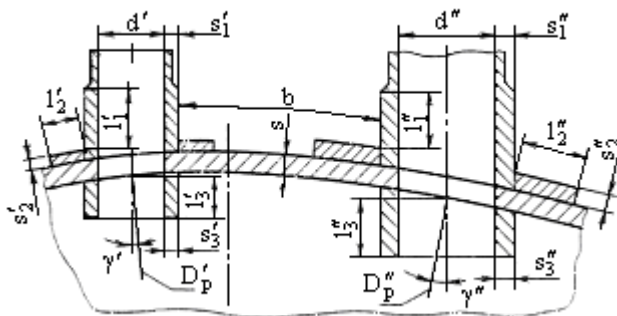
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 87.891 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\left\{1; \frac{1 + (24.303 \cdot (10 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395) / (219.73 \cdot (18 - 3.8))}{1 + 0.5 \cdot (54 - 87.891) / 219.73 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 219.73}\right\} = 1.1348$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 1 / [3400 + (18 - 3.8) \cdot 1] = 1.4723 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход продукта (N2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(0)] / 2 = 1$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

148

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + 1'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + 1'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + 1'_{4p} \cdot (s'_4 - c'_{s1}) \cdot \chi'_4}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'_1}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''_1}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(24.303 \cdot (10 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 65.705 \cdot (12 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 3 - 3) \cdot 0.90395) / (303.5 \cdot (3.8 - 3.8))] / (1 \cdot (0.8 + (54 + 307) / (2 \cdot 303.5) + 1 \cdot [(48 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 303.5 + [(301 + 2 \cdot 3) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 65.705 / 303.5])]) = 0.81927 \}$$

= 0.81927

$$[p]_E = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 / [0.5 \cdot (3400 + 3400) + (18 - 3.8) \cdot 0.81927] \cdot 0.81927 = 1.2071 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 1.4723; 1.2071 \}$ МПа

1.2071 МПа \geq 0.10114 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_T = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (54 - 87.891) \cdot 0.97165 = (-16.465) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 24.303 \cdot (10 - 0.017072 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 219.73 \cdot (18 - 0.97165 - 3.8) \cdot 1$$

$$= 3060 \text{ мм}^2$$

$$A_T = (-16.465) \text{ мм}^2 \leq 3060 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_T} = 1.25 \cdot 0.10114 \cdot 183 / 160 = 0.14459 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.14089 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{eT20}}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{eT20}}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

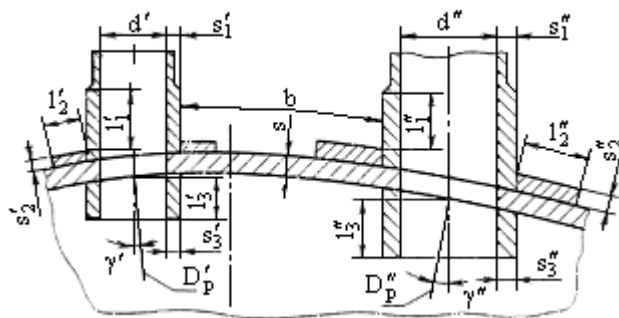
Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.14089 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.14089) + 0 = 0.013287 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (48 + 10 + 0) = 87.774 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		E=1.99·10 ⁵ МПа					
		Свойства материала штуцера Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидротестирования): $[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E ₁ =1.99·10 ⁵ МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.14089 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.14089) + 0 = 0.013287 \text{ мм}$					
		Допускаемое давление для патрубка штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (48 + 10 + 0) = 87.774 \text{ МПа}$					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход продукта (N2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 483.65 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(0)] / 2 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}' \cdot (s_1' - c_s') \cdot \chi_1' + l_{2p}' \cdot s_2' \cdot \chi_2' + l_{3p}' \cdot (s_3' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_3' + l_{1p}'' \cdot (s_1'' - c_s'') \cdot \chi_1'' + l_{2p}'' \cdot s_2'' \cdot \chi_2'' + l_{3p}'' \cdot (s_3'' - c_s'' - c_{s1}'') \cdot \chi_3''}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d_p' + d_p''}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d_p' + 2 \cdot c_s' \cdot \varphi' \cdot l_{1p}'}{D_p' \cdot \varphi_1' \cdot b} + \frac{d_p'' + 2 \cdot c_s'' \cdot \varphi'' \cdot l_{1p}''}{D_p'' \cdot \varphi_1'' \cdot b} \right)} \right\}$$

$$= \min \left\{ 1; \frac{(27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 65.705 \cdot (12 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (303.5 \cdot (0.8 - 0.8))}{(1 \cdot (0.8 + (48 + 307) / (2 \cdot 303.5)) + 1 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 303.5 + [(301 + 2 \cdot 0) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 65.705 / 303.5])} \right\} = 0.84676$$

$$[p]_k = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D_p' + D_p'') + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 / [0.5 \cdot (3400 + 3400) + (18 - 0.8) \cdot 0.84676] \cdot 0.84676 = 2.3265 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 2.7455; 2.3265 \}$ МПа

2.3265 МПа \geq 0.14089 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_T = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (48 - 96.731) \cdot 0.87841 = (-21.403) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_4$$

$$= 27.386 \cdot (10 - 0.013287 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 241.83 \cdot (18 - 0.87841 - 0.8) \cdot 1$$

$$= 4202.3 \text{ мм}^2$$

$$A_T = (-21.403) \text{ мм}^2 \leq 4202.3 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	
					Лист	151

Измерение температуры (T1, T2)

Расчет приведен для штуцера измерения температуры T1.

Исходные данные

Элемент:

Измерение температуры
(T1)

Условное обозначение (метка)

T1

Элемент, несущий штуцер:

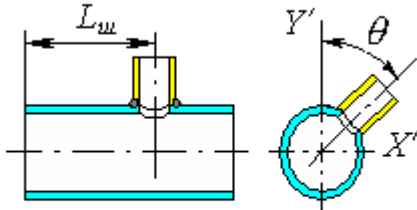
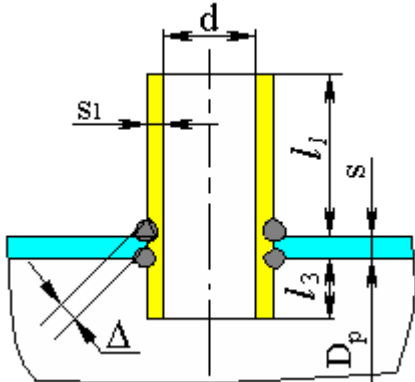
Обечайка цилиндрическая

Тип элемента, несущего штуцер:

Обечайка цилиндрическая

Тип штуцера:

Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:

09Г2С Лист

Толщина стенки несущего элемента, s:

18мм

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:

3.8 мм

Материал штуцера:

09Г2С Труба

Внутренний диаметр штуцера, d:

48 мм

Толщина стенки штуцера, s1:

10 мм

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:

3 мм

Длина штуцера, l1:

300 мм

Смещение штуцера, Lш:

18940 мм

Угол поворота штуцера, θ:

0 °

Длина внутр. части штуцера, l3:

3000 мм

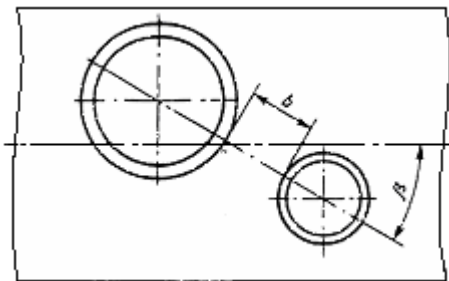
Прибавка на коррозию, сs1:

3 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ:

10 мм

Расчётные параметры размещения штуцера:



Ближайший штуцер

Название штуцера:

Люк-лаз (M1)

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:

656 мм

Угол β:

0 °

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

152

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (54 - 87.891) \cdot 0.67245 = (-11.395) \text{ мм}^2$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$

$= 24.303 \cdot (10 - 0.011815 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 7.3485 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 219.73 \cdot (18 - 0.67245 - 3.8) \cdot 1$

$= 3152.5 \text{ мм}^2$

$A_r = (-11.395) \text{ мм}^2 \leq 3152.5 \text{ мм}^2$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$P_{гп} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 183 / 160 = 0.10008 \text{ МПа}$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.10491 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$[\sigma]^{20_1} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.10491 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.10491) + 0 = 0.0098940 \text{ мм}$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (48 + 10 + 0) = 87.774 \text{ МПа}$

$87.774 \text{ МПа} \geq 0.10491 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 3400 \text{ мм}$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$s_p = 0.6541 \text{ мм}$

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 0 = 48 \text{ мм}$

Максимальный диаметр отверстия:

$d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требую-

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
155

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

щего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0.6541 \text{ mm}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18-0.8)/0.6541-0.8) \cdot (3400 \cdot (18-0.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 0 \} = 3400 \text{ mm}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 241.83 \text{ mm}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$L_k = 3486 \text{ mm}$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 241.83 \text{ mm}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{10} = \min\{l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{300; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0))^{1/2}\} = 27.386 \text{ mm}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0, \frac{[\sigma]_1}{\sigma} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55 / 272.73 \} = 0.93333$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{30} = \min\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{3000; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0 - 0))^{1/2}\} = 10.954 \text{ mm}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

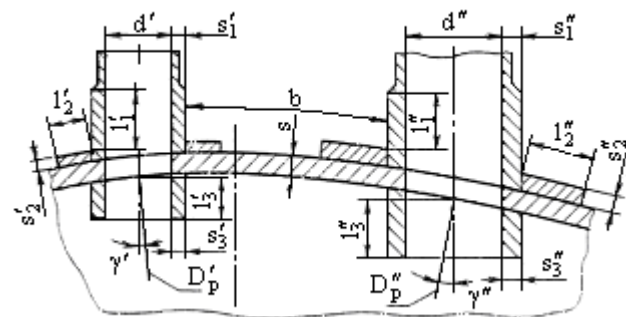
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 96.731 \text{ mm}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{1_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (27.386 * (10 - 0) * 0.93333 + 0 * 0 * 10.954 * (10 - 0 - 0) * 0.93333) / (241.83 * (18 - 0.8))] / [1 + 0.5 * (48 - 96.731) / 241.83 + 1 * (48 + 2 * 0) / 3400 * 1/1 * 27.386 / 241.83] = \mathbf{1.2056}\}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_n + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 1 / [3400 + (18 - 0.8) \cdot 1] = 2.7455 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Люк-лаз (М1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

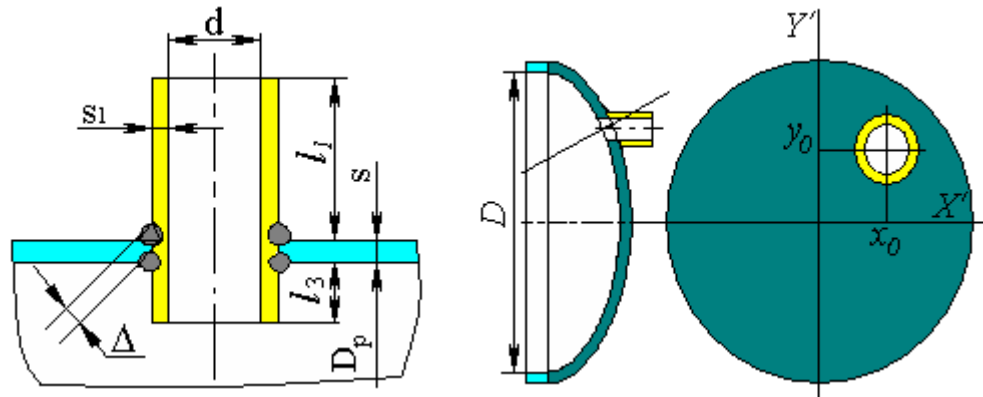
Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	

Измеритель уровня (L1, L2)

Расчет приведен для штуцера измерителя уровня L2.

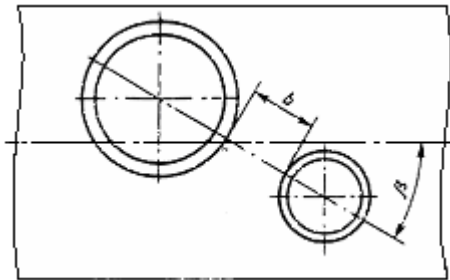
Исходные данные

Элемент:	Измеритель уровня (L2)
Условное обозначение (метка)	L2
Элемент, несущий штуцер:	Днище эллиптическое левое
Тип элемента, несущего штуцер:	Днище эллиптическое
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:	09Г2С Лист
Толщина стенки несущего элемента, s:	18 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	3.8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	3 мм
Длина штуцера, l1:	283 мм
Смещение штуцера, X0:	200 мм
Смещение штуцера, Y0:	1500 мм
Смещение штуцера, Rш:	1513.3 мм
Угол поворота штуцера, ̑:	7.5946 °
Полученный угол наклона штуцера, γ:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	3 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	10 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Измеритель уровня (L1)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	332.31 мм

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
Угол β:		90 °		
Коэффициенты прочности сварных швов:				
Продольный шов штуцера:				
φ1= 1				
Шов обечайки в зоне врезки штуцера:				
φ= 1				
Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :				
$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1513.3^2 / 3400^4)^{1/2} = 4331.3 \text{ мм}$				
Нагрузки, приложенные к патрубку, не передаются на соседние элементы аппарата				
Расчёт в рабочих условиях				
Условия нагружения:				
Расчётная температура, Т: 100 °С				
Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.070402МПа				
Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017				
Свойства материала элемента, несущего штуцер				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):				
[σ]= 177 МПа				
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:				
E=1.91·10 ⁵ МПа				
Свойства материала штуцера				
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):				
[σ]1= 160 МПа				
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:				
E1=1.91·10 ⁵ МПа				
Расчётная толщина стенки штуцера:				
$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.070402 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.070402) + 3 = 3.0119 \text{ мм}$				
Допускаемое давление для патрубка штуцера:				
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 36.721 \text{ МПа}$				
36.721 МПа ≥ 0.070402 МПа				
Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.				
Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :				
$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1513.3^2 / 3400^4)^{1/2} = 4331.3 \text{ мм}$				
Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:				
sp= 0.43073 мм				
Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):				
$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (48 + 2 \cdot 3) / [1 - (2 \cdot 1513.3 / 4331.3)^2]^{1/2} = 75.487 \text{ мм}$				
Максимальный диаметр отверстия:				
$d_{max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 2040 \text{ мм}$				
Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требую-				
Инв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	90651-20600-AM-02-223 РР	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$K_3=1$

$$V_1 = \min \left\{ 1, \frac{1 + \frac{1'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + 1'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + 1'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + 1'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + 1'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + 1'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c'_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)} \right\}$$

$$= \min\{1; (1 + [(24.303 * (10 - 3) * 0.90395 + 0 * 0 * 0 + 0 * (10 - 3 - 3) * 0.90395 + 24.303 * (10 - 3) * 0.90395 + 0 * 0 * 0 + 0 * (10 - 3 - 3) * 0.90395)] / (332.31 * (3.8 - 3.8))) / (1 * (0.8 + (75.487 + 75.487) / (2 * 332.31)) + 2 * [(48 + 2 * 3) / 4331.3 * 1 / 1 * 24.303 / 332.31 + [(48 + 2 * 3) / 4331.3 * 1 / 1 * 24.303 / 332.31]]) = 1.0333\}$$

$$[p]_{\text{ж}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_n + D''_n) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 / [0.5 \cdot (4331.3 + 4331.3) + (18 - 3.8) \cdot 1] \cdot 1 = 2.3136 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min\{2.3136; 2.3136\}$ МПа

$$2.3136 \text{ МПа} \geq 0.070402 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_I = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (75.487 - 99.2) \cdot 0.43073 = (-5.1069) \text{ mm}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$\begin{aligned} A_a &= 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4 \\ &= 24.303 \cdot (10 - 0.011883 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 248 \cdot (18 - 0.43073 - 3.8) \cdot 1 \\ &= 3568.3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_r = (-5.1069) \text{ mm}^2 \leq 3568.3 \text{ mm}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070402 \cdot 183 / 160 = 0.10065 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, $p: 0.10711 \text{ МПа}$

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20_1} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

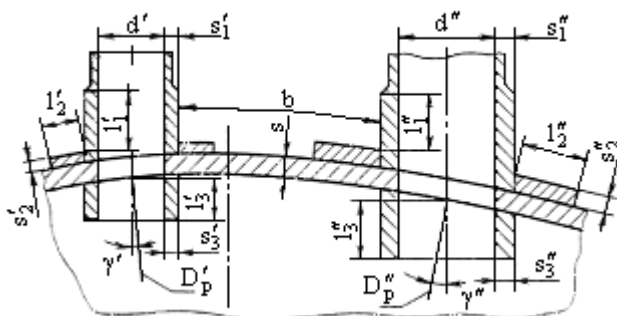
Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{lp} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_1 \cdot \phi_1 - p]} + c_s = 0.10711 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.10711) + 0 = 0.010101 \text{ mm}$$

Взам. инв. №	Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E=1.99·10 ⁵ МПа					
	Свойства материала штуцера Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_1} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$					
Подп. и дата	Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E ₁ =1.99·10 ⁵ МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.10711 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.10711) + 0 = 0.010101 \text{ мм}$					
Инв. № подл.					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						161
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.		Дата

= 1

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 1 / [4331.3 + (18 - 0.8) \cdot 1] = 4.315 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измеритель уровня (L1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (4331.3 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} + (4331.3 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 545.89 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

K₃=1

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c'_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi \cdot l'_{1p}}{\varphi'_1 \cdot b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi \cdot l'_{1p}}{\varphi'_1 \cdot b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 24.303 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (332.31 \cdot (0.8 - 0.8))] / (1 \cdot (0.8 + (67.1 + 75.487) / (2 \cdot 332.31) + 2 \cdot [(48 + 2 \cdot 0) / 4331.3 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 332.31 + [(48 + 2 \cdot 0) / 4331.3 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 332.31]])) = 1.0652 \}$$

= 1

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 / [0.5 \cdot (4331.3 + 4331.3) + (18 - 0.8) \cdot 1] \cdot 1 = 4.315 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 4.315; 4.315 \}$ МПа

4.315 МПа \geq 0.10711 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (67.1 - 109.18) \cdot 0.42531 = (-8.9479) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4 = 27.386 \cdot (10 - 0.010101 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 272.94 \cdot (18 - 0.42531 - 0.8) \cdot 1 = 4833.9 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-8.9479) \text{ мм}^2 \leq 4833.9 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

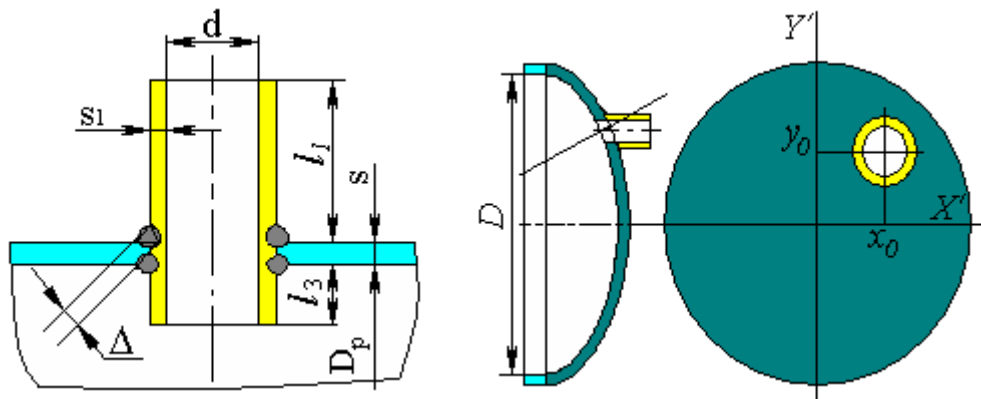
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
										163
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Измеритель уровня (L3, L4)

Расчет приведен для штуцера измерителя уровня L4.

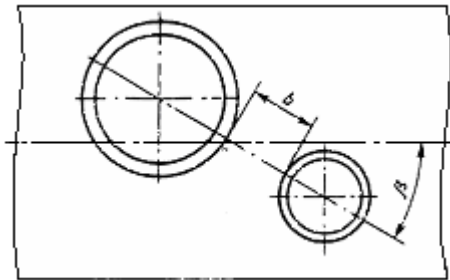
Исходные данные

Элемент:	Измеритель уровня (L4)
Условное обозначение (метка)	L4
Элемент, несущий штуцер:	Днище эллиптическое левое
Тип элемента, несущего штуцер:	Днище эллиптическое
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:	09Г2С Лист
Толщина стенки несущего элемента, s:	18 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	3.8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	3 мм
Длина штуцера, l1:	283 мм
Смещение штуцера, X0:	200 мм
Смещение штуцера, Y0:	-1400 мм
Смещение штуцера, Rш:	1414.2 мм
Угол поворота штуцера, θ:	171.87 °
Полученный угол наклона штуцера, γ:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	3 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	10 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Измеритель уровня (L3)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	332.26 мм

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
Угол β:		90 °				
Коэффициенты прочности сварных швов:						
Продольный шов штуцера:						
φ1= 1						
Шов обечайки в зоне врезки штуцера:						
φ= 1						
Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :						
$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1414.2^2 / 3400^4)^{1/2} = 4715.9 \text{ мм}$						
Нагрузки, приложенные к патрубку, не передаются на соседние элементы аппарата						
Расчёт в рабочих условиях						
Условия нагружения:						
Расчётная температура, Т: 100 °С						
Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.096282МПа						
Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017						
Свойства материала элемента, несущего штуцер						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):						
[σ]= 177 МПа						
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:						
E=1.91·10 ⁵ МПа						
Свойства материала штуцера						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):						
[σ]1= 160 МПа						
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:						
E1=1.91·10 ⁵ МПа						
Расчётная толщина стенки штуцера:						
$s_{ш} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.096282 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.096282) + 3 = 3.0163 \text{ мм}$						
Допускаемое давление для патрубка штуцера:						
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 36.721 \text{ МПа}$						
36.721 МПа ≥ 0.096282 МПа						
Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.						
Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :						
$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1414.2^2 / 3400^4)^{1/2} = 4715.9 \text{ мм}$						
Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:						
sp= 0.64142 мм						
Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):						
$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (48 + 2 \cdot 3) / [1 - (2 \cdot 1414.2 / 4715.9)^2]^{1/2} = 67.485 \text{ мм}$						
Максимальный диаметр отверстия:						
$d_{max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 2040 \text{ мм}$						
Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требую-						
Инв. № подл.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						165

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

$K_3=1$

$$V_1 = \min \left\{ 1, \frac{1 + \frac{1'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + 1'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + 1'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + 1'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + 1'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + 1'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c'_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)} \right\}$$

$$= \min(1; (1 + [(24.303 * (10 - 3) * 0.90395 + 0 * 0 * 0 + 0 * (10 - 3 - 3) * 0.90395 + \frac{24.303 * (10 - 3) * 0.90395 + 0 * 0 * 0 + 0 * (10 - 3 - 3) * 0.90395}{(332.26 * (3.8 - 3.8))}] / (1 * (0.8 + (67.485 + 67.485) / (2 * 332.26)) + 2 * [(48 + 2 * 3) / 4715.9 * 1 / 1 * 24.303 / 332.26 + [(48 + 2 * 3) / 4715.9 * 1 / 1 * 24.303 / 332.26]])) = 1.0584$$

$$[p]_{\text{ж}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_n + D''_n) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 / [0.5 \cdot (4715.9 + 4715.9) + (18 - 3.8) \cdot 1] \cdot 1 = 2.1254 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min\{2.1254; 2.1254\}$ МПа

$$2.1254 \text{ МПа} \geq 0.096282 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_I = 0.5(d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (67.485 - 103.51) \cdot 0.64142 = (-11.554) \text{ mm}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 24.303 \cdot (10 - 0.016253 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 258.78 \cdot (18 - 0.64142 - 3.8) \cdot 1$$

$$= 3662.1 \text{ mm}^2$$

$$A_r = (-11.554) \text{ mm}^2 \leq 3662.1 \text{ mm}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.096282 \cdot 183 / 160 = 0.13765 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.13555МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

 $E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20_1} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{lp} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_1 \cdot \phi_1 - p]} + c_s = 0.13555 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.13555) + 0 = 0.012784 \text{ mm}$$

Взам. инв. №	Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E=1.99·10 ⁵ МПа																
	Свойства материала штуцера Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$																
Подп. и дата	Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E ₁ =1.99·10 ⁵ МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.13555 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / (2 \cdot 254.55 \cdot 1 - 0.13555) + 0 = 0.012784 \text{ мм}$																
Инв. № подл.																	
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">90651-20600-AM-02-223 PP</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>167</td></tr></table>										90651-20600-AM-02-223 PP	Лист	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	167
					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист											
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		167											

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254.55 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (48 + 10 + 0) = 87.774 \text{ МПа}$$

87.774 МПа \geq 0.13555 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1414.2^2 / 3400^4)^{1/2} = 4715.9 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 0.58605 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (48 + 2 \cdot 0) / [1 - (2 \cdot 1414.2 / 4715.9)^2]^{1/2} = 59.987 \text{ мм}$$

Максимальный диаметр отверстия:

$$d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 2040 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0.58605 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 0.8) / 0.58605 - 0.8) \cdot (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2}; 2040 + 2 \cdot 0 \} = 2040 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 284.81 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 284.81 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 283; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0))^{1/2} \} = 27.386 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55 / 272.73 \} = 0.93333$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 113.92 \text{ мм}$$

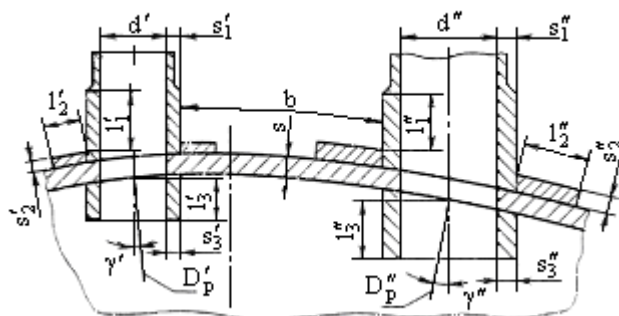
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}}{1} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (284.81 \cdot (18 - 0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (59.987 - 113.92) / 284.81 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / 4715.9 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 284.81] \} = 1.1597$$

Взам. инв. №	Для внешней части штуцера:					
	$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{\left[\frac{\sigma}{\sigma} \right]}{\left[\frac{\sigma}{\sigma} \right]} \right\} = \min \{ 1.0, 254.55 / 272.73 \} = 0.93333$					
Подп. и дата	Расчётная длина внутренней части штуцера:					
	$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 0) \cdot (10 - 0 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$					
Подп. и дата	Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:					
	$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 113.92 \text{ мм}$					
Инв. № подл.	$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$					
	$= \min \{ 1; [1 + (27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (284.81 \cdot (18 - 0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (59.987 - 113.92) / 284.81 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / 4715.9 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 284.81] \} = 1.1597 \}$					
Изм. Лист № док. Подп. Дата	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
						168

= 1

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 1 / [4715.9 + (18 - 0.8) \cdot 1] = 3.9643 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измеритель уровня (L3) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} + (4715.9 \cdot (18 - 0.8))^{1/2} = 569.61 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

K3=1

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left(0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left(\frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi \cdot l'_{1p}}{\varphi'_1 \cdot b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi \cdot l'_{1p}}{\varphi'_1 \cdot b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 24.303 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (332.26 \cdot (0.8 - 0.8))] / (1 \cdot (0.8 + (59.987 + 67.485) / (2 \cdot 332.26) + 2 \cdot [(48 + 2 \cdot 0) / 4715.9 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 332.26 + [(48 + 2 \cdot 0) / 4715.9 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 332.26] \cdot 1]) = 1.0899) \}$$

= 1

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 / [0.5 \cdot (4715.9 + 4715.9) + (18 - 0.8) \cdot 1] \cdot 1 = 3.9643 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 3.9643; 3.9643 \}$ МПа

3.9643 МПа \geq 0.13555 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (59.987 - 113.92) \cdot 0.58605 = (-15.804) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4 = 27.386 \cdot (10 - 0.012784 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 284.81 \cdot (18 - 0.58605 - 0.8) \cdot 1 = 4987 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-15.804) \text{ мм}^2 \leq 4987 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
										169
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

 $\varphi = 1$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3400 \text{ mm}$$

Нагрузки, приложенные к патрубку, **не передаются** на соседние элементы аппарата

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0.070000МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °C:

$E = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$E_1 = 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{tp} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_1 \cdot \varphi_1 - p]} + c_s = 0.070000 \cdot (600 + 2 \cdot 3.8) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0.070000) + 3.8 = 3.9202 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (10 - 3.8) / (600 + 10 + 3.8) = 3.5758 \text{ МПа}$$

$$3.5758 \text{ МПа} \geq 0.070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3400 \text{ mm}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$s_p = 0.67245 \text{ mm}$

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 3.8 = 607.6 \text{ mm}$$

Максимальный диаметр отверстия:

$$d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0.67245\text{mm}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18-3.8)/0.67245-0.8) \cdot (3400 \cdot (18-3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3.8 \} = 3407.6 \text{ mm}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №	Максимальный диаметр отверстия: $d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400\text{мм}$				
	Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления: $s_{\text{пр}} = s_p = 0.67245\text{мм}$ Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: $d_0 = \min\left\{2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_{\text{пр}}} - 0.8\right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s\right\} = \min\{2 \cdot ((18 - 3.8) / 0.67245 - 0.8) \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2}; 3400 + 2 \cdot 3.8\} = 3407.6\text{мм}$ $d_p < d_0$: Условие прочности выполнено.				
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
90651-20600-AM-02-223 PP					
Лист					
171					

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 219.73 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 2210 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 219.73 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{300; 1.25 \cdot ((600 + 2 \cdot 3.8) \cdot (10 - 3.8))^{1/2}\} = 76.721 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min\left\{1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\{1.0, 177/177\} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{0; 0.5 \cdot ((600 + 2 \cdot 3.8) \cdot (10 - 3.8 - 3))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

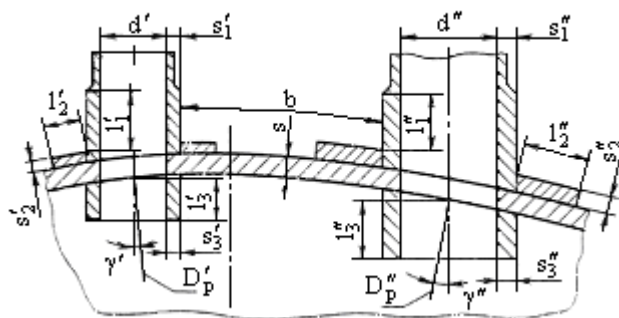
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 87.891 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (76.721 \cdot (10 - 3.8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3.8 - 3) \cdot 1) / (219.73 \cdot (18 - 3.8))] / [1 + 0.5 \cdot (607.6 - 87.891) / 219.73 + 1 \cdot (600 + 2 \cdot 3.8) / 3400 \cdot 1 / 1 \cdot 76.721 / 219.73]\} = 0.51334$$

$$= 0.51334$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 0.51334 / [3400 + (18 - 3.8) \cdot 0.51334] = 0.75733 \text{ МПа}$$



Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение температуры (Т1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} + (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 439.45 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 0.75733 \text{ МПа}$

$$0.75733 \text{ МПа} \geq 0.070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (607.6 - 87.891) \cdot 0.67245 = 174.74 \text{ мм}^2$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					172

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<p>Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:</p> $A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$ $= 76.721 \cdot (10 - 0.12017 - 3.8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3.8 - 3) \cdot 1 + 219.73 \cdot (18 - 0.67245 - 3.8) \cdot 1$ $= 3438.8 \text{ мм}^2$ $A_r = 174.74 \text{ мм}^2 \leq 3438.8 \text{ мм}^2$ <p>Заключение: Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{гг} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 196 / 177 = 0.096893 \text{ МПа}$ <p>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</p> <p>Условия нагружения при испытаниях:</p> <p>Расчётная температура, Т: 20 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.10517 МПа</p> <p>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</p> <p>Свойства материала элемента, несущего штуцер</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{20} = \frac{R_{e,20}}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:</p> $E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <p>Свойства материала штуцера</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{20} = \frac{R_{e,20}}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:</p> $E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> $s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0.10517 \cdot (600 + 2 \cdot 0.8) / (2 \cdot 272.73 \cdot 1 - 0.10517) + 0.8 = 0.91602 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 272.73 \cdot 1 \cdot (10 - 0.8) / (600 + 10 + 0.8) = 8.2158 \text{ МПа}$ $8.2158 \text{ МПа} \geq 0.10517 \text{ МПа}$ <p>Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.</p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> $D_p = D = 3400 \text{ мм}$ <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> $s_p = 0.65572 \text{ мм}$ <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):</p> $d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 0.8 = 601.6 \text{ мм}$ <p>Максимальный диаметр отверстия:</p> $d_{max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3400 \text{ мм}$ <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:</p> $s_{px} = s_p = 0.65572 \text{ мм}$							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
							173
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

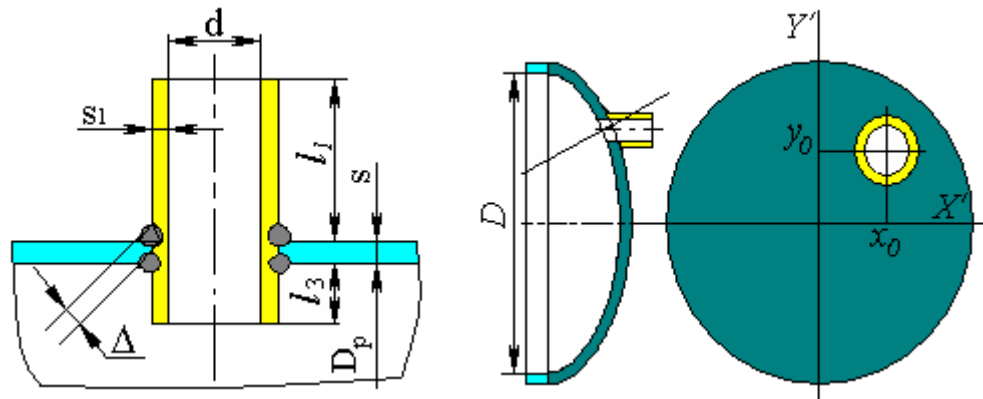
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР	
<p>Допускаемое давление [p] = 1.5708 МПа 1.5708 МПа ≥ 0.10517 МПа Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено. Площадь, необходимая для укрепления отверстия: $A_T = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (601.6 - 96.731) \cdot 0.65572 = 165.53 \text{ мм}^2$ Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия: $A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$ $= 92.995 \cdot (10 - 0.11602 - 0.8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0.8 - 0) \cdot 1 + 241.83 \cdot (18 - 0.65572 - 0.8) \cdot 1$ $= 4845.6 \text{ мм}^2$ $A_r = 165.53 \text{ мм}^2 \leq 4845.6 \text{ мм}^2$ Заключение: Условие прочности выполнено.</p>											
					90651-20600-AM-02-223 РР						Лист
											175
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							

Пропарка (U1)

Исходные данные

Элемент:	Пропарка (U1)
Условное обозначение (метка)	U1
Элемент, несущий штуцер:	Днище эллиптическое правое
Тип элемента, несущего штуцер:	Днище эллиптическое
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:	09Г2С Лист
Толщина стенки несущего элемента, s:	18 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	3.8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), cс:	3 мм
Длина штуцера, l1:	283 мм
Смещение штуцера, X0:	0 мм
Смещение штуцера, Y0:	-1500 мм
Смещение штуцера, Rш:	1500 мм
Угол поворота штуцера, φ:	180 °
Полученный угол наклона штуцера, γ:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, cс1:	3 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	10 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:
Продольный шов штуцера:
 $\varphi_l = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:
 $\varphi = 1$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1500^2 / 3400^4)^{1/2} = 4386.3 \text{ мм}$$

Нагрузки, приложенные к патрубку, **не передаются** на соседние элементы аппарата

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 100 °C

Взам. инв. №	Коэффициенты прочности сварных швов: Продольный шов штуцера: φ= 1					
Подп. и дата	Шов обечайки в зоне врезки штуцера: φ= 1 Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища : $D_F = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4}} \cdot R_{ш}^2 = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1500^2 / 3400^4)^{1/2} = 4386.3 \text{ мм}$ Нагрузки, приложенные к патрубку, не передаются на соседние элементы аппарата					
Инв. № подл.	Расчёт в рабочих условиях Условия нагружения: Расчётная температура, Т: 100 °С					
					90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						176
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
	Расчётное внутреннее избыточное давление, p:0.097175МПа						
	Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017						
Свойства материала элемента, несущего штуцер							
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):							
[σ]= 177 МПа							
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:							
E=1.91·10 ⁵ МПа							
Свойства материала штуцера							
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):							
[σ] ₁ = 160 МПа							
Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:							
E ₁ =1.91·10 ⁵ МПа							
Расчётная толщина стенки штуцера:							
$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0.097175 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.097175) + 3 = 3.0164 \text{ мм}$							
Допускаемое давление для патрубка штуцера:							
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 36.721 \text{ МПа}$							
36.721 МПа ≥ 0.097175 МПа							
Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено.							
Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :							
$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3400^2 / (2 \cdot 850) \cdot (1 - 4 \cdot (3400^2 - 4 \cdot 850^2) \cdot 1500^2 / 3400^4)^{1/2} = 4386.3 \text{ мм}$							
Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:							
s _p = 0.60212 мм							
Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):							
$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (48 + 2 \cdot 3) / [1 - (2 \cdot 1500 / 4386.3)^2]^{1/2} = 74.02 \text{ мм}$							
Максимальный диаметр отверстия:							
$d_{max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 2040 \text{ мм}$							
Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:							
s _{pn} = s _p = 0.60212мм							
Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:							
$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((18 - 3.8) / 0.60212 - 0.8) \cdot (4386.3 \cdot (18 - 3.8))^{1/2}; 2040 + 2 \cdot 3 \} = 2046 \text{ мм}$							
d _p < d ₀ : Условие прочности выполнено.							
Ширина зоны укрепления:							
$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4386.3 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 249.57 \text{ мм}$							
Расчётная ширина зоны укрепления:							
l _p = L ₀ = 249.57мм							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							177
			Изм.	Лист	№ док.		Подп.

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 283; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2} \} = 24.303 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 160 / 177 \} = 0.90395$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 3))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (4386.3 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} = 99.829 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24.303 \cdot (10 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395) / (249.57 \cdot (18 - 3.8))] / [1 + 0.5 \cdot (74.02 - 99.829) / 249.57 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 4386.3 \cdot 1 / 1 \cdot 24.303 / 249.57] \} = 1.0975$$

= 1

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 3.8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 1 / [4386.3 + (18 - 3.8) \cdot 1] = 2.2846 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 2.2846 \text{ МПа}$

$$2.2846 \text{ МПа} \geq 0.097175 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (74.02 - 99.829) \cdot 0.60212 = (-7.7701) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 24.303 \cdot (10 - 0.016403 - 3) \cdot 0.90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 3) \cdot 0.90395 + 249.57 \cdot (18 - 0.60212 - 3.8) \cdot 1$$

$$= 3547.1 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-7.7701) \text{ мм}^2 \leq 3547.1 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{гп} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_h} = 1.25 \cdot 0.097175 \cdot 183 / 160 = 0.13893 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.13653 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

178

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot \sqrt{4386.3 \cdot (18 - 0.8)} = 109.87 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{1; [1 + (27.386 \cdot (10 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333) / (274.67 \cdot (18 - 0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (65.795 - 109.87) / 274.67 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 0) / 4386.3 \cdot 1 / 1 \cdot 27.386 / 274.67] = 1.1433\}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (18 - 0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 1 / [4386.3 + (18 - 0.8) \cdot 1] = 4.261 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 4.261 \text{ МПа}$

$$4.261 \text{ МПа} \geq 0.13653 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (65.795 - 109.87) \cdot 0.54903 = (-12.099) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

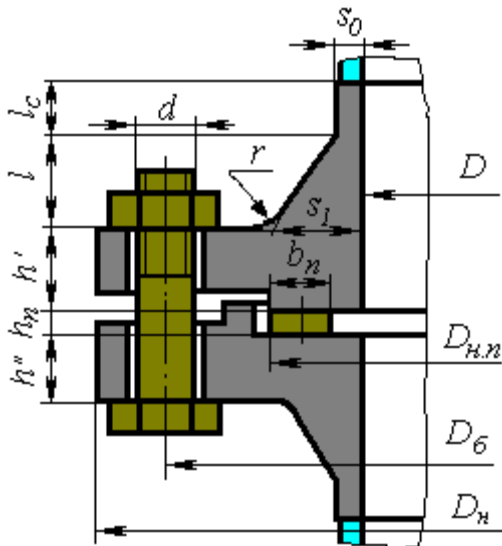
$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$
$$= 27.386 \cdot (10 - 0.012876 - 0) \cdot 0.93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0 - 0) \cdot 0.93333 + 274.67 \cdot (18 - 0.54903 - 0.8) \cdot 1$$
$$= 4828.8 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-12.099) \text{ мм}^2 \leq 4828.8 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
									180
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

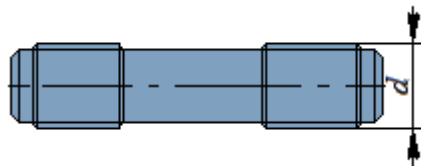
Фланцевое соединение D1



Эскиз элемента

Исходные данные

Тип фланцев: Приварные встык
Исполнение: Выступ-впадина
Диаметр болтовой окружности, Dб: 125 мм
Шпильки:



Крепеж

Материал: 35 Крепеж
Наружный диаметр, d: 16мм
Количество, n: 4
Контроль затяжки: Без контроля затяжки

Прокладка:

Материал прокладки: Прокладка ТРГ универсальная
Толщина, hп: 2 мм
Наружный диаметр, Dн.п.: 87 мм
Ширина, bп: 15 мм

Закладная деталь:

Материал: 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ
8479 Поковка
Толщина, sпл: 11 мм

Данные первого фланца (кольца):

Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП
245 ГОСТ 8479
Поковка
Наружный диаметр фланца (кольца), Dн: 160 мм
Толщина фланца (кольца) с выступом, h': 20 мм
Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 48 мм
Сумма прибавок, с: 3 мм
Длина конической части втулки, l: 20 мм

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
										181
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div><div><div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ док.</div></div><div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div></div><div>90651-20600-AM-02-223 РР</div><div>изм.0.docx</div><div>Формат А4</div></div> <div><div><div>Взам. инв. №</div><div>Подп. и дата</div><div>Инв. № подл.</div></div><div><div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: E²⁰₁=1.99·10⁵ МПа</div><div><div>Свойства материала фланца (кольца)2</div><div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °C (рабочие условия): [σ]_{ф2}= 144 МПа</div><div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °C: E₂=1.91·10⁵ МПа</div><div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °C: α₂=0.116·10⁻⁴/°C</div><div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °C (рабочие условия): [σ]²⁰_{ф2}= 164.5 МПа</div><div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: E²⁰₂=1.99·10⁵ МПа</div><div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °C: α_p=0.116·10⁻⁴/°C</div><div><div>Расчётные параметры болтов (шпилек):</div><div>Рабочая длина болта (шпильки): L_{б0} = h^I + h^{II} + 2 · h_п + s_{пр} + h^I_ш + h^{II}_ш = 20 + 17 + 2 · 2 + 11 + 0 + 0= 52 мм</div><div>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): f_б= 144 мм²</div><div>Эффективная длина шпильки: L_б = L_{б0} + 0.56 · d = 52 + 0.56 · 16= 60.96 мм</div><div>Податливость шпилек: $y_{б} = \frac{L_{б}}{E_{б}^{20} \cdot f_{б} \cdot n} = 60.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.49687 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$</div><div><div>Расчётные параметры первого фланца:</div><div>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2.8$</div><div>$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2} = 1.291$</div><div>$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$</div><div>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык: s₃ = κ · s₀ = 2.0369 · 5= 10.185мм</div><div>$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$</div><div>β_F = 0.65336</div><div>$K = \frac{D_{\kappa}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$</div><div>$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$</div></div></div></div></div></div>					

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
e = 0.5 · (D _{ст} - D - s _з) = 0.5 · (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 мм					
Характеристики прокладки					
Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _п , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000
Эффективная ширина прокладки : b ₀ = 15 мм					
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$					
Рабочий наружный диаметр прокладки: D _{тпф} = min{D ₄ ; D _{кп} } = min{87; 87} = 87 мм					
Средний эффективный диаметр прокладки: D _{ст} = D _{тпф} - b ₀ = 87 - 15 = 72 мм					
Податливость прокладок (п. 3.3): $y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 0.58946 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$					
Расчёт нагрузок:					
Равнодействующая давления: Q _д = 0.785 · D _{ст} ² · p = 0.785 · 72 ² · 0.1021 = 415.49 Н					
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: R _п = π · D _{ст} · b ₀ · m · p = 3.1416 · 72 · 15 · 3 · 0.1021 = 1039.3 Н					
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: P _{обж} = 0.5 · π · D _{ст} · b ₀ · q _{обж} = 0.5 · 3.1416 · 72 · 15 · 20 = 33929 Н					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки) $\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^{1/2} + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^{1/2} = 0.58946 \cdot 10^{-6} + 0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.16415 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$					
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой: $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ = 1 - (0.58946 · 10 ⁻⁶ - (0.20475 · 10 ⁻⁴ · 6.9076 · 26.5 + 0.2482 · 10 ⁻⁴ · 6.9076 · 26.5)) / 0.16415 · 10 ⁻⁵ = 0.72906					
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}' \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y_{\text{фМ}}'' \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}' \cdot b'^{1/2} + y_{\text{фМ}}'' \cdot b''^{1/2}}$ = [0.49687 · 10 ⁻⁶ + 0.13622 · 10 ⁻⁴ · 26.5 · (26.5 + 6.9076 - 6.9076 ² / 72)] + 0.22181 · 10 ⁻⁴ · 26.5 · (26.5 + 6.9076 - 6.9076 ² / 72)] / [0.49687 · 10 ⁻⁶ + 0.58946 · 10 ⁻⁶ · (125 / 72) ² + 0.13622 · 10 ⁻⁴ · 26.5 ² + 0.13622 · 10 ⁻⁴ · 26.5 ²] = 0.3831					
P _{б1} = α · (Q _д + F) + R _п + $\frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot M }{D_{\text{ст}}}$ = 0.72906 · (415.49 + 0) + 1039.3 + 4 · 0.3831 · 0 / 72 = 1342.2 Н					
90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					185
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					PP	
<p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)</p> $P_{б1} = \alpha \cdot (Q_{д} + F) + R_{п} + \frac{4 \cdot \alpha_{м} \cdot M }{D_{ст}} = 0.72906 \cdot (415.49 + 0) + 1039.3 + 4 \cdot 0.3831 \cdot 0 / 72 = 1342.2 \text{ Н}$ <p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> $A_{б} = n \cdot f_{б} = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{б2} = \max \{ P_{обж}; 0.4 \cdot A_{б} \cdot [\sigma]_{б}^{20} \} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$ <p>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</p> <p>Расчёт болтов(шпилек):</p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$</p> <p>Коэффициент условий работы: $K_{ур} = 1$</p> <p>Коэффициент условий затяжки: $K_{уз} = 1$</p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{ут} = 1$</p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:</p> $[\sigma]_{б}^м = \xi \cdot K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_{б}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки:</p> $P_{б}^м = \max \{ P_{б1}; P_{б2} \} = \max \{ 1342.2; 33929 \} = 33929 \text{ Н}$ <p>Условие прочности при затяжке:</p> $\sigma_{б1} = \frac{P_{б}^м}{A_{б}} \leq [\sigma]_{б}^м$ $\sigma_{б1} = \frac{33929}{576} = 58.905 \text{ МПа}$ <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> $M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_{б}^м \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н·м}$ <p>При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 30.536 \text{ Н·м}$</p> <p>$58.905 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.</p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> $[\sigma]_{б}^р = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_{б} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{б}^р = P_{б}^м + (1 - \alpha) \cdot (Q_{д} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{м}) \cdot M }{D_{ст}} = 33929 + (1 - 0.72906) \cdot (415.49 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.3831) \cdot 0 / 72 = 34042 \text{ Н}$ <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> $\sigma_{б2} = \frac{P_{б}^р}{A_{б}} \leq [\sigma]_{б}^р$ $\sigma_{б2} = \frac{34042}{576} = 59.1 \text{ МПа}$ <p>$59.1 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчёт прокладки:</p> <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{б}^р = P_{б}^м + (1 - \alpha) \cdot (Q_{д} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{м}) \cdot M }{D_{ст}} = 33929 + (1 - 0.72906) \cdot (415.49 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.3831) \cdot 0 / 72 = 34042 \text{ Н}$ <p>Условие прочности мягких прокладок:</p>											
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 PP					Лист			
								186			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 PP изм.0.docx

Формат А4

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{фл}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{фл}}} = \max\{33929; 34042\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10.033 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 20 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.217$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.217 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1094.2 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1} = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1094.2 / (2.4537 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 59.443 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1094.2 = 49.282 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1094.2 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.282 = 38.099 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max\{59.443 + 49.282; |59.443 + 38.099|\} = 108.73 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

$108.73 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{фл}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 59.443 + 49.282; 59.443 + 38.099 \} = 108.73 \text{ МПа}$ Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_{\text{М}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$ $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{М}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$ $108.73 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{от}}} = 0 + 4 \cdot 10 / 72 = 0.56 \text{ Н}$				
Подп. и дата						
Изм. № подл.						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						187

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.217 \cdot \max \{ 34042 \cdot 26.5 + (415.49 + 0) \cdot 6.9076; |415.49 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1101.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1101.4 / (2.4537 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 59.83 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1101.4 = 49.603 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1101.4 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.603 = 38.347 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.1021 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.086188 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 109.35 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

109.35 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.1021 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.086188 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 109.35 \text{ МПа}$$

109.35 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 59.443 = 59.443 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

59.443 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 59.83 = 59.83 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

Взам. инв. №	$\sigma_0 = 1 \cdot \sigma_1 = 1 \cdot 59.443 = 59.443 \text{ МПа}$ Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2): $\sigma_0^m \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$ Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ $59.443 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_0^p = f \cdot \sigma_1^p = 1 \cdot 59.83 = 59.83 \text{ МПа}$ Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):				
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
					Лист
90651-20600-AM-02-223 РР					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	188

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
<div><div><div><div><div><div></div><div>0.785 · D² · p + F + $\frac{4 \cdot M}{D + s_0}$</div><div></div></div><div><div></div><div>$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.1021 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)}$</div><div></div></div><div><div></div><div>$= (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.1021 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.55453 \text{ МПа}$</div><div></div></div></div></div><div>Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s₀:</div><div><div><div><div><div></div><div>$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)}$</div><div></div></div><div><div></div><div>$= 0.1021 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 3)) = 1.2252 \text{ МПа}$</div><div></div></div></div></div><div>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₀:</div><div><div><div><div><div>$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$</div><div>$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 59.83 \pm 0.55453; 0.3 \cdot 59.83 \pm 1.2252 ; 0.7 \cdot 59.83 \pm (0.55453 - 1.2252) \}$</div><div>$= 60.385 \text{ МПа}$</div></div></div></div><div>Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</div><div><div><div>$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$</div><div>$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561.6 \text{ МПа}$</div></div></div><div>60.385 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.</div><div>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (–):</div><div><div><div><div><div>$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)}$</div><div>$= (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.1021 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.55453 \text{ МПа}$</div><div></div></div><div><div>$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$</div><div>$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 59.83 \pm 0.55453; 0.3 \cdot 59.83 \pm 1.2252 ; 0.7 \cdot 59.83 \pm (0.55453 - 1.2252) \}$</div><div>$= 60.385 \text{ МПа}$</div></div></div></div><div>60.385 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.</div><div>Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</div><div>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₀:</div><div><div><div><div>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$</div><div>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 1.2252; 0.55453 \} = 1.2252 \text{ МПа}$</div></div></div><div>1.2252 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</div><div>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</div><div><div><div><div>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$</div><div>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 49.282; 38.099 \} = 49.282 \text{ МПа}$</div><div>$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$</div></div></div><div>49.282 МПа ≤ 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.</div><div>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</div><div><div><div><div>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$</div><div>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 49.603; 38.347 \} = 49.603 \text{ МПа}$</div><div>$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$</div></div></div><div>49.603 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</div><div>Жёсткость фланца:</div><div>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</div><div><div><div>$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1101.4 \cdot 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.023495^\circ$</div><div>Допускаемый угол поворота фланца:</div><div>$[\varpi] = 0.34377^\circ$</div></div></div><div>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K_ϖ = 1</div></div></div></div></div></div></div></div></div>						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР			Лист
						189
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot F_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибающее напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.028 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{М}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{75.028 + 79.267; |75.028 + 45.029|\} = 154.29 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{М}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{М}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

$154.29 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ F_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_d + Q_{\text{FM}}| \cdot e \right\} = 1.2671 \cdot \max \{34042 \cdot 26.5 + (415.49 + 0) \cdot 6.9076; |415.49 + 0| \cdot 6.9076\} = 1146.7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	[$\sigma_{\text{н}}^{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{т}} \cdot [\sigma_{\text{н}}^{\text{н}}]_{\text{н}}^{\text{н}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$]					
			154.29 МПа ≤ 296.1 МПа, Условие прочности выполнено.					
Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:								
$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{н}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$								
$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot M }{D_{\text{н}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$								
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:								
$M^P = C_F \cdot \max \{ F_6^P \cdot b + (Q_{\text{н}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; Q_{\text{н}} + Q_{\text{FM}} \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 34042 \cdot 26.5 + (415.49 + 0) \cdot 6.9076; 415.49 + 0 \cdot 6.9076 \} = 1146.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$								
					90651-20600-AM-02-223 PP			Лист
								190
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :				
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 75.517 \pm 0.55453; 0.3 * 75.517 \pm 1.2252 ; 0.7 * 75.517 \pm (0.55453 - 1.2252) \}$ <div>76.071 МПа</div>				
	Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): [σ] _R =3·[σ] _ф =3* 144= 432 МПа 1.3·[σ] _R =1.3 * 432= 561.6 МПа 76.071 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.				
Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (–): $\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 * 48^2 * 0.1021 + 0 - 4 * 0 / (48 + 5)) / (3.1416 * (48 + 5) * (5 - 3)) = 0.55453 \text{ МПа}$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 75.517 \pm 0.55453; 0.3 * 75.517 \pm 1.2252 ; 0.7 * 75.517 \pm (0.55453 - 1.2252) \}$ <div>76.071 МПа</div>					
76.071 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.					
Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):					
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :					
$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 1.2252; 0.55453 \} = 1.2252 \text{ МПа}$					
1.2252 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
Условие статической прочности при затяжке для тарелок:					
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 79.267; 45.029 \} = 79.267 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$					
79.267 МПа ≤ 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.					
Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 79.783; 45.322 \} = 79.783 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 * 144 = 144 \text{ МПа}$					
79.783 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
Взам. инв. №	Жёсткость фланца:				
	Угол поворота фланца в рабочих условиях:				
	$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1146.7 * 0.2482 \cdot 10^{-4} * 1.99 \cdot 10^6 / 1.91 \cdot 10^6 = 0.029655^{\circ}$				
	Допускаемый угол поворота фланца: [ϖ] = 0.34377 °				
Подп. и дата	Условие выполнения жесткости фланцев:				
	$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 * 0.34377 = 0.34377^{\circ}$				
	Условие жёсткости выполнено.				
	Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:				
Инв. № подл.	$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} \leq 120^{\circ} \text{C}$ $\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100^{\circ} \text{C}$				
	90651-20600-AM-02-223 РР				
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
	Лист 192				

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			PP			
<p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}^I \cdot h^I \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}C) + \alpha_{\Phi}^{II} \cdot h^{II} \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}C) + \alpha_P \cdot s_{pn} \cdot (t_P - 20^{\circ}C)}{\alpha_{\Phi} \cdot (h^I + h^{II} + s_{pn}) \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}C)}$ <p>= [0.116·10⁻⁴ · 20 · (100 – 20°C) + 0.116·10⁻⁴ · 17 · (100 – 20°C) + 0.116·10⁻⁴ · 11 · (100 – 20°C)] / [0.111·10⁻⁴ · (20 + 17 + 11) · (97 – 20°C)]</p> <p>= 1.0858</p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при T_{max} < 120°C допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> <p>δ_t > 1</p> <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.1021 \cdot 164.5 / 144 = 0.1458 \text{ МПа}$ <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.1021 \cdot 164.5 / 144 = 0.1458 \text{ МПа}$ <p>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</p> <p>Условия нагружения:</p> <p>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н</p> <p>Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.14194 МПа</p> <p>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), t_б: 20 °С</p> <p>Свойства материала болтов (шпилек)</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> <p>[σ]^{20_б}= 130 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20_б}=2.13·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20_б}=0.111·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца) 1</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\Phi 1}^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20₁}=1.99·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20₁}=0.116·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца)2</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p>								
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист		
			90651-20600-AM-02-223 PP					
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	193

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div>$[\sigma]^{20}_{\phi 2} = \frac{R_{eH20}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$<p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $E^{20}_2=1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p><p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $\alpha^{20}_2=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p><p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $\alpha^{20}_p=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p><p>Расчётные параметры первого фланца:</p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5=2.8$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2}=1.291$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$<p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p>$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$$\beta_F = 0.65336$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.333^2) \cdot (3.333 - 1)) = 1.1307$$\beta_V = 0.074265$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / (1.36 \cdot (3.333^2 - 1) \cdot (3.333 - 1)) = 1.8633$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 20^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.4537$<p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p>$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.4537 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.20475 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$<p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p>$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 20^3) = 0.13622 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$<p>Плечи моментов:</p>$a = 0$$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$<p>Расчётные параметры второго фланца:</p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5=2.8$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2}=1.291$</div>							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							194
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> $R_{\pi} = \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 0.14194 = 1444.8 \text{ Н}$ <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> $P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$ <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> $L_{\epsilon 0} = h' + h'' + 2 \cdot h_{\pi} + s_{\pi} + h_{ш} + h_{ш}'' = 20 + 17 + 2 \cdot 2 + 11 + 0 + 0 = 52 \text{ мм}$ <p>Эффективная длина шпильки:</p> $L_{\epsilon} = L_{\epsilon 0} + 0.56 \cdot d = 52 + 0.56 \cdot 16 = 60.96 \text{ мм}$ <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> $f_{\epsilon} = 144 \text{ мм}^2$ <p>Податливость шпилек:</p> $y_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{E_{\epsilon}^{20} \cdot f_{\epsilon} \cdot n} = 60.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.49687 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ $\eta = y_{\pi} + y_{\epsilon} + y_{\Phi}' \cdot b'^2 + y_{\Phi}'' \cdot b''^2 = 0.58946 \cdot 10^{-6} + 0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.16415 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$ <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:</p> $\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi}' \cdot e' \cdot b' + y_{\Phi}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0.58946 \cdot 10^{-6} - (0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5 + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5)) / 0.16415 \cdot 10^{-5}$ $= 0.72906$ <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $\alpha_M = \frac{y_{\epsilon} + y_{\Phi M}' \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\pi}} \right) + y_{\Phi M}'' \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\pi}} \right)}{y_{\epsilon} + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\epsilon}}{D_{\pi}} \right)^2 + y_{\Phi M}' \cdot b'^2 + y_{\Phi M}'' \cdot b''^2}$ $= [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72) + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.58946 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2]$ $= 0.3831$ $P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\pi}} = 0.72906 \cdot (577.63 + 0) + 1444.8 + 4 \cdot 0.3831 \cdot 0 / 72 = 1865.9 \text{ Н}$ <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</p> $P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\pi}} = 0.72906 \cdot (577.63 + 0) + 1444.8 + 4 \cdot 0.3831 \cdot 0 / 72 = 1865.9 \text{ Н}$ <p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> $A_{\epsilon} = n \cdot f_{\epsilon} = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{\epsilon 2} = \max \{ P_{обж}; 0.4 \cdot A_{\epsilon} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} \} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 \} = 29952 = 33929 \text{ Н}$ <p>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</p> <p>Расчёт болтов(шпилек):</p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$</p> <p>Коэффициент условий работы: $K_{yp} = 1.35$</p> <p>Коэффициент условий затяжки: $K_{y3} = 1$</p>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.			90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						196
			Изм.	Лист		№ док.

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{\text{ут}} = 1$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:

$$[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1.2 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210.6 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_6^M = \max\{P_{b1}; P_{b2}\} = \max\{1865.9; 33929\} = 33929 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 33929 / 576 = 58.905 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{\text{кр}} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н·м}$$

При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{\text{кр}} = 30.536 \text{ Н·м}$

$58.905 \text{ МПа} \leq 210.6 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_6 = 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175.5 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 33929 + (1 - 0.72906) \cdot (577.63 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.3831) \cdot |0| / 72 = 34086 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 34086 / 576 = 59.177 \text{ МПа}$$

$59.177 \text{ МПа} \leq 175.5 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 33929 + (1 - 0.72906) \cdot (577.63 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.3831) \cdot |0| / 72 = 34086 \text{ Н}$$

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} = \max\{33929; 34086\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10.046 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 20 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.217$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.217 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1094.2 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 0.44314 / (1 + 1.8); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1094.2 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 36.697 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1094.2 = 49.282 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1094.2 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.282 = 38.099 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 36.697 + 49.282; | 36.697 + 38.099 | \} = 85.979 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

85.979 МПа \leq 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сн}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сн}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = 1.217 \cdot \max \{ 34086 \cdot 26.5 + (577.63 + 0) \cdot 6.9076; |577.63 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1104.1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1104.1 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 37.029 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1104.1 = 49.728 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1104.1 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.728 = 38.444 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист					

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.094146 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |37.029 - 0.094146 + 49.728|; |37.029 - 0.094146 + 38.444|; |37.029 + 0.094146| \} = 86.663 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

86.663 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.094146 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |37.029 - 0.094146 + 49.728|; |37.029 - 0.094146 + 38.444|; |37.029 + 0.094146| \} = 86.663 \text{ МПа}$$

86.663 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 36.697 = 36.697 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

36.697 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 37.029 = 37.029 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.30837 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.14194 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.68133 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |37.029 \pm 0.30837|; |0.3 \cdot 37.029 \pm 0.68133|; |0.7 \cdot 37.029 \pm (0.30837 - 0.68133)| \} = 37.338 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

37.338 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

199

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT	МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	РР	
	$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.30837 \text{ МПа}$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right \right\} = \frac{\max\{ 37.029 \pm 0.30837 ; 0.3 \cdot 37.029 \pm 0.68133 ; 0.7 \cdot 37.029 \pm (0.30837 - 0.68133) \}}{37.029 \pm (0.30837 - 0.68133)}$ $37.338 \text{ МПа} \leq 868.64 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$ <p>Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₀:</p> $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$ $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max\{ 0.68133 ; 0.30837 \} = 0.68133 \text{ МПа}$ $0.68133 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$ <p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{ 49.282 ; 38.099 \} = 49.282 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ $49.282 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$ <p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{ 49.728 ; 38.444 \} = 49.728 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ $49.728 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$ <p>Жёсткость фланца:</p> <p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p> $\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1104.1 \cdot 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.022607^\circ$ <p>Допускаемый угол поворота фланца:</p> $[\varpi] = 0.34377^\circ$ <p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K_ϖ = 1.3</p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p> $\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^\circ$ <p>Условие жёсткости выполнено.</p> <p>Расчёт второго фланца:</p> <p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p> $C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\pi \cdot D_\Phi}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$ <p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p> $M^M = C_F \cdot P_\Phi^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н·м}$ $f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$ $D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$			
	Взам. инв. №		Подп. и дата	
	Инв. № подл.			
90651-20600-AM-02-223 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	
		Дата		

Лист

200

90651-20600-AM-02-223 РР

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^m = \frac{M^m}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.319 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^m = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^m = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (172 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |46.319 + 79.267|; |46.319 + 45.029| \} = 125.59 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_s \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{нр}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

$125.59 \text{ МПа} \leq 400.91 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0 + 4 \cdot |0|/72 = 0 \text{ H}$$

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ H}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\pi} + Q_{EM}) \cdot e; |Q_{\pi} + Q_{EM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 34086 \cdot 26.5 + (577.63 + 0) \cdot 6.9076; |577.63 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1149.6 \text{ H-M}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1149.6 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.738 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^p = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^p = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1149.6 = 79.984 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1149.6 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.984 = 45.437 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{lim}}^+ = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.094146 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{lim}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{br}}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	<p>Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 * 0.65336 * 17 + 15.492) / (2.0242 * 17^2 * 15.492 * 48) * 1149.6 = 79.984 \text{ МПа}$ <p>Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 * 1149.6 / (17^2 * 48) - 1.1978 * 79.984 = 45.437 \text{ МПа}$ <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):</p> $\sigma_{lmm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 * 48^2 * 0.14194 + 0 + 4 * 0 / (48 + 14)) / (3.1416 * (48 + 14) * (14 - 0)) = 0.094146 \text{ МПа}$ <p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):</p> $\max \left\{ \left \sigma_1^P - \sigma_{lmm}^{P+} + \sigma_R^P \right , \left \sigma_1^P - \sigma_{lmm}^{P+} + \sigma_T^P \right , \left \sigma_1^P + \sigma_{lmm}^{P+} \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$				
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 46.738 - 0.094146 + 79.984; 46.738 - 0.094146 + 45.437; 46.738 + 0.094146 \} = 126.63 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

126.63 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₁ (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.094146 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ 46.738 - 0.094146 + 79.984; 46.738 - 0.094146 + 45.437; 46.738 + 0.094146 \} = 126.63 \text{ МПа}$$

126.63 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S₀:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 46.319 = 46.319 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S₀ (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

46.319 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 46.738 = 46.738 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.30837 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.14194 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.68133 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 46.738 \pm 0.30837; 0.3 \cdot 46.738 \pm 0.68133; 0.7 \cdot 46.738 \pm (0.30837 - 0.68133) \} = 47.046 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_F = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

47.046 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.14194 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.30837 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 46.738 \pm 0.30837; 0.3 \cdot 46.738 \pm 0.68133; 0.7 \cdot 46.738 \pm (0.30837 - 0.68133) \} = 47.046 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

202

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<p>47.046 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₀:</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max\{0.68133; 0.30837\} = 0.68133 \text{ МПа}$</p> <p>0.68133 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{79.267; 45.029\} = 79.267 \text{ МПа}$</p> <p>$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$</p> <p>79.267 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$</p> <p>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{79.984; 45.437\} = 79.984 \text{ МПа}$</p> <p>$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$</p> <p>79.984 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Жёсткость фланца:</p> <p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p> <p>$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1149.6 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.028534^{\circ}$</p> <p>Допускаемый угол поворота фланца:</p> <p>$[\varpi] = 0.34377^{\circ}$</p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p> <p>$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^{\circ}$</p> <p>Условие жёсткости выполнено.</p>					
				Лист	
				203	
Изм.		Лист	№ док.	Подп.	Дата
				90651-20600-AM-02-223 РР	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<div>Длина конической части втулки, l: 20 мм</div> <div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 8 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 5 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 14 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Данные второго фланца (кольца):</div> <div>09Г2С Gr.КП</div> <div>Материал фланца (кольца): 245 ГОСТ 8479</div> <div>Поковка</div> <div>Наружный диаметр фланца (кольца), D_н: 160 мм</div> <div>Толщина фланца (кольца) с выступом, h': 20 мм</div> <div>Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 48 мм</div> <div>Сумма прибавок, с: 3 мм</div> <div>Длина конической части втулки, l: 20 мм</div> <div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 8 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 5 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 14 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Расчёт в рабочих условиях</div> <div>Условия нагружения:</div> <div>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н</div> <div>Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м</div> <div>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.097175 МПа</div> <div>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</div> <div>Расчётная температура элементов соединения:</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура болтов (шпилек), t_б: 97 °С</div> <div>Свойства материала болтов (шпилек)</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]₆= 126 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>E₆=2.1011·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>α₆=0.111·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]²⁰₆= 130 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</div> <div>E²⁰₆=2.13·10⁵ МПа</div> <div>Свойства материала фланца (кольца) 1</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]_{ф1}= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>E₁=1.91·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>α₁=0.116·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]_{ф2}= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</div> <div>E²⁰₁=2.13·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</div> <div>α₂=0.116·10⁻⁴/°С</div>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР			205
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<div><div>$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$$\beta_V = 0.074265$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 17^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.0242$<p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p>$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.0242 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$<p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p>$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$<p>Плечи моментов:</p>$a = 0$$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$<p>Расчётные параметры второго фланца:</p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2.8$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20 / (48 \cdot 5)^{1/2} = 1.291$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$<p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p>$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$$1_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$$\beta_F = 0.65336$$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$$\beta_V = 0.074265$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 20^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.4537$<p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p>$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.4537 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.20475 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$<p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p>$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 20^3) = 0.13622 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$</div></div>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				
			90651-20600-AM-02-223 РР			
Изм.			Лист	№ док.	Подп.	Дата

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Плечи моментов: $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$ $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_2) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$					
Характеристики прокладки					
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{\text{обж}}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия K
Прокладка ТРГ универсальная		3	20	70	1
					Условный модуль сжатия E_n , МПа
					2000
Эффективная ширина прокладки : $b_0 = 15 \text{ мм}$					
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$					
Рабочий наружный диаметр прокладки: $D_{\text{тпф}} = \min\{D_4; D_{\text{нп}}\} = \min\{87; 87\} = 87 \text{ мм}$					
Средний эффективный диаметр прокладки: $D_{\text{ст}} = D_{\text{тпф}} - b_0 = 87 - 15 = 72 \text{ мм}$					
Податливость прокладок (п. 3.3): $y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 0.58946 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$					
Расчёт нагрузок:					
Равнодействующая давления: $Q_d = 0.785 \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 72^2 \cdot 0.097175 = 395.45 \text{ Н}$					
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: $R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot m \cdot [p] = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot [0.097175] = 989.12 \text{ Н}$					
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: $P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки) $\eta = y_{\text{п}} + y_6 + y'_{\text{ф}} \cdot b'^2 + y''_{\text{ф}} \cdot b''^2 = 0.58946 \cdot 10^{-6} + 0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.16415 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$					
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой: $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y'_{\text{ф}} \cdot e' \cdot b' + y''_{\text{ф}} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0.58946 \cdot 10^{-6} - (0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5)) / 0.16415 \cdot 10^{-5} = 0.72906$					
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\text{фМ}} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y''_{\text{фМ}} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_6 + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y'_{\text{фМ}} \cdot b'^2 + y''_{\text{фМ}} \cdot b''^2}$ $= [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.58946 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2] = 0.3831$					
		90651-20600-AM-02-223 РР			Лист
					208
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
<p>Расчёт прокладки:</p> <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 33929 + (1 - 0.72906) \cdot (395.45 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.3831) \cdot 0 / 72 = 34036 \text{ Н}$ <p>Условие прочности мягких прокладок:</p> $q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} \leq [q]$ $q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} = \max\{33929; 34036\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10.032 \text{ МПа}$ <p>[q] = 70 МПа</p> <p>Условие работоспособности выполнено.</p> <p>Расчёт первого фланца:</p> <p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p> $C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$ <p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p> $M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н·м}$ $f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0\right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$ $D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$ <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s1:</p> $\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.028 \text{ МПа}$ <p>Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$ $\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1}\right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$ $\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$ <p>Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$ <p>Условие статической прочности при затяжке в сечении s1 (п. 8.5.1):</p> $\max\left\{ \sigma_1^M + \sigma_R^M ; \sigma_1^M + \sigma_T^M \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$ $\max\left\{ \sigma_1^M + \sigma_R^M ; \sigma_1^M + \sigma_T^M \right\} = \max\{ 75.028 + 79.267 ; 75.028 + 45.029 \} = 154.29 \text{ МПа}$ <p>Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p> $[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$ <p>Коэффициент учета размеров тарелки фланца: K_S = 1.2</p> $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$				
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				210
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

154.29 МПа ≤ 296.1 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_E^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 34036 \cdot 26.5 + (395.45 + 0) \cdot 6.9076; |395.45 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1146.4 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S1:

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1146.4 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.493 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1146.4 = 79.758 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1146.4 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.758 = 45.308 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.082030 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} = \frac{\max \{ |75.493 - 0.082030 + 79.758|; |75.493 - 0.082030 + 45.308|; |75.493 + 0.082030| \}}{0.082030} = 155.17 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

155.17 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S1 (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.082030 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} = \frac{\max \{ |75.493 - 0.082030 + 79.758|; |75.493 - 0.082030 + 45.308|; |75.493 + 0.082030| \}}{0.082030} = 155.17 \text{ МПа}$$

155.17 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S0:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 75.028 = 75.028 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

75.028 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S0:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
							211
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 75.493 = 75.493 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.52778 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.097175 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 3)) = 1.1661 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |75.493 \pm 0.52778|; |0.3 \cdot 75.493 \pm 1.1661|; |0.7 \cdot 75.493 \pm (0.52778 - 1.1661)| \} = 76.021 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561.6 \text{ МПа}$$

76.021 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.52778 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |75.493 \pm 0.52778|; |0.3 \cdot 75.493 \pm 1.1661|; |0.7 \cdot 75.493 \pm (0.52778 - 1.1661)| \} = 76.021 \text{ МПа}$$

76.021 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ |1.1661|; |0.52778| \} = 1.1661 \text{ МПа}$$

1.1661 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |79.267|; |45.029| \} = 79.267 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$$

79.267 МПа ≤ 164.5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ |79.758|; |45.308| \} = 79.758 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$$

79.758 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\omega = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1146.4 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.029645^\circ$$

Взам. инв. №		$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$ 79.267 МПа \leq 164.5 МПа, Условие прочности выполнено. Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{79.758; 45.308 \} = 79.758 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$ 79.758 МПа \leq 144 МПа, Условие прочности выполнено. Жёсткость фланца: Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1146.4 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.029645^\circ$					
		Подп. и дата		Инв. № подл.			
90651-20600-AM-02-223 PP							Лист
							212

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.217 \cdot \max \{ 34036 \cdot 26.5 + (395.45 + 0) \cdot 6.9076; |395.45 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1101 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1101 / (2.4537 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 59.812 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1101 = 49.587 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1101 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.587 = 38.335 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.082030 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 109.32 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

109.32 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.097175 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.082030 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 109.32 \text{ МПа}$$

109.32 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 59.443 = 59.443 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

59.443 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 59.812 = 59.812 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

Взам. инв. №		Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2): $\sigma_0^{\pi} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$ Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ $59.443 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 59.812 = 59.812 \text{ МПа}$ Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):	
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\omega \leq K_{\omega} \cdot [\omega] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:

$$\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\Phi}\} \leq 120^{\circ}\text{C}$$

$$\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\Phi}\} = \max \{100; 100; 97\} = 100^{\circ}\text{C}$$

Относительное удлинение :

$$\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}\text{C}) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}\text{C}) + \alpha_P \cdot s_{\text{PN}} \cdot (t_P - 20^{\circ}\text{C})}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'' + s_{\text{PN}}) \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}\text{C})}$$

$$= [0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C}) + 0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 17 \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C}) + 0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 11 \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C})] / [0.111 \cdot 10^{-4} \cdot (20 + 17 + 11) \cdot (97 - 20^{\circ}\text{C})]$$

$$= 1.0858$$

В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017 при $T_{\text{max}} < 120^{\circ}\text{C}$ допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:

$$\delta_t > 1$$

Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.

Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.097175 \cdot 164.5 / 144 = 0.13876 \text{ МПа}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.097175 \cdot 164.5 / 144 = 0.13876 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения:

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.13653 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017

Расчётная температура элементов соединения:

Температура фланца (кольца), t_{Φ} : 20 °C
Температура фланца (кольца), t_{Φ} : 20 °C
Температура болтов (шпилек), t_{Φ} : 20 °C

Свойства материала болтов (шпилек)

Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20_{\Phi}} = 130 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20_{\Phi}} = 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha^{20_{\Phi}} = 0.111 \cdot 10^{-4} / ^{\circ}\text{C}$$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20_{\Phi 1}} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20_{\Phi 1}} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

216

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<p>= 20 °C: $\alpha^{20_1}=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p> <p>Свойства материала фланца (кольца)2 Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):</p> <p>$[\sigma]^{20_{ф2}}=\frac{R_{\sigma} / 20}{n_T}=245 / 1.1= 222.73 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: $E^{20_2}=1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: $\alpha^{20_2}=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: $\alpha^{20_p}=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p> <p>Расчётные параметры первого фланца:</p> <p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5=2.8$</p> <p>$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2}=1.291$</p> <p>$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$</p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p>$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$</p> <p>$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$</p> <p>$\beta_F = 0.65336$</p> <p>$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.333^2) \cdot (3.333 - 1)) = 1.1307$</p> <p>$\beta_V = 0.074265$</p> <p>$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / (1.36 \cdot (3.333^2 - 1) \cdot (3.333 - 1)) = 1.8633$</p> <p>$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 17^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.0242$</p> <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> <p>$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.0242 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$</p> <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p>$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$</p> <p>Плечи моментов:</p> <p>$a = 0$</p> <p>$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$</p> <p>$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$</p> <p>Расчётные параметры второго фланца:</p>						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						217

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР												
$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5=2.8$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2}=1.291$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$ <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$ $l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$ $\beta_F = 0.65336$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.333^2) \cdot (3.333 - 1)) = 1.1307$ $\beta_V = 0.074265$ $\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1) / (1.36 \cdot (3.333^2 - 1) \cdot (3.333 - 1)) = 1.8633$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 20^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.4537$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.4537 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.20475 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 20^3) = 0.13622 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$ $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$ <p>Характеристики прокладки</p> <table><tr><th>Тип и материал прокладки</th><th>Коэффициент m</th><th>Удельное давление обжатия q_{обж}, МПа</th><th>Допускаемое удельное давление [q], МПа</th><th>Коэффициент обжатия K</th><th>Условный модуль сжатия E_n, МПа</th></tr><tr><td>Прокладка ТРГ универсальная</td><td>3</td><td>20</td><td>70</td><td>1</td><td>2000</td></tr></table> <p>Эффективная ширина прокладки :</p> $b_0 = 15 \text{ мм}$ $\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$ <p>Примечание:</p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки:</p> $D_{\text{тпф}} = \min\{D_4; D_{\text{кш}}\} = \min\{87; 87\} = 87 \text{ мм}$ <p>Средний эффективный диаметр прокладки:</p> $D_{\text{сш}} = D_{\text{тпф}} - b_0 = 87 - 15 = 72 \text{ мм}$						Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа	Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000
Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа												
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000												
					Лист												
90651-20600-AM-02-223 РР					218												
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата													

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Податливость прокладок (п. 3.3):

$$y_{\pi} = \frac{2 \cdot h_{\pi} \cdot K}{E_{\pi} \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_{\pi}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 0.58946 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_{\pi} = 0.785 \cdot D_{\pi}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 72^2 \cdot 0.13653 = 555.61 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\pi} = \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot |0.13653| = 1389.7 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)

Рабочая длина болта (шпильки):

$$L_{\text{б0}} = h' + h'' + 2 \cdot h_{\pi} + s_{\text{пр}} + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}} = 17 + 20 + 2 \cdot 2 + 11 + 0 + 0 = 52 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки:

$$L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 52 + 0.56 \cdot 16 = 60.96 \text{ мм}$$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):

$$f_{\text{б}} = 144 \text{ мм}^2$$

Податливость шпилек:

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 60.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.49687 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$
$$\eta = y_{\pi} + y_{\text{б}} + y'_{\text{ф}} \cdot b'^2 + y''_{\text{ф}} \cdot b''^2 = 0.58946 \cdot 10^{-6} + 0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.16415 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y'_{\text{ф}} \cdot e' \cdot b' + y''_{\text{ф}} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$$
$$= 1 - (0.58946 \cdot 10^{-6} - (0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5)) / 0.16415 \cdot 10^{-5}$$
$$= 0.72906$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y'_{\text{фМ}} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\pi}} \right) + y''_{\text{фМ}} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\pi}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\pi}} \right)^2 + y'_{\text{фМ}} \cdot b'^2 + y''_{\text{фМ}} \cdot b''^2}$$
$$= [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72) + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.49687 \cdot 10^{-6} + 0.58946 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2]$$
$$= 0.3831$$
$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0.72906 \cdot (555.61 + 0) + 1389.7 + 4 \cdot 0.3831 \cdot |0| / 72 = 1794.8 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)

$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0.72906 \cdot (555.61 + 0) + 1389.7 + 4 \cdot 0.3831 \cdot |0| / 72 = 1794.8 \text{ Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.							Лист	
										219
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ H} \cdot \text{M}$$

$$f = \max \begin{cases} \frac{C_{36}}{1+A} \\ 1.0 \end{cases} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{\text{прп}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ нпу } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.319 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^m = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^m = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1/(3.3333-1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 46.319 + 79.267; | 46.319 + 45.029 \} = 125.59 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{д}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 160/48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_s \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{нр}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

$125.59 \text{ МПа} \leq 400.91 \text{ МПа}$. **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ H}$$

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\pi}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ H}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_E \cdot \max \{ P_E^P \cdot b + (Q_\pi + Q_{EM}) \cdot e; |Q_\pi + Q_{EM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 34080 \cdot 26.5 + (555.61 + 0) \cdot 6.9076; |555.61 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1149.2 \text{ H-M}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1149.2 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.722 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$ $125.59 \text{ МПа} \leq 400.91 \text{ МПа,}$ Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{сн}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ $Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot M }{D_{\text{сн}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях: $M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}} \cdot e \right\} = 1.2671 \cdot \max \{ 34080 \cdot 26.5 + (555.61 + 0) \cdot 6.9076; 555.61 + 0 \cdot 6.9076 \} = 1149.2 \text{ Н·м}$ Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 : $\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1149.2 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.722 \text{ МПа}$				
			<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Изм. Лист № док. Подп. Дата</div>				

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1149.2 = 79.957 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1149.2 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.957 = 45.421 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.090555 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |46.722 - 0.090555 + 79.957|; |46.722 - 0.090555 + 45.421|; |46.722 + 0.090555| \} = 126.59 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

126.59 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.090555 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |46.722 - 0.090555 + 79.957|; |46.722 - 0.090555 + 45.421|; |46.722 + 0.090555| \} = 126.59 \text{ МПа}$$

126.59 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 46.319 = 46.319 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

46.319 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 46.722 = 46.722 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.29661 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.13653 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.65535 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

222

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 46.722 \pm 0.29661; 0.3 * 46.722 \pm 0.65535 ; 0.7 * 46.722 \pm (0.29661 - 0.65535) \}$ <div></div> <div>47.018 МПа</div> <p>Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p> <p>$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 * 222.73 = 668.18$ МПа</p> <p>$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 * 668.18 = 868.64$ МПа</p> <p>47.018 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):</p> $\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 * 48^2 * 0.13653 + 0 - 4 * 0 / (48 + 5)) / (3.1416 * (48 + 5) * (5 - 0)) = 0.29661 \text{ МПа}$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 46.722 \pm 0.29661; 0.3 * 46.722 \pm 0.65535 ; 0.7 * 46.722 \pm (0.29661 - 0.65535) \}$ <div></div> <div>47.018 МПа</div> <p>47.018 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0:</p> $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$ $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 0.65535; 0.29661 \} = 0.65535 \text{ МПа}$ <p>0.65535 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 79.267; 45.029 \} = 79.267 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 * 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>79.267 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 79.957; 45.421 \} = 79.957 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 * 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>79.957 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Жёсткость фланца:</p> <p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p> $\Theta = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1149.2 * 0.2482 \cdot 10^{-4} * 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.028524^\circ$ <p>Допускаемый угол поворота фланца:</p> $[\Theta] = 0.34377^\circ$ <p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_\Theta = 1.3$</p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p> $\Theta \leq K_\Theta \cdot [\Theta] = 1.3 * 0.34377 = 0.44691^\circ$ <p>Условие жёсткости выполнено.</p>					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					223

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 20 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1.217$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.217 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1094.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 0.44314 / (1 + 1.8); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1094.2 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 36.697 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1094.2 = 49.282 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1094.2 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.282 = 38.099 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |36.697 + 49.282|; |36.697 + 38.099| \} = 85.979 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

85.979 МПа \leq 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.217 \cdot \max \{ 34080 \cdot 26.5 + (555.61 + 0) \cdot 6.9076; |555.61 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1103.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1103.8 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 37.017 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$ $85.979 \text{ МПа} \leq 400.91 \text{ МПа,}$ Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{сн}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ $Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot M }{D_{\text{сн}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях: $M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_F^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}} \cdot e \right\} = 1.217 \cdot \max \{ 34080 \cdot 26.5 + (555.61 + 0) \cdot 6.9076; 555.61 + 0 \cdot 6.9076 \} = 1103.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 : $\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1103.8 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 37.017 \text{ МПа}$					
		Подп. и дата					
Изм. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							224

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1103.8 = 49.711 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1103.8 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.711 = 38.431 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.090555 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |37.017 - 0.090555 + 49.711|; |37.017 - 0.090555 + 38.431|; |37.017 + 0.090555| \} = 86.637 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

86.637 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.090555 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |37.017 - 0.090555 + 49.711|; |37.017 - 0.090555 + 38.431|; |37.017 + 0.090555| \} = 86.637 \text{ МПа}$$

86.637 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 36.697 = 36.697 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

36.697 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 37.017 = 37.017 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.29661 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.13653 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.65535 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

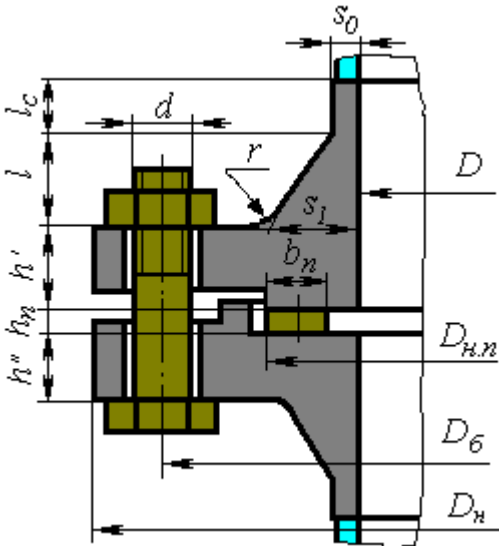
$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

Взам. инв. №	30.097 МПа ≤ 300.04 МПа, условие прочности выполнено.				
	Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s ₀ : $\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 37.017 = 37.017 \text{ МПа}$				
Подп. и дата	Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (+): $\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.13653 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.29661 \text{ МПа}$				
	Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s ₀ : $\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.13653 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.65535 \text{ МПа}$				
Инв. № подл.	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ : $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$				
Изм. Лист № док. Подп. Дата					90651-20600-AM-02-223 РР
					Лист 225

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

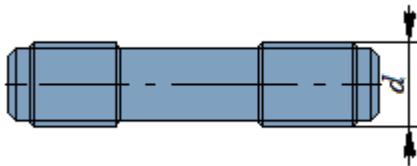
Фланцевое соединение N1



Эскиз элемента

Исходные данные

Тип фланцев: Приварные встык
 Исполнение: Выступ-впадина
 Диаметр болтовой окружности, Dб: 525 мм
 Шпильки:



Крепеж

Материал: 35 Крепеж
 Наружный диаметр, d: 27мм
 Количество, n: 16
 Контроль затяжки: Без контроля затяжки

Прокладка:

Материал прокладки: Прокладка ТРГ универсальная
 Толщина, hп: 2 мм
 Наружный диаметр, Dн.п.: 473 мм
 Ширина, bп: 26 мм

Закладная деталь:

Материал: 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ
 Толщина, sпл: 8479 Поковка
 25 мм

Данные первого фланца (кольца):

Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП
 245 ГОСТ 8479
 Поковка
 Наружный диаметр фланца (кольца), Dн: 580 мм
 Толщина фланца (кольца) с впадиной, h": 32 мм
 Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 398 мм
 Сумма прибавок, с: 3 мм
 Длина конической части втулки, l: 27 мм

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

227

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 16 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 17 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 26 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Данные второго фланца (кольца):</div> <div>09Г2С Gr.КП</div> <div>Материал фланца (кольца): 245 ГОСТ 8479</div> <div>Поковка</div> <div>Наружный диаметр фланца (кольца), D_n: 580 мм</div> <div>Толщина фланца (кольца) с выступом, h': 36 мм</div> <div>Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 398 мм</div> <div>Сумма прибавок, c: 3 мм</div> <div>Длина конической части втулки, l: 27 мм</div> <div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 16 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 17 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 26 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Расчёт в рабочих условиях</div> <div>Условия нагружения:</div> <div>Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 10000 Н</div> <div>Расчётный изгибающий момент, M: 23052 Н·м</div> <div>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.070000 МПа</div> <div>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</div> <div>Расчётная температура элементов соединения:</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура болтов (шпилек), t_б: 97 °С</div> <div>Свойства материала болтов (шпилек)</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]₆= 126 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>E₆=2.1011·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>α₆=0.111·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]²⁰₆= 130 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</div> <div>E²⁰₆=2.13·10⁵ МПа</div> <div>Свойства материала фланца (кольца) 1</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]_{ф1}= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>E₁=1.91·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>α₁=0.116·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):</div>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР			228
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	РР
$\beta_v = 0.35406$ $\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / (1.36 \cdot (1.4573^2 - 1) \cdot (1.4573 - 1)) = 5.8573$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (1.7278 \cdot 82.256) + 0.35406 \cdot 32^3 / (5.8573 \cdot 82.256 \cdot 17^2) = 0.8588$ Угловая податливость фланца при затяжке: $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.35406 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.8588 \cdot 17^2 \cdot 82.256) = 0.4544 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 525 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 580 \cdot 32^3) = 0.38532 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Плечи моментов: $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (525 - 453.62) = 35.688 \text{ мм}$ $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (453.62 - 398 - 20.075) = 17.774 \text{ мм}$ Расчётные параметры второго фланца: $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 26/17 = 1.5294$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 27 / (398 \cdot 17)^{1/2} = 0.32824$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (1.5294 - 1) \cdot 0.32824 / (0.32824 + (1 + 1.5294) / 4) = 1.1809$ Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык: $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.1809 \cdot 17 = 20.075 \text{ мм}$ $1_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (398 \cdot 17)^{1/2} = 82.256 \text{ мм}$ $\beta_F = 0.87369$ $K = \frac{D_K}{D} = 580 / 398 = 1.4573$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.4573^2) \cdot (1.4573 - 1)) = 1.7278$ $\beta_v = 0.35406$ $\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / (1.36 \cdot (1.4573^2 - 1) \cdot (1.4573 - 1)) = 5.8573$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (1.7278 \cdot 82.256) + 0.35406 \cdot 36^3 / (5.8573 \cdot 82.256 \cdot 17^2) = 0.9187$ Угловая податливость фланца при затяжке: $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.35406 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.9187 \cdot 17^2 \cdot 82.256) = 0.42477 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 525 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 580 \cdot 36^3) = 0.27062 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Плечи моментов: $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (525 - 453.62) = 35.688 \text{ мм}$						
					90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						230
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
e = 0.5 · (D _{ст} - D - s _з) = 0.5 · (453.62 - 398 - 20.075) = 17.774 мм					
Характеристики прокладки					
Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000
Эффективная ширина прокладки : b ₀ = 19.376 мм					
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$					
Рабочий наружный диаметр прокладки: D _{тпф} = min{D ₄ ; D _{нп} } = min{473; 473} = 473 мм					
Средний эффективный диаметр прокладки: D _{ст} = D _{тпф} - b ₀ = 473 - 19.376 = 453.62 мм					
Податливость прокладок (п. 3.3): $y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot b_{\text{тп}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 453.62 \cdot 26) = 0.53977 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$					
Расчёт нагрузок: Равнодействующая давления: Q _д = 0.785 · D _{ст} ² · p = 0.785 · 453.62 ² · 0.070000 = 11307 Н Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: R _п = π · D _{ст} · b ₀ · m · p = 3.1416 · 453.62 · 19.376 · 3 · 0.070000 = 5798.8 Н Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: P _{обж} = 0.5 · π · D _{ст} · b ₀ · q _{обж} = 0.5 · 3.1416 · 453.62 · 19.376 · 20 = 2.7613 · 10 ⁵ Н					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки) $\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^{1/2} + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^{1/2} = 0.53977 \cdot 10^{-7} + 0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 + 0.42477 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 = 0.32592 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой: $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0.53977 \cdot 10^{-7} - (0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 17.774 \cdot 35.688 + 0.42477 \cdot 10^{-5} \cdot 17.774 \cdot 35.688)) / 0.32592 \cdot 10^{-6} = 1.133$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}' \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y_{\text{фМ}}'' \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}' \cdot b'^{1/2} + y_{\text{фМ}}'' \cdot b''^{1/2}}$ $= [0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688 \cdot (35.688 + 17.774 - 17.774^2 / 453.62) + 0.27062 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688 \cdot (35.688 + 17.774 - 17.774^2 / 453.62)] / [0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.53977 \cdot 10^{-7} \cdot (525 / 453.62)^2 + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2] = 0.99143$ $P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.133 \cdot (11307 + 10000) + 5798.8 + 4 \cdot 0.99143 \cdot 23052 / 453.62 = 2.3147 \cdot 10^5 \text{ Н}$					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)					
90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					231
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	$P_{\Sigma 1} = \alpha \cdot (Q_{\Sigma} + F) + R_{\Sigma} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\Sigma}} = 1.133 \cdot (11307 + 0) + 5798.8 + 4 \cdot 0.99143 \cdot 0 / 453.62 = 18610 \text{ Н}$					
	Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:					
	$A_{\Sigma} = n \cdot f_{\Sigma} = 16 \cdot 430 = 6880 \text{ мм}^2$					
	Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:					
	$P_{\Sigma 2} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\Sigma} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^{20} \} = \max \{ 2.7613 \cdot 10^5; 0.4 \cdot 6880 \cdot 130 = 3.5776 \cdot 10^5 \} = 3.5776 \cdot 10^5 \text{ Н}$					
	Расчёт без учета стесненности температурных деформаций					
	Расчёт болтов(шпилек):					
	Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$					
	Коэффициент условий работы: $K_{\text{уп}} = 1$					
	Коэффициент условий затяжки: $K_{\text{уз}} = 1$					
Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{\text{ут}} = 1$						
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:						
$[\sigma]_{\Sigma}^M = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$						
В соответствии с п.4.4 ГОСТ 34233.4-2017 фланцевые соединения должны отвечать условиям прочности и плотности как в случае учета внешней осевой силы и изгибающего момента, так и при расчете только на действие давления. Проводятся оба расчета, в отчет выводится худший случай.						
Болтовая нагрузка в условиях затяжки:						
$P_{\Sigma}^M = \max \{ P_{\Sigma 1}; P_{\Sigma 2} \} = \max \{ 2.3147 \cdot 10^5; 3.5776 \cdot 10^5 \} = 3.5776 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Условие прочности при затяжке:						
$\sigma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma}^M}{A_{\Sigma}} \leq [\sigma]_{\Sigma}^M$						
$\sigma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma}^M}{A_{\Sigma}} = 3.5776 \cdot 10^5 / 6880 = 52 \text{ МПа}$						
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:						
$M_{\text{кр}} = 0.3 \cdot \frac{P_{\Sigma}^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 27 / 16 = 181.12 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{\text{кр}} = 135.84 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
$52 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.						
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:						
$[\sigma]_{\Sigma}^P = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^P = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$						
Болтовая нагрузка в рабочих условиях:						
$P_{\Sigma}^P = P_{\Sigma}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\Sigma} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M }{D_{\Sigma}} = 3.5776 \cdot 10^5 + (1 - 1.133) \cdot (11307 + 10000) + 4 \cdot (1 - 0.99143) \cdot 23052 / 453.62 = 3.5667 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Условие прочности в рабочих условиях:						
$\sigma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma}^P}{A_{\Sigma}} \leq [\sigma]_{\Sigma}^P$						
$\sigma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma}^P}{A_{\Sigma}} = 3.5667 \cdot 10^5 / 6880 = 51.841 \text{ МПа}$						
$51.841 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.						
Расчёт прокладки:						
Болтовая нагрузка в рабочих условиях:						
$P_{\Sigma}^P = P_{\Sigma}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\Sigma} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M }{D_{\Sigma}} = 3.5776 \cdot 10^5 + (1 - 1.133) \cdot (11307 + 10000) + 4 \cdot (1 - 0.99143) \cdot 23052 / 453.62 = 3.5667 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	232
90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx						Формат А4

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{гпр}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{гпр}}} = \max\{3.5776 \cdot 10^5; 3.5667 \cdot 10^5\} / (3.1416 \cdot 453.62 \cdot 26) = 9.6555 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max\left\{1; \frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 525 / 16 / (2 \cdot 27 + 6 \cdot 32 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 35.688 = 12768 \text{ Н·м}$$

$$f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0\right\} = \max\{1.7036 / (1 + 0.52941); 1.0\} = 1.1139$$

$$D^* = D + c + s_{0\text{при}} (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f > 1 = 398 + 0 + 17 \text{ при } (398 + 2 \cdot 0) < 20 \cdot (26 - 0) \text{ и } f = 1.1139 > 1 = 415 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 12768 / (0.8588 \cdot (26 - 3)^2 \cdot 415) = 67.721 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (0.8588 \cdot 32^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12768 = 52.969 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1}\right) = 1 / (1.4573 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.4573^2 \cdot \lg 1.4573 / (1.4573^2 - 1)) = 5.3752$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.4573^2 + 1) / (1.4573^2 - 1) = 2.7799$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 5.3752 \cdot 12768 / (32^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 52.969 = 21.145 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max\{|\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M|\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max\{|\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M|\} = \max\{67.721 + 52.969; |67.721 + 21.145|\} = 120.69 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 580 / 398 = 1.4573$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0191$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.0191 \cdot 1 \cdot 246.75 = 251.46 \text{ МПа}$$

$120.69 \text{ МПа} \leq 251.46 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 10000 + 4 \cdot |23052| / 453.62 = 2.1327 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot \left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right $ $\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 67.721 + 52.969; \mid 67.721 + 21.145 \} = 120.69 \text{ МПа}$ Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $\left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right = 1.5 \cdot \left \sigma_{\text{ф}}^{20} \right = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_K}{D} = 580 / 398 = 1.4573$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0191$ $K_S \cdot K_T \cdot \left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right = 1.0191 \cdot 1 \cdot 246.75 = 251.46 \text{ МПа}$ $120.69 \text{ МПа} \leq 251.46 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{лм}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{от}}} = 10000 + 4 \cdot 23052 / 453.62 = 2.1327 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
							90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		233		

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 10000 - 4 \cdot |23052| / 453.62 = (-1.9327 \cdot 10^5) \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \} = \frac{1 \cdot \max \{ 3.5667 \cdot 10^5 \cdot 35.688 + (11307 + (-1.9327 \cdot 10^5)) \cdot 17.774; |11307 + (-1.9327 \cdot 10^5)| \cdot 17.774 \}}{17.774} = 16720 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 16720 / (0.8588 \cdot (26 - 3)^2 \cdot 415) = 88.685 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (0.8588 \cdot 32^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 16720 = 69.368 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 5.3752 \cdot 16720 / (32^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 69.368 = 27.691 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.070000 + 10000 + 4 \cdot 23052 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 3)) = 7.7088 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |88.685 - 7.7088 + 69.368|; |88.685 - 7.7088 + 27.691|; |88.685 + 7.7088| \} = 150.34 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.0191 \cdot 1 \cdot 216 = 220.12 \text{ МПа}$$

150.34 МПа ≤ 220.12 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.070000 + 10000 - 4 \cdot 23052 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 3)) = (-6.4878) \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |88.685 - (-6.4878) + 69.368|; |88.685 - (-6.4878) + 27.691|; |88.685 + (-6.4878)| \} = 164.54 \text{ МПа}$$

164.54 МПа ≤ 220.12 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1.1139 \cdot 67.721 = 75.432 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

75.432 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1.1139 \cdot 88.685 = 98.785 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		$\sigma_0^{\pi} = f \cdot \sigma_1^{\pi} = 1.1139 \cdot 67.721 = 75.432 \text{ МПа}$
						Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2): $\sigma_0^{\pi} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20}$
						Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_{\text{R}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ $75.432 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_0^{\text{p}} = f \cdot \sigma_1^{\text{p}} = 1.1139 \cdot 88.685 = 98.785 \text{ МПа}$ Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP	
					Лист 234	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div><div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div><div>$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.070000 + 10000 + 4 \cdot 23052 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 3)) = 13.197 \text{ МПа}$<p>Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0:</p>$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 398 / (2 \cdot (17 - 3)) = 0.995 \text{ МПа}$<p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0:</p>$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 98.785 \pm 13.197; 0.3 \cdot 98.785 \pm 0.995 ; 0.7 \cdot 98.785 \pm (13.197 - 0.995) \} = 111.98 \text{ МПа}$<p>Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p>$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561.6 \text{ МПа}$<p>111.98 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):</p>$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.070000 + 10000 - 4 \cdot 23052 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 3)) = (-11.148) \text{ МПа}$$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 98.785 \pm (-11.148); 0.3 \cdot 98.785 \pm 0.995 ; 0.7 \cdot 98.785 \pm ((-11.148) - 0.995) \} = 109.93 \text{ МПа}$<p>109.93 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0:</p>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 0.995; 13.197 \} = 13.197 \text{ МПа}$<p>13.197 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 52.969; 21.145 \} = 52.969 \text{ МПа}$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$<p>52.969 МПа ≤ 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 69.368; 27.691 \} = 69.368 \text{ МПа}$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$<p>69.368 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Жёсткость фланца:</p><p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p>$\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 16720 \cdot 0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.079160^\circ$<p>Допускаемый угол поворота фланца:</p>$[\varpi] = 0.34377^\circ$<p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_\varpi = 1$</p></div></div>					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
					235
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 525 / 16 / (2 \cdot 27 + 6 \cdot 36 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 35.688 = 12768 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 1.7036 / (1 + 0.52941); 1.0 \} = 1.1139$$

$$D^* = D + c + s_{0 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f > 1} = 398 + 0 + 17 \text{ при } (398 + 2 \cdot 0) < 20 \cdot (26 - 0) \text{ и } f = 1.1139 > 1 = 415 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 12768 / (0.9187 \cdot (26 - 3)^2 \cdot 415) = 63.305 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (0.9187 \cdot 36^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12768 = 40.646 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.4573 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.4573^2 \cdot \lg 1.4573 / (1.4573^2 - 1)) = 5.3752$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.4573^2 + 1) / (1.4573^2 - 1) = 2.7799$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 5.3752 \cdot 12768 / (36^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 40.646 = 20.061 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |63.305 + 40.646|; |63.305 + 20.061| \} = 103.95 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{ж}}}{D} = 580 / 398 = 1.4573$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0191$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.0191 \cdot 1 \cdot 246.75 = 251.46 \text{ МПа}$$

$103.95 \text{ МПа} \leq 251.46 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 10000 + 4 \cdot |23052| / 453.62 = 2.1327 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 10000 - 4 \cdot |23052| / 453.62 = (-1.9327 \cdot 10^5) \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \right\} = \frac{1 \cdot \max \{ 3.5667 \cdot 10^5 \cdot 35.688 + (11307 + 2.1327 \cdot 10^5) \cdot 17.774; |11307 + (-1.9327 \cdot 10^5)| \cdot 17.774 \}}{1} = 16720 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

236

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :					
$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 92.343 \pm 13.197; 0.3 * 92.343 \pm 0.995 ; 0.7 * 92.343 \pm (13.197 - 0.995) \}$ <div>105.54 МПа</div>					
Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):					
$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 * 144 = 432 \text{ МПа}$					
$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 * 432 = 561.6 \text{ МПа}$					
105.54 МПа \leq 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.					
Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):					
$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 * 398^2 * 0.070000 + 10000 - 4 * 23052 / (398 + 17)) / (3.1416 * (398 + 17) * (17 - 3)) = (-11.148) \text{ МПа}$					
$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 92.343 \pm (-11.148); 0.3 * 92.343 \pm 0.995 ; 0.7 * 92.343 \pm (-11.148) - 0.995 \}$ <div>103.49 МПа</div>					
103.49 МПа \leq 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.					
Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):					
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :					
$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$					
$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 0.995; 13.197 \} = 13.197 \text{ МПа}$					
13.197 МПа \leq 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
Условие статической прочности при затяжке для тарелок:					
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$					
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 40.646; 20.061 \} = 40.646 \text{ МПа}$					
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 * 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$					
40.646 МПа \leq 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.					
Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$					
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 53.229; 26.272 \} = 53.229 \text{ МПа}$					
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 * 144 = 144 \text{ МПа}$					
53.229 МПа \leq 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
Жёсткость фланца:					
Угол поворота фланца в рабочих условиях:					
$\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 16720 * 0.42477 \cdot 10^{-5} * 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.073998^\circ$					
Допускаемый угол поворота фланца:					
$[\varpi] = 0.34377^\circ$					
Условие выполнения жесткости фланцев:					
$\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1 * 0.34377 = 0.34377^\circ$					
Условие жёсткости выполнено.					
Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:					
$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_\epsilon \} \leq 120^\circ \text{C}$					
$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_\epsilon \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100^\circ \text{C}$					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
					238
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}C) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}C) + \alpha_p \cdot s_{pn} \cdot (t_p - 20^{\circ}C)}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'' + s_{pn}) \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}C)}$ <p>= [0.116·10⁻⁴ * 36 * (100 – 20°С) + 0.116·10⁻⁴ * 32 * (100 – 20°С) + 0.116·10⁻⁴ * 25 * (100 – 20°С)] / [0.111·10⁻⁴ * (36 + 32 + 25) * (97 – 20°С)]</p> <p>= 1.0858</p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при T_{max} < 120°С допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> <p>δ_t > 1</p> <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ <p>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</p> <p>Условия нагружения:</p> <p>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н</p> <p>Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.10179 МПа</p> <p>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), t_б: 20 °С</p> <p>Свойства материала болтов (шпилек)</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> <p>[σ]^{20_б}= 130 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20_б}=2.13·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20_б}=0.111·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца) 1</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\Phi 1}^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20₁}=1.99·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20₁}=0.116·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца)2</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
							239
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР																	
	$[\sigma]^{20}_{\phi 2} = \frac{R_{e120}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $E^{20}_2 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $\alpha^{20}_2 = 0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $\alpha^{20}_p = 0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$</p> <p>Расчётные параметры первого фланца:</p> $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 26/17 = 1.5294$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 27/(398 \cdot 17)^{1/2} = 0.32824$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (1.5294 - 1) \cdot 0.32824 / (0.32824 + (1 + 1.5294) / 4) = 1.1809$ <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.1809 \cdot 17 = 20.075 \text{ мм}$ $l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (398 \cdot 17)^{1/2} = 82.256 \text{ мм}$ $\beta_F = 0.87369$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.4573^2) \cdot (1.4573 - 1)) = 1.7278$ $\beta_V = 0.35406$ $\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / (1.36 \cdot (1.4573^2 - 1) \cdot (1.4573 - 1)) = 5.8573$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (1.7278 \cdot 82.256) + 0.35406 \cdot 32^3 / (5.8573 \cdot 82.256 \cdot 17^2) = 0.8588$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.35406 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.8588 \cdot 17^2 \cdot 82.256) = 0.4544 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 525 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 580 \cdot 32^3) = 0.38532 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{сш}) = 0.5 \cdot (525 - 453.62) = 35.688 \text{ мм}$ $e = 0.5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0.5 \cdot (453.62 - 398 - 20.075) = 17.774 \text{ мм}$ <p>Расчётные параметры второго фланца:</p> $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 26/17 = 1.5294$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 27/(398 \cdot 17)^{1/2} = 0.32824$																						
	Взам. инв. №																						
	Подп. и дата																						
Инв. № подл.																							
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">90651-20600-AM-02-223 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>240</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>											90651-20600-AM-02-223 РР	Лист						240	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
					90651-20600-AM-02-223 РР	Лист																	
						240																	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																			

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (1.5294 - 1) \cdot 0.32824 / (0.32824 + (1 + 1.5294) / 4) = 1.1809$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.1809 \cdot 17 = 20.075 \text{ мм}$$

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (398 \cdot 17)^{1/2} = 82.256 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0.87369$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.4573^2) \cdot (1.4573 - 1)) = 1.7278$$

$$\beta_V = 0.35406$$

$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.4573^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.4573) - 1) / (1.36 \cdot (1.4573^2 - 1) \cdot (1.4573 - 1)) = 5.8573$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (1.7278 \cdot 82.256) + 0.35406 \cdot 36^3 / (5.8573 \cdot 82.256 \cdot 17^2) = 0.9187$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.35406 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.9187 \cdot 17^2 \cdot 82.256) = 0.42477 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 525 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 580 \cdot 36^3) = 0.27062 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (525 - 453.62) = 35.688 \text{ мм}$$

$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (453.62 - 398 - 20.075) = 17.774 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :

$$b_0 = 19.376 \text{ мм}$$

$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{тф}} & \text{при } b_{\text{тф}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тф}}} & \text{при } b_{\text{тф}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Примечание:

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{тф}} = \min\{D_4; D_{\text{нп}}\} = \min\{473; 473\} = 473 \text{ мм}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$$D_{\text{сш}} = D_{\text{тф}} - b_0 = 473 - 19.376 = 453.62 \text{ мм}$$

Податливость прокладок (п. 3.3):

$$y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_{\text{тф}}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 453.62 \cdot 26) = 0.53977 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_d = 0.785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 453.62^2 \cdot 0.10179 = 16443 \text{ Н}$$

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP	
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: $R_{\pi} = \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3.1416 \cdot 453.62 \cdot 19.376 \cdot 3 \cdot 0.10179 = 8432.6 \text{ Н}$ Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: $P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 453.62 \cdot 19.376 \cdot 20 = 2.7613 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление) Рабочая длина болта (шпильки): $L_{\epsilon 0} = h' + h'' + 2 \cdot h_{\pi} + s_{\pi} + h'_{ш} + h''_{ш} = 32 + 36 + 2 \cdot 2 + 25 + 0 + 0 = 97 \text{ мм}$ Эффективная длина шпильки: $L_{\epsilon} = L_{\epsilon 0} + 0.56 \cdot d = 97 + 0.56 \cdot 27 = 112.12 \text{ мм}$ Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): $f_{\epsilon} = 430 \text{ мм}^2$ Податливость шпилек: $y_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{E_{\epsilon}^{20} \cdot f_{\epsilon} \cdot n} = 112.12 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 430 \cdot 16) = 0.76509 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$ $\eta = y_{\pi} + y_{\epsilon} + y'_{\Phi} \cdot b'^2 + y''_{\Phi} \cdot b''^2 = 0.53977 \cdot 10^{-7} + 0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 + 0.42477 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 = 0.32592 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой: $\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y'_{\Phi} \cdot e' \cdot b' + y''_{\Phi} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0.53977 \cdot 10^{-7} - (0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 17.774 \cdot 35.688 + 0.42477 \cdot 10^{-5} \cdot 17.774 \cdot 35.688)) / 0.32592 \cdot 10^{-6}$ $= 1.133$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_M = \frac{y_{\epsilon} + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\pi}} \right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\pi}} \right)}{y_{\epsilon} + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\epsilon}}{D_{\pi}} \right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$ $= [0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688 \cdot (35.688 + 17.774 - 17.774^2 / 453.62) + 0.27062 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688 \cdot (35.688 + 17.774 - 17.774^2 / 453.62)] / [0.76509 \cdot 10^{-7} + 0.53977 \cdot 10^{-7} \cdot (525 / 453.62)^2 + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2 + 0.38532 \cdot 10^{-5} \cdot 35.688^2]$ $= 0.99143$ $P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\pi}} = 1.133 \cdot (16443 + 0) + 8432.6 + 4 \cdot 0.99143 \cdot 0 / 453.62 = 27063 \text{ Н}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление) $P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\pi}} = 1.133 \cdot (16443 + 0) + 8432.6 + 4 \cdot 0.99143 \cdot 0 / 453.62 = 27063 \text{ Н}$ Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: $A_{\epsilon} = n \cdot f_{\epsilon} = 16 \cdot 430 = 6880 \text{ мм}^2$ Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: $P_{\epsilon 2} = \max \{ P_{обж}; 0.4 \cdot A_{\epsilon} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} \} = \max \{ 2.7613 \cdot 10^5; 0.4 \cdot 6880 \cdot 130 = 3.5776 \cdot 10^5 \} = 3.5776 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Расчёт без учета стесненности температурных деформаций Расчёт болтов(шпилек): Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$ Коэффициент условий работы: $K_{yp} = 1.35$ Коэффициент условий затяжки: $K_{y3} = 1$ Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{yt} = 1$					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 PP		Лист
					242
			Изм.	Лист	№ док.

90651-20600-AM-02-223 PP.izm.0.docx

Формат А4

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Взам. инв. №	
--------------	--

Подп. и дата	
--------------	--

Изм. № подл.	
--------------	--

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:

$$[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{yz} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1.2 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210.6 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_6^M = \max\{P_{b1}; P_{b2}\} = \max\{27063; 3.5776 \cdot 10^5\} = 3.5776 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 3.5776 \cdot 10^5 / 6880 = 52 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{xp} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 27 / 16 = 181.12 \text{ Н·м}$$

При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 135.84 \text{ Н·м}$

52 МПа ≤ 210.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{yp} \cdot K_{yz} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6 = 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175.5 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot |M|}{D_{ст}} = 3.5776 \cdot 10^5 + (1 - 1.133) \cdot (16443 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.99143) \cdot |0| / 453.62 = 3.5557 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 3.5557 \cdot 10^5 / 6880 = 51.682 \text{ МПа}$$

51.682 МПа ≤ 175.5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot |M|}{D_{ст}} = 3.5776 \cdot 10^5 + (1 - 1.133) \cdot (16443 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.99143) \cdot |0| / 453.62 = 3.5557 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} = \max\{3.5776 \cdot 10^5; 3.5557 \cdot 10^5\} / (3.1416 \cdot 453.62 \cdot 26) = 9.6555 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 525 / 16 / (2 \cdot 27 + 6 \cdot 32 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 35.688 = 12768 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 1.7036 / (1 + 0.52941); 1.0 \} = 1.1139$$

$$D^* = D + c + s_{0 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f > 1} = 398 + 0 + 17 \text{ при } (398 + 2 \cdot 0) < 20 \cdot (26 - 0) \text{ и } f = 1.1139 > 1 = 415 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 12768 / (0.8588 \cdot (26 - 0)^2 \cdot 415) = 52.994 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (0.8588 \cdot 32^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12768 = 52.969 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / ((1.4573 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.4573^2 \cdot \lg 1.4573 / (1.4573^2 - 1))) = 5.3752$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.4573^2 + 1) / (1.4573^2 - 1) = 2.7799$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 5.3752 \cdot 12768 / (32^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 52.969 = 21.145 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |52.994 + 52.969|; |52.994 + 21.145| \} = 105.96 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 580 / 398 = 1.4573$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0191$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.0191 \cdot 1 \cdot 334.09 = 340.47 \text{ МПа}$$

105.96 МПа ≤ 340.47 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 453.62 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 453.62 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \right\} = 1 \cdot \max \{ 3.5557 \cdot 10^5 \cdot 35.688 + (16443 + 0) \cdot 17.774; |16443 + 0| \cdot 17.774 \} = 12982 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 12982 / (0.8588 \cdot (26 - 0)^2 \cdot 415) = 53.883 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 32 + 82.256) / (0.8588 \cdot 32^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12982 = 53.858 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 5.3752 \cdot 12982 / (32^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 53.858 = 21.5 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

244

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 0)) = 0.36549 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |53.883 - 0.36549 + 53.858|; |53.883 - 0.36549 + 21.5|; |53.883 + 0.36549| \} = 107.38 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.0191 \cdot 1 \cdot 334.09 = 340.47 \text{ МПа}$$

107.38 МПа ≤ 340.47 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 0)) = 0.36549 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |53.883 - 0.36549 + 53.858|; |53.883 - 0.36549 + 21.5|; |53.883 + 0.36549| \} = 107.38 \text{ МПа}$$

107.38 МПа ≤ 340.47 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1.1139 \cdot 52.994 = 59.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

59.029 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1.1139 \cdot 53.883 = 60.019 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0.5711 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10179 \cdot 398 / (2 \cdot (17 - 0)) = 1.1916 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |60.019 \pm 0.5711|; |0.3 \cdot 60.019 \pm 1.1916|; |0.7 \cdot 60.019 \pm (0.5711 - 1.1916)| \} = 60.591 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

60.591 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

245

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0.5711 \text{ МПа}$					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \frac{\max\{60.019 \pm 0.5711; 0.3 \cdot 60.019 \pm 1.1916 ; 0.7 \cdot 60.019 \pm (0.5711 - 1.1916) \}}{1.1916} = 60.591 \text{ МПа}$					
	60.591 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.					
Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):						
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :						
$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$						
$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max\{1.1916; 0.5711 \} = 1.1916 \text{ МПа}$						
1.1916 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.						
Условие статической прочности при затяжке для тарелок:						
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$						
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{52.969; 21.145 \} = 52.969 \text{ МПа}$						
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$						
52.969 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.						
Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:						
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$						
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{53.858; 21.5 \} = 53.858 \text{ МПа}$						
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$						
53.858 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.						
Жёсткость фланца:						
Угол поворота фланца в рабочих условиях:						
$\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 12982 \cdot 0.4544 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.058990^\circ$						
Допускаемый угол поворота фланца:						
$[\varpi] = 0.34377^\circ$						
Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K _ϖ = 1.3						
Условие выполнения жесткости фланцев:						
$\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^\circ$						
Условие жёсткости выполнено.						
Расчёт второго фланца:						
Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:						
$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_\Phi}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 525 / 16 / (2 \cdot 27 + 6 \cdot 36 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$						
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:						
$M^M = C_F \cdot P_\Phi^M \cdot b = 1 \cdot 3.5776 \cdot 10^5 \cdot 35.688 = 12768 \text{ Н·м}$						
$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{1.7036 / (1 + 0.52941); 1.0\} = 1.1139$						
$D^* = D + c + s_{0 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f > 1} = 398 + 0 + 17 \text{ при } (398 + 2 \cdot 0) < 20 \cdot (26 - 0) \text{ и } f = 1.1139 > 1 = 415 \text{ мм}$						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	
						Лист
						246
90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx						
Формат А4						

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 12768 / (0.9187 \cdot (26 - 0)^2 \cdot 415) = 49.539 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (0.9187 \cdot 36^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12768 = 40.646 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.4573 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.4573^2 \cdot \lg 1.4573 / (1.4573^2 - 1)) = 5.3752$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.4573^2 + 1) / (1.4573^2 - 1) = 2.7799$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 5.3752 \cdot 12768 / (36^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 40.646 = 20.061 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{мк}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |49.539 + 40.646|; |49.539 + 20.061| \} = 90.185 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{мк}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 580 / 398 = 1.4573$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0191$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{мк}}^{20} = 1.0191 \cdot 1 \cdot 334.09 = 340.47 \text{ МПа}$$

$90.185 \text{ МПа} \leq 340.47 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 453.62 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 453.62 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ p_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \right\} = 1 \cdot \max \{ 3.5557 \cdot 10^5 \cdot 35.688 + (16443 + 0) \cdot 17.774; |16443 + 0| \cdot 17.774 \} = 12982 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 12982 / (0.9187 \cdot (26 - 0)^2 \cdot 415) = 50.37 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (0.9187 \cdot 36^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12982 = 41.328 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 5.3752 \cdot 12982 / (36^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 41.328 = 20.398 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 0)) = 0.36549 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{мк}}$$

Взам. инв. №		<p>Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.87369 \cdot 36 + 82.256) / (0.9187 \cdot 36^2 \cdot 82.256 \cdot 398) \cdot 12982 = 41.328 \text{ МПа}$					
		<p>Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 5.3752 \cdot 12982 / (36^2 \cdot 398) - 2.7799 \cdot 41.328 = 20.398 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		<p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₁ (+):</p> $\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 0)) = 0.36549 \text{ МПа}$					
		<p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₁ (п. 8.5.1):</p> $\max \left\{ \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right , \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right , \left \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							247
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |50.37 - 0.36549 + 41.328|; |50.37 - 0.36549 + 20.398|; |50.37 + 0.36549| \} = 91.332 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.0191 \cdot 1 \cdot 334.09 = 340.47 \text{ МПа}$$

91.332 МПа ≤ 340.47 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₁ (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (398 + 26)) / (3.1416 \cdot (398 + 26) \cdot (26 - 0)) = 0.36549 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |50.37 - 0.36549 + 41.328|; |50.37 - 0.36549 + 20.398|; |50.37 + 0.36549| \} = 91.332 \text{ МПа}$$

91.332 МПа ≤ 340.47 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S₀:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1.1139 \cdot 49.539 = 55.18 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S₀ (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

55.18 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1.1139 \cdot 50.37 = 56.106 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0.5711 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10179 \cdot 398 / (2 \cdot (17 - 0)) = 1.1916 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |56.106 \pm 0.5711|; |0.3 \cdot 56.106 \pm 1.1916|; |0.7 \cdot 56.106 \pm (0.5711 - 1.1916)| \} = 56.677 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_F = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

56.677 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0.5711 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |56.106 \pm 0.5711|; |0.3 \cdot 56.106 \pm 1.1916|; |0.7 \cdot 56.106 \pm (0.5711 - 1.1916)| \} = 56.677 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P+} \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^{P+} \right) \right\} = \max \{ 56.106 \pm 0.5711; 0.3 \cdot 56.106 \pm 1.1916 ; 0.7 \cdot 56.106 \pm (0.5711 - 1.1916) \}$ <div>56.677 МПа</div>					
		Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): [σ] _R =3·[σ] _φ =3* 222.73= 668.18 МПа $1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$ 56.677 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено. Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (–): $\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 398^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (398 + 17)) / (3.1416 \cdot (398 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0.5711 \text{ МПа}$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P-} \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^{P-} \right) \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P-} \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^{P-} \right) \right\} = \max \{ 56.106 \pm 0.5711; 0.3 \cdot 56.106 \pm 1.1916 ; 0.7 \cdot 56.106 \pm (0.5711 - 1.1916) \}$ <div>56.677 МПа</div>					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
					90651-20600-AM-02-223 PP		Лист
							248
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

$56.677 \text{ МПа} \leq 868.64 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0m0}^p \right|; \left| \sigma_{0mm}^p \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0\text{по}}^p \right|, \left| \sigma_{0\text{пр}}^p \right| \right\} = \max \{ 1.1916; 0.5711 \} = 1.1916 \text{ МПа}$$

$1.1916 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа}$. **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 40.646; 20.061 \} = 40.646 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

$$40.646 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^p \right|, \left| \sigma_T^p \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 41.328; 20.398 \} = 41.328 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_m = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

$41.328 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 12982 \cdot 0.42477 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.055144^\circ$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\text{H}] = 0.34377^\circ$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$[\text{H}^+] \leq K_{\text{H}} \cdot [\text{CO}_2] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691 \text{ } ^\circ$$

Условие жёсткости выполнено.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP		Лист
							249

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 16 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 13.5 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 21.5 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Данные второго фланца (кольца):</div> <div>09Г2С Gr.КП</div> <div>Материал фланца (кольца): 245 ГОСТ 8479</div> <div>Поковка</div> <div>Наружный диаметр фланца (кольца), D_n: 460 мм</div> <div>Толщина фланца (кольца) с впадиной, h": 24 мм</div> <div>Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 303 мм</div> <div>Сумма прибавок, c: 3 мм</div> <div>Длина конической части втулки, l: 26 мм</div> <div>Длина цилиндрической части втулки, l_c: 16 мм</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 13.5 мм</div> <div>Толщина конической части втулки, s₁: 21.5 мм</div> <div>Радиус перехода, r: 5 мм</div> <div>Расчёт в рабочих условиях</div> <div>Условия нагружения:</div> <div>Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 7200 Н</div> <div>Расчётный изгибающий момент, M: 14001 Н·м</div> <div>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.10257 МПа</div> <div>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</div> <div>Расчётная температура элементов соединения:</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура фланца (кольца), t_ф: 100 °С</div> <div>Температура болтов (шпилек), t_б: 97 °С</div> <div>Свойства материала болтов (шпилек)</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]₆= 126 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>E₆=2.1011·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>α₆=0.111·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]²⁰₆= 130 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</div> <div>E²⁰₆=2.13·10⁵ МПа</div> <div>Свойства материала фланца (кольца) 1</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]_{ф1}= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>E₁=1.91·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>α₁=0.116·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):</div>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР			251
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР			
<div>Взам. инв. №</div> <div>Подп. и дата</div> <div>Инв. № подл.</div>		<div>[σ]²⁰_{ф1}= 164.5 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С:</div> <div>E²⁰₁=1.99·10⁵ МПа</div> <div>Свойства материала фланца (кольца)2</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]_{ф2}= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 100 °С:</div> <div>E₂=1.91·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 100 °С:</div> <div>α₂=0.116·10⁻⁴/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]²⁰_{ф2}= 164.5 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С:</div> <div>E²⁰₂=1.99·10⁵ МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 100 °С:</div> <div>α_р=0.116·10⁻⁴/°С</div> <div>Расчётные параметры болтов (шпилек):</div> <div>Рабочая длина болта (шпильки):</div> <div>L_{б0} = h^I + h^{II} + 2 · h_ш + s_{пр} + h^I_ш + h^{II}_ш = 28 + 24 + 2 · 2 + 21 + 0 + 0 = 77 мм</div> <div>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</div> <div>f_б= 324 мм²</div> <div>Эффективная длина шпильки:</div> <div>L_б = L_{б0} + 0.56 · d = 77 + 0.56 · 24 = 90.44 мм</div> <div>Податливость шпилек:</div> <div>y_б = $\frac{L_{б}}{E_{б}^{20} \cdot f_{б} \cdot n}$ = 90.44 / (2.13·10⁵ · 324 · 12) = 0.10921·10⁻⁶ мм/Н</div> <div>Расчётные параметры первого фланца:</div> <div>β = $\frac{s_1}{s_0}$ = 21.5/13.5 = 1.5926</div> <div>x = $\frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}}$ = 26/(303·13.5)^{1/2} = 0.40652</div> <div>κ = 1 + (β - 1) · $\frac{x}{x + \frac{1+\beta}{4}}$ = 1 + (1.5926 - 1) · 0.40652 / (0.40652 + (1 + 1.5926) / 4) = 1.2284</div> <div>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</div> <div>s_э = κ · s₀ = 1.2284·13.5 = 16.584мм</div> <div>l₀ = $\sqrt{D \cdot s_0}$ = (303 · 13.5)^{1/2} = 63.957 мм</div> <div>β_F = 0.85824</div> <div>K = $\frac{D_{ж}}{D}$ = 460 / 303 = 1.5182</div> <div>β_T = $\frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)}$ = (1.5182² · (1 + 8.55 · lg 1.5182) - 1) / ((1.05 + 1.945 · 1.5182²) · (1.5182 - 1)) = 1.7014</div>					90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
				252					
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

$\beta_v = 0.31579$
$$\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.5182^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.5182) - 1) / (1.36 \cdot (1.5182^2 - 1) \cdot (1.5182 - 1)) = 5.305$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.85824 \cdot 28 + 63.957) / (1.7014 \cdot 63.957) + 0.31579 \cdot 28^3 / (5.305 \cdot 63.957 \cdot 13.5^2) = 0.92067$$
Угловая податливость фланца при затяжке:
$$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.31579 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.92067 \cdot 13.5^2 \cdot 63.957) = 0.77099 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$
Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:
$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 410 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 460 \cdot 28^3) = 0.56636 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$
Плечи моментов:
 $a = 0$
 $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (410 - 344.98) = 32.512 \text{ мм}$
 $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (344.98 - 303 - 16.584) = 12.696 \text{ мм}$

Расчётные параметры второго фланца:
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 21.5 / 13.5 = 1.5926$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 26 / (303 \cdot 13.5)^{1/2} = 0.40652$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (1.5926 - 1) \cdot 0.40652 / (0.40652 + (1 + 1.5926) / 4) = 1.2284$$
Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:
 $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.2284 \cdot 13.5 = 16.584 \text{ мм}$
 $1_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (303 \cdot 13.5)^{1/2} = 63.957 \text{ мм}$
 $\beta_F = 0.85824$
 $K = \frac{D_K}{D} = 460 / 303 = 1.5182$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.5182^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.5182) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.5182^2) \cdot (1.5182 - 1)) = 1.7014$$

 $\beta_v = 0.31579$
$$\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.5182^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.5182) - 1) / (1.36 \cdot (1.5182^2 - 1) \cdot (1.5182 - 1)) = 5.305$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (1.7014 \cdot 63.957) + 0.31579 \cdot 24^3 / (5.305 \cdot 63.957 \cdot 13.5^2) = 0.84762$$
Угловая податливость фланца при затяжке:
$$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.31579 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.84762 \cdot 13.5^2 \cdot 63.957) = 0.83744 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$
Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:
$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_K \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 410 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 460 \cdot 24^3) = 0.89936 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$
Плечи моментов:
 $a = 0$
 $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (410 - 344.98) = 32.512 \text{ мм}$

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
253

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
-----------------------------------	--	---------------------	--	--	----

$e = 0.5 \cdot (D_{\text{ст}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (344.98 - 303 - 16.584) = 12.696 \text{ мм}$

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{\text{обж}}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E_n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :
 $b_0 = 18.025 \text{ мм}$

Примечание:

$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:
 $D_{\text{тпф}} = \min\{D_4; D_{\text{нп}}\} = \min\{363; 363\} = 363 \text{ мм}$

Средний эффективный диаметр прокладки:
 $D_{\text{ст}} = D_{\text{тпф}} - b_0 = 363 - 18.025 = 344.98 \text{ мм}$

Податливость прокладок (п. 3.3):
 $y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot b_{\text{тп}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 22.5) = 0.82018 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:
 $Q_{\text{д}} = 0.785 \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 344.98^2 \cdot 0.10257 = 9582.6 \text{ Н}$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:
 $R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 18.025 \cdot 3 \cdot |0.10257| = 6011.3 \text{ Н}$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:
 $P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 18.025 \cdot 20 = 1.9535 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)

$$\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^2 + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^2 = 0.82018 \cdot 10^{-7} + 0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 + 0.83744 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 = 0.48797 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$$

$$= 1 - (0.82018 \cdot 10^{-7} - (0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 12.696 \cdot 32.512 + 0.83744 \cdot 10^{-5} \cdot 12.696 \cdot 32.512)) / 0.48797 \cdot 10^{-6}$$

$$= 1.0694$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}' \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y_{\text{фМ}}'' \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}' \cdot b'^2 + y_{\text{фМ}}'' \cdot b''^2}$$

$$= [0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512 \cdot (32.512 + 12.696 - 12.696^2 / 344.98) + 0.89936 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512 \cdot (32.512 + 12.696 - 12.696^2 / 344.98)] / [0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.82018 \cdot 10^{-7} \cdot (410 / 344.98)^2 + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2]$$

$$= 0.97145$$

$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 1.0694 \cdot (9582.6 + 7200) + 6011.3 + 4 \cdot 0.97145 \cdot |14001| / 344.98 = 1.8166 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)

90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
					254
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					PP	
<p>$P_{\Sigma 1} = \alpha \cdot (Q_{\Sigma} + F) + R_{\Sigma} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\Sigma}} = 1.0694 \cdot (9582.6 + 0) + 6011.3 + 4 \cdot 0.97145 \cdot 0 / 344.98 = 16259 \text{ Н}$</p> <p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> <p>$A_{\Sigma} = n \cdot f_{\Sigma} = 12 \cdot 324 = 3888 \text{ мм}^2$</p> <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> <p>$P_{\Sigma 2} = \max\{P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\Sigma} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^{20}\} = \max\{1.9535 \cdot 10^5; 0.4 \cdot 3888 \cdot 130 = 2.0218 \cdot 10^5\} = 2.0218 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p> <p>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</p> <p>Расчёт болтов(шпилек):</p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$</p> <p>Коэффициент условий работы: $K_{\text{ур}} = 1$</p> <p>Коэффициент условий затяжки: $K_{\text{уз}} = 1$</p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{\text{ут}} = 1$</p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:</p> <p>$[\sigma]_{\Sigma}^M = \xi \cdot K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$</p> <p>В соответствии с п.4.4 ГОСТ 34233.4-2017 фланцевые соединения должны отвечать условиям прочности и плотности как в случае учета внешней осевой силы и изгибающего момента, так и при расчете только на действие давления. Проводятся оба расчета, в отчет выводится худший случай.</p> <p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки:</p> <p>$P_{\Sigma}^M = \max\{P_{\Sigma 1}; P_{\Sigma 2}\} = \max\{1.8166 \cdot 10^5; 2.0218 \cdot 10^5\} = 2.0218 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p> <p>Условие прочности при затяжке:</p> <p>$\sigma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma}^M}{A_{\Sigma}} \leq [\sigma]_{\Sigma}^M$</p> <p>$\sigma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma}^M}{A_{\Sigma}} = 2.0218 \cdot 10^5 / 3888 = 52 \text{ МПа}$</p> <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> <p>$M_{\text{кр}} = 0.3 \cdot \frac{P_{\Sigma}^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 2.0218 \cdot 10^5 \cdot 24 / 12 = 121.31 \text{ Н} \cdot \text{м}$</p> <p>При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{\text{кр}} = 90.979 \text{ Н} \cdot \text{м}$</p> <p>$52 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.</p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> <p>$[\sigma]_{\Sigma}^P = K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\Sigma}^P = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$</p> <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> <p>$P_{\Sigma}^P = P_{\Sigma}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\Sigma} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M }{D_{\Sigma}} = 2.0218 \cdot 10^5 + (1 - 1.0694) \cdot (9582.6 + 7200) + 4 \cdot (1 - 0.97145) \cdot 14001 / 344.98 = 2.0565 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p> <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> <p>$\sigma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma}^P}{A_{\Sigma}} \leq [\sigma]_{\Sigma}^P$</p> <p>$\sigma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma}^P}{A_{\Sigma}} = 2.0565 \cdot 10^5 / 3888 = 52.893 \text{ МПа}$</p> <p>$52.893 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено.</p> <p>Расчёт прокладки:</p> <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> <p>$P_{\Sigma}^P = P_{\Sigma}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\Sigma} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M }{D_{\Sigma}} = 2.0218 \cdot 10^5 + (1 - 1.0694) \cdot (9582.6 + 7200) + 4 \cdot (1 - 0.97145) \cdot 14001 / 344.98 = 2.0565 \cdot 10^5 \text{ Н}$</p>											
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №									
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP					Лист	
										255	

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат А4

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{гп}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max \{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{гп}}} = \max \{2.0218 \cdot 10^5; 2.0565 \cdot 10^5\} / (3.1416 \cdot 344.98 \cdot 22.5) = 8.4334 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{1; (3.1416 \cdot 410 / 12 / (2 \cdot 24 + 6 \cdot 28 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.0574$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.0574 \cdot 2.0218 \cdot 10^5 \cdot 32.512 = 6950.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{1.5583 / (1 + 0.59259); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c)} \text{ и } f = 1 = 303 + 0 + 21.5 \text{ при } 303 < 20 \cdot (21.5 - 0) \text{ и } f = 1 = 324.5 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 6950.6 / (0.92067 \cdot (21.5 - 3)^2 \cdot 324.5) = 67.976 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 28 + 63.957) / (0.92067 \cdot 28^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 6950.6 = 47.662 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / ((1.5182 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.5182^2 \cdot \lg 1.5182 / (1.5182^2 - 1))) = 4.8673$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.5182^2 + 1) / (1.5182^2 - 1) = 2.5328$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 4.8673 \cdot 6950.6 / (28^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 47.662 = 21.694 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |67.976 + 47.662|; |67.976 + 21.694| \} = 115.64 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 460 / 303 = 1.5182$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0394$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 246.75 = 256.47 \text{ МПа}$$

$115.64 \text{ МПа} \leq 256.47 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 7200 + 4 \cdot |14001| / 344.98 = 1.6954 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot \left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right $ $\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 67.976 + 47.662; \mid 67.976 + 21.694 \} = 115.64 \text{ МПа}$ Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $\left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right = 1.5 \cdot \left \sigma_{\text{ф}}^{20} \right = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_K}{D} = 460 / 303 = 1.5182$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0394$ $K_S \cdot K_T \cdot \left \sigma_{\text{лм}}^{20} \right = 1.0394 \cdot 1 \cdot 246.75 = 256.47 \text{ МПа}$ $115.64 \text{ МПа} \leq 256.47 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{лм}}^+ = F + \frac{4 \cdot \left M \right }{D_{\text{от}}} = 7200 + 4 \cdot \left 14001 \right / 344.98 = 1.6954 \cdot 10^5 \text{ Н}$				
		Подп. и дата		Инд. № подл.		90651-20600-AM-02-223 PP
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Лист

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 7200 - 4 \cdot |14001| / 344.98 = (-1.5514 \cdot 10^5) \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \} = \frac{1.0574 \cdot \max \{ 2.0565 \cdot 10^5 \cdot 32.512 + (9582.6 + 1.6954 \cdot 10^5) \cdot 12.696; |9582.6 + (-1.5514 \cdot 10^5)| \cdot 12.696 \}}{1.5514 \cdot 10^5} = 9474.5 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 9474.5 / (0.92067 \cdot (21.5 - 3)^2 \cdot 324.5) = 92.66 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 28 + 63.957) / (0.92067 \cdot 28^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 9474.5 = 64.969 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 4.8673 \cdot 9474.5 / (28^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 64.969 = 29.572 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 + 4 \cdot 14001 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 3)) = 9.9245 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P|; |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P|; |\sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+}| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \{ |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P|; |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P|; |\sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+}| \} = \max \{ |92.66 - 9.9245 + 64.969|; |92.66 - 9.9245 + 29.572|; |92.66 + 9.9245| \} = 147.7 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 216 = 224.51 \text{ МПа}$$

147.7 МПа ≤ 224.51 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{\text{лм}}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 - 4 \cdot 14001 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 3)) = (-8.3771) \text{ МПа}$$

$$\max \{ |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P|; |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P|; |\sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-}| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \{ |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P|; |\sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P|; |\sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-}| \} = \max \{ |92.66 - (-8.3771) + 64.969|; |92.66 - (-8.3771) + 29.572|; |92.66 + (-8.3771)| \} = 166.01 \text{ МПа}$$

166.01 МПа ≤ 224.51 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 67.976 = 67.976 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

67.976 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 92.66 = 92.66 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

Взам. инв. №		Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2): $\sigma_0^m \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$ Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5$ МПа $1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55$ МПа $67.976 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_0^p = f \cdot \sigma_1^p = 1 \cdot 92.66 = 92.66$ МПа Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):			
		Подп. и дата			
Изм. инв. №				90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.		Дата

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 + 4 \cdot 14001 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 3)) = 18.346 \text{ МПа}$					
	Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s ₀ :					
	$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10257 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 3)) = 1.48 \text{ МПа}$					
	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 92.66 \pm 18.346 ; 0.3 \cdot 92.66 \pm 1.48 ; 0.7 \cdot 92.66 \pm (18.346 - 1.48) \} = 111.01 \text{ МПа}$					
	Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):					
	[σ] _R =3·[σ] _ф =3·144= 432 МПа					
	1.3·[σ] _R = 1.3·432= 561.6 МПа					
	111.01 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.					
	Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (–):					
	$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 - 4 \cdot 14001 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 3)) = (-15.55) \text{ МПа}$					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
	$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 92.66 \pm (-15.55) ; 0.3 \cdot 92.66 \pm 1.48 ; 0.7 \cdot 92.66 \pm ((-15.55) - 1.48) \} = 108.21 \text{ МПа}$					
	108.21 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.					
	Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):					
	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :					
	$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$					
	$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max \{ 1.48 ; 18.346 \} = 18.346 \text{ МПа}$					
	18.346 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
	Условие статической прочности при затяжке для тарелок:					
	$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$					
	$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 47.662 ; 21.694 \} = 47.662 \text{ МПа}$					
	$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$					
	47.662 МПа ≤ 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.					
	Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
	$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$					
	$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 64.969 ; 29.572 \} = 64.969 \text{ МПа}$					
	$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$					
	64.969 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.					
	Жёсткость фланца:					
	Угол поворота фланца в рабочих условиях:					
	$\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 9474.5 \cdot 0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.076106^\circ$					
	Допускаемый угол поворота фланца:					
	[ϖ] = 0.34377 °					
	Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K _ϖ = 1					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР			Лист
						258
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^\circ$$

Условие жёсткости выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 410 / 12 / (2 \cdot 24 + 6 \cdot 24 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1.0973$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.0973 \cdot 2.0218 \cdot 10^5 \cdot 32.512 = 7212.9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 1.5583 / (1 + 0.59259); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 303 + 0 + 21.5 \text{ при } 303 < 20 \cdot (21.5 - 0) \text{ и } f = 1 = 324.5 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 7212.9 / (0.84762 \cdot (21.5 - 3)^2 \cdot 324.5) = 76.622 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (0.84762 \cdot 24^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 7212.9 = 69.643 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.5182 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.5182^2 \cdot \lg 1.5182 / (1.5182^2 - 1)) = 4.8673$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.5182^2 + 1) / (1.5182^2 - 1) = 2.5328$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 4.8673 \cdot 7212.9 / (24^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 69.643 = 24.762 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |76.622 + 69.643|; |76.622 + 24.762| \} = 146.27 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{ж}}}{D} = 460 / 303 = 1.5182$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0394$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 246.75 = 256.47 \text{ МПа}$$

$146.27 \text{ МПа} \leq 256.47 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 7200 + 4 \cdot |14001| / 344.98 = 1.6954 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 7200 - 4 \cdot |14001| / 344.98 = (-1.5514 \cdot 10^5) \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = \frac{1.0973 \cdot \max \{ 2.0565 \cdot 10^5 \cdot 32.512 + (9582.6 + 1.6954 \cdot 10^5) \cdot 12.696; |9582.6 + (-1.5514 \cdot 10^5)| \cdot 12.696 \}}{1.5514 \cdot 10^5} = 9832.1 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

259

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 9832.1 / (0.84762 \cdot (21.5 - 3)^2 \cdot 324.5) = 104.45 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (0.84762 \cdot 24^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 9832.1 = 94.932 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 4.8673 \cdot 9832.1 / (24^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 94.932 = 33.754 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 + 4 \cdot 14001 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 3)) = 9.9245 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |104.45 - 9.9245 + 94.932|; |104.45 - 9.9245 + 33.754|; |104.45 + 9.9245| \} = 189.45 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.0394 \cdot 1 \cdot 216 = 224.51 \text{ МПа}$$

189.45 МПа ≤ 224.51 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 - 4 \cdot 14001 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 3)) = (-8.3771) \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |104.45 - (-8.3771) + 94.932|; |104.45 - (-8.3771) + 33.754|; |104.45 + (-8.3771)| \} = 207.75 \text{ МПа}$$

207.75 МПа ≤ 224.51 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 76.622 = 76.622 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

76.622 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 104.45 = 104.45 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 + 4 \cdot 14001 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 3)) = 18.346 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10257 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 3)) = 1.48 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ $76.622 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_{\text{Ф}}^{\text{Р}} = f \cdot \sigma_1^{\text{Р}} = 1 \cdot 104.45 = 104.45 \text{ МПа}$ Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+): $\sigma_{\text{0mm}}^{\text{Р}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.10257 + 7200 + 4 \cdot 14001 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 3)) = 18.346 \text{ МПа}$ Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 : $\sigma_{\text{0mo}}^{\text{Р}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10257 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 3)) = 1.48 \text{ МПа}$					
		Подп. и дата					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							260
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 104.45 \pm 18.346; |0.3 * 104.45 \pm 1.48|; |0.7 * 104.45 \pm (18.346 - 1.48)| \} = 122.79 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 * 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 * 432 = 561.6 \text{ МПа}$$

122.79 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = \frac{(0.785 * 303^2 * 0.10257 + 7200 - 4 * 14001 / (303 + 13.5))}{(3.1416 * (303 + 13.5) * (13.5 - 3))} = (-15.55) \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 104.45 \pm (-15.55); |0.3 * 104.45 \pm 1.48|; |0.7 * 104.45 \pm ((-15.55) - 1.48)| \} = 120 \text{ МПа}$$

120 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 1.48; 18.346 \} = 18.346 \text{ МПа}$$

18.346 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 69.643; 24.762 \} = 69.643 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$$

69.643 МПа ≤ 164.5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 94.932; 33.754 \} = 94.932 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 * 144 = 144 \text{ МПа}$$

94.932 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 9832.1 * 0.83744 * 10^{-5} * 1.99 * 10^5 / 1.91 * 10^5 = 0.085787^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\varpi] = 0.34377^{\circ}$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 * 0.34377 = 0.34377^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:

$$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} \leq 120^{\circ} \text{C}$$

$$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100^{\circ} \text{C}$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

261

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}C) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}C) + \alpha_p \cdot s_{pn} \cdot (t_p - 20^{\circ}C)}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'' + s_{pn}) \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}C)}$ <p>= [0.116·10⁻⁴ * 28 * (100 – 20°С) + 0.116·10⁻⁴ * 24 * (100 – 20°С) + 0.116·10⁻⁴ * 21 * (100 – 20°С)] / [0.111·10⁻⁴ * (28 + 24 + 21) * (97 – 20°С)]</p> <p>= 1.0858</p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при T_{max} < 120°С допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> <p>δ_t > 1</p> <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.10257 \cdot 164.5 / 144 = 0.14647 \text{ МПа}$ <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.10257 \cdot 164.5 / 144 = 0.14647 \text{ МПа}$ <p>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</p> <p>Условия нагружения:</p> <p>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н</p> <p>Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.14246 МПа</p> <p>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), t_б: 20 °С</p> <p>Свойства материала болтов (шпилек)</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> <p>[σ]^{20_б}= 130 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20_б}=2.13·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20_б}=0.111·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца) 1</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\Phi 1}^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E^{20₁}=1.99·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α^{20₁}=0.116·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца)2</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.					Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР				
			262				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (1.5926 - 1) \cdot 0.40652 / (0.40652 + (1 + 1.5926) / 4) = 1.2284$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.2284 \cdot 13.5 = 16.584 \text{ mm}$$

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (303 \cdot 13.5)^{1/2} = 63.957 \text{ mm}$$

$\beta_F = 0.85824$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.5182^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.5182) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.5182^2) \cdot (1.5182 - 1)) = 1.7014$$

$$\beta_W = 0.31579$$

$$\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.5182^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.5182) - 1) / (1.36 \cdot (1.5182^2 - 1) \cdot (1.5182 - 1)) = 5.305$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_H \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (1.7014 \cdot 63.957) + 0.31579 \cdot 24^3 / (5.305 \cdot 63.957 \cdot 13.5^2) = 0.84762$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\Phi} = \frac{0.91 \cdot \beta_{\Psi}}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 * 0.31579 / (1.99 \cdot 10^6 * 0.84762 * 13.5^2 * 63.957) = 0.83744 \cdot 10^{-5} \text{ } ^{\circ}/\text{H}\cdot\text{m}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_5 \cdot h^3} = (3.1416/4)^3 \cdot 410 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 460 \cdot 24^3) = 0.89936 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{H}\cdot\text{M}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 0.5 \cdot (410 - 344.98) = 32.512 \text{ мм}$$

$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{eff}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (344.98 - 303 - 16.584) = 12.696 \text{ mm}$$

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E_n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :

$$b_0 = 18.025 \text{ mm}$$

$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{np}} & \text{при } b_{\text{np}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{np}}} & \text{при } b_{\text{np}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Примечание:

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{гид}} = \min\{D_4; D_{\text{гп}}\} = \min\{363; 363\} = 363 \text{ мм}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$$D_{\text{ст}} = D_{\text{прф}} - b_0 = 363 - 18.025 = 344.98 \text{ мм}$$

Податливость прокладок (п. 3.3):

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot h_{\Pi} \cdot K}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\Pi} \cdot h_{\Pi}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 22.5) = 0.82018 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_{\pi} = 0.785 \cdot D_{\pi}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 344.98^2 \cdot 0.14246 = 13309 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	<p>Примечание: $\left\{ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{np}} \right.$ при $b_{np} > 15.0$ мм</p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки:</p> $D_{np} = \min\{D_4; D_{нп}\} = \min\{363; 363\} = 363 \text{ мм}$ <p>Средний эффективный диаметр прокладки:</p> $D_{ст} = D_{np} - b_0 = 363 - 18.025 = 344.98 \text{ мм}$ <p>Податливость прокладок (п. 3.3):</p> $u_{п} = \frac{2 \cdot h_{п} \cdot K}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{ст} \cdot b_{np}} = 2 \cdot 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 22.5) = 0.82018 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$ <p>Расчёт нагрузок:</p> <p>Равнодействующая давления:</p> $Q_d = 0.785 \cdot D_{ст}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 344.98^2 \cdot 0.14246 = 13309 \text{ Н}$				
	Подп. и дата				
Инв. № подл.					
					Лист
<p style="text-align: center;">90651-20600-AM-02-223 PP</p>					264
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP		
<p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> $R_{\pi} = \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 18.025 \cdot 3 \cdot 0.14246 = 8349.1 \text{ Н}$ <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> $P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 344.98 \cdot 18.025 \cdot 20 = 1.9535 \cdot 10^5 \text{ Н}$ <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> $L_{\text{б0}} = h' + h'' + 2 \cdot h_{\pi} + s_{\pi} + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}} = 28 + 24 + 2 \cdot 2 + 21 + 0 + 0 = 77 \text{ мм}$ <p>Эффективная длина шпильки:</p> $L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 77 + 0.56 \cdot 24 = 90.44 \text{ мм}$ <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> $f_{\text{б}} = 324 \text{ мм}^2$ <p>Податливость шпилек:</p> $y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 90.44 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 324 \cdot 12) = 0.10921 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ $\eta = y_{\pi} + y_{\text{б}} + y'_{\text{ф}} \cdot b'^2 + y''_{\text{ф}} \cdot b''^2 = 0.82018 \cdot 10^{-7} + 0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 + 0.83744 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 = 0.48797 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:</p> $\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y'_{\text{ф}} \cdot e' \cdot b' + y''_{\text{ф}} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0.82018 \cdot 10^{-7} - (0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 12.696 \cdot 32.512 + 0.83744 \cdot 10^{-5} \cdot 12.696 \cdot 32.512)) / 0.48797 \cdot 10^{-6}$ $= 1.0694$ <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y'_{\text{фМ}} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\pi}} \right) + y''_{\text{фМ}} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\pi}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\pi}} \right)^2 + y'_{\text{фМ}} \cdot b'^2 + y''_{\text{фМ}} \cdot b''^2}$ $= [0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512 \cdot (32.512 + 12.696 - 12.696^2 / 344.98) + 0.89936 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512 \cdot (32.512 + 12.696 - 12.696^2 / 344.98)] / [0.10921 \cdot 10^{-6} + 0.82018 \cdot 10^{-7} \cdot (410 / 344.98)^2 + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2 + 0.56636 \cdot 10^{-5} \cdot 32.512^2]$ $= 0.97145$ $P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot M }{D_{\pi}} = 1.0694 \cdot (13309 + 0) + 8349.1 + 4 \cdot 0.97145 \cdot 0 / 344.98 = 22582 \text{ Н}$ <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</p> $P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot M }{D_{\pi}} = 1.0694 \cdot (13309 + 0) + 8349.1 + 4 \cdot 0.97145 \cdot 0 / 344.98 = 22582 \text{ Н}$ <p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> $A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 12 \cdot 324 = 3888 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 1.9535 \cdot 10^5; 0.4 \cdot 3888 \cdot 130 = 2.0218 \cdot 10^5 \} = 2.0218 \cdot 10^5 \text{ Н}$ <p>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</p> <p>Расчёт болтов(шпилек):</p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$</p> <p>Коэффициент условий работы: $K_{\text{уп}} = 1.35$</p> <p>Коэффициент условий затяжки: $K_{\text{уз}} = 1$</p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{\text{ут}} = 1$</p>						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				Лист
			90651-20600-AM-02-223 PP			
			265			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-223 PP_изм.0.docx

Формат А4

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 1.5583 / (1 + 0.59259); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 303 + 0 + 21.5 \text{ при } 303 < 20 \cdot (21.5 - 0) \text{ и } f = 1 = 324.5 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 6950.6 / (0.92067 \cdot (21.5 - 0)^2 \cdot 324.5) = 50.33 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 28 + 63.957) / (0.92067 \cdot 28^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 6950.6 = 47.662 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / ((1.5182 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.5182^2 \cdot \lg 1.5182 / (1.5182^2 - 1))) = 4.8673$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.5182^2 + 1) / (1.5182^2 - 1) = 2.5328$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 4.8673 \cdot 6950.6 / (28^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 47.662 = 21.694 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |50.33 + 47.662|; |50.33 + 21.694| \} = 97.991 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 460 / 303 = 1.5182$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.0394$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 334.09 = 347.25 \text{ МПа}$$

97.991 МПа ≤ 347.25 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 344.98 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 344.98 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_F^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}^-) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}^-| \cdot e \right\} = 1.0574 \cdot \max \{ 2.0125 \cdot 10^5 \cdot 32.512 + (13309 + 0) \cdot 12.696; |13309 + 0| \cdot 12.696 \} = 7097.5 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 7097.5 / (0.92067 \cdot (21.5 - 0)^2 \cdot 324.5) = 51.394 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 28 + 63.957) / (0.92067 \cdot 28^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 7097.5 = 48.669 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 4.8673 \cdot 7097.5 / (28^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 48.669 = 22.153 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 267
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

$$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 + 4 \cdot 0 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 0)) = 0.46844 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right| \right\} \leq K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right| \right\} = \max \{ |51.394 - 0.46844 + 48.669|; |51.394 - 0.46844 + 22.153|; |51.394 + 0.46844| \} = 99.594 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 334.09 = 347.25 \text{ МПа}$$

99.594 МПа ≤ 347.25 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 - 4 \cdot 0 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 0)) = 0.46844 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} \right| \right\} \leq K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} \right| \right\} = \max \{ |51.394 - 0.46844 + 48.669|; |51.394 - 0.46844 + 22.153|; |51.394 + 0.46844| \} = 99.594 \text{ МПа}$$

99.594 МПа ≤ 347.25 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^{\text{M}} = f \cdot \sigma_1^{\text{M}} = 1 \cdot 50.33 = 50.33 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^{\text{M}} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{R}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

50.33 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^{\text{P}} = f \cdot \sigma_1^{\text{P}} = 1 \cdot 51.394 = 51.394 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 + 4 \cdot 0 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 0)) = 0.7649 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{\text{омо}}^{\text{P}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.14246 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 0)) = 1.5988 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{\text{омо}}^{\text{P}} \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} - \sigma_{\text{омо}}^{\text{P}}) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{\text{омо}}^{\text{P}} \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} - \sigma_{\text{омо}}^{\text{P}}) \right| \right\} = \max \{ |51.394 \pm 0.7649|; |0.3 \cdot 51.394 \pm 1.5988|; |0.7 \cdot 51.394 \pm (0.7649 - 1.5988)| \} = 52.158 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{R}} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

52.158 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (-):

Взам. инв. №		Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ :				
		$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.14246 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 0)) = 1.5988 \text{ МПа}$				
		Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S ₀ :				
Подп. и дата		$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$				
		$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 51.394 \pm 0.7649; 0.3 \cdot 51.394 \pm 1.5988 ; 0.7 \cdot 51.394 \pm (0.7649 - 1.5988) \} = 52.158 \text{ МПа}$				
		Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):				
Инв. № подл.		[σ] _R =3·[σ] _ф =3* 222.73= 668.18 МПа				
		1.3 · [σ] _R =1.3 * 668.18= 868.64 МПа				
		52.158 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.				
Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (–):						
					90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						268
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div>$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 - 4 \cdot 0 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 0)) = 0.7649 \text{ МПа}$$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right \right\} = \max\{51.394 \pm 0.7649; 0.3 \cdot 51.394 \pm 1.5988 ; 0.7 \cdot 51.394 \pm (0.7649 - 1.5988) \} = 52.158 \text{ МПа}$<p>52.158 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s₀:</p>$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max\{1.5988; 0.7649 \} = 1.5988 \text{ МПа}$<p>1.5988 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p>$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{47.662; 21.694 \} = 47.662 \text{ МПа}$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$<p>47.662 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p>$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{48.669; 22.153 \} = 48.669 \text{ МПа}$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$<p>48.669 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p><p>Жёсткость фланца:</p><p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p>$\Theta = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 7097.5 \cdot 0.77099 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.054721^\circ$<p>Допускаемый угол поворота фланца:</p>$[\Theta] = 0.34377^\circ$<p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K_Θ = 1.3</p><p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p>$\Theta \leq K_\Theta \cdot [\Theta] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^\circ$<p>Условие жёсткости выполнено.</p><p>Расчёт второго фланца:</p><p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p>$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_\Phi}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 410 / 12 / (2 \cdot 24 + 6 \cdot 24 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.0973$<p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p>$M^M = C_F \cdot P_\Phi^M \cdot b = 1.0973 \cdot 2.0218 \cdot 10^5 \cdot 32.512 = 7212.9 \text{ Н·м}$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{1.5583 / (1 + 0.59259); 1.0\} = 1$$D^* = D + c + s_{1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1} = 303 + 0 + 21.5 \text{ при } 303 < 20 \cdot (21.5 - 0) \text{ и } f = 1 = 324.5 \text{ мм}$</div>					
Взам. инв. №		Подп. и дата		90651-20600-AM-02-223 РР	
				Лист	
Инв. № подл.				269	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
	Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s1:						
	$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 7212.9 / (0.84762 \cdot (21.5 - 0)^2 \cdot 324.5) = 56.731 \text{ МПа}$						
Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:							
$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (0.84762 \cdot 24^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 7212.9 = 69.643 \text{ МПа}$							
$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.5182 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.5182^2 \cdot \lg 1.5182 / (1.5182^2 - 1)) = 4.8673$							
$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.5182^2 + 1) / (1.5182^2 - 1) = 2.5328$							
Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:							
$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 4.8673 \cdot 7212.9 / (24^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 69.643 = 24.762 \text{ МПа}$							
Условие статической прочности при затяжке в сечении s1 (п. 8.5.1):							
$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$							
$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 56.731 + 69.643; 56.731 + 24.762 \} = 126.37 \text{ МПа}$							
Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):							
$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$							
$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 460 / 303 = 1.5182$							
Коэффициент учета размеров тарелки фланца: K _S = 1.0394							
$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.0394 \cdot 1 \cdot 334.09 = 347.25 \text{ МПа}$							
126.37 МПа ≤ 347.25 МПа, Условие прочности выполнено.							
Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:							
$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 344.98 = 0 \text{ Н}$							
$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 344.98 = 0 \text{ Н}$							
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:							
$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}} \cdot e \right\} = 1.0973 \cdot \max \{ 2.0125 \cdot 10^5 \cdot 32.512 + (13309 + 0) \cdot 12.696; 13309 + 0 \cdot 12.696 \} = 7365.4 \text{ Н·м}$							
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s1:							
$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 7365.4 / (0.84762 \cdot (21.5 - 0)^2 \cdot 324.5) = 57.93 \text{ МПа}$							
Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:							
$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.85824 \cdot 24 + 63.957) / (0.84762 \cdot 24^2 \cdot 63.957 \cdot 303) \cdot 7365.4 = 71.115 \text{ МПа}$							
Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:							
$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 4.8673 \cdot 7365.4 / (24^2 \cdot 303) - 2.5328 \cdot 71.115 = 25.286 \text{ МПа}$							
Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S1 (+):							
$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 + 4 \cdot 0 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 0)) = 0.46844 \text{ МПа}$							
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s1 (п. 8.5.1):							
$\max \left\{ \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right ; \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right ; \left \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$							
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							270

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |57.93 - 0.46844 + 71.115|; |57.93 - 0.46844 + 25.286|; |57.93 + 0.46844| \} = 128.58 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.0394 \cdot 1 \cdot 334.09 = 347.25 \text{ МПа}$$

128.58 МПа ≤ 347.25 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₁ (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 - 4 \cdot 0 / (303 + 21.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 21.5) \cdot (21.5 - 0)) = 0.46844 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |57.93 - 0.46844 + 71.115|; |57.93 - 0.46844 + 25.286|; |57.93 + 0.46844| \} = 128.58 \text{ МПа}$$

128.58 МПа ≤ 347.25 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S₀:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 56.731 = 56.731 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S₀ (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

56.731 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 57.93 = 57.93 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 + 4 \cdot 0 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 0)) = 0.7649 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.14246 \cdot 303 / (2 \cdot (13.5 - 0)) = 1.5988 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |57.93 \pm 0.7649|; |0.3 \cdot 57.93 \pm 1.5988|; |0.7 \cdot 57.93 \pm (0.7649 - 1.5988)| \} = 58.695 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_F = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

58.695 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 303^2 \cdot 0.14246 + 0 - 4 \cdot 0 / (303 + 13.5)) / (3.1416 \cdot (303 + 13.5) \cdot (13.5 - 0)) = 0.7649 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |57.93 \pm 0.7649|; |0.3 \cdot 57.93 \pm 1.5988|; |0.7 \cdot 57.93 \pm (0.7649 - 1.5988)| \} = 58.695 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист	
								271	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

90651-20600-AM-02-223 РР

$$58.695 \text{ МПа} \leq 868.64 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0m0}^p \right|; \left| \sigma_{0mm}^p \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{\text{Pmo}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_{\text{Pmr}}^{\text{P}} \right| \right\} = \max \{ 1.5988; 0.7649 \} = 1.5988 \text{ МПа}$$

$$1.5988 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 69.643; | 24.762 \} = 69.643 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

$$69.643 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^p \right|, \left| \sigma_T^p \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_I^P \right| \right\} = \max \{ 71.115; 25.286 \} = 71.115 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_m = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

$$71.115 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 7365.4 \cdot 0.83744 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.061681^\circ$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\text{H}] = 0.34377^\circ$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

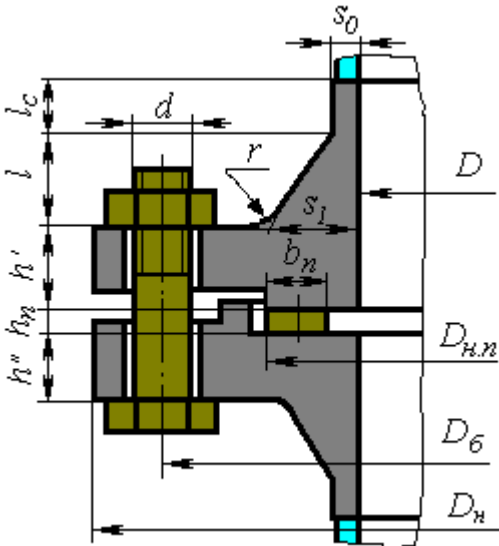
$$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^\circ$$

Условие жёсткости выполнено.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 PP		Лист
							272

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист	
								273	
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

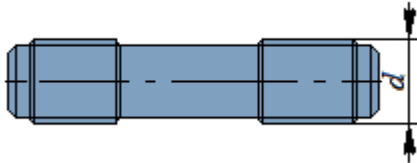
Фланцевое соединение V1



Эскиз элемента

Исходные данные

Тип фланцев: Приварные встык
 Исполнение: Выступ-впадина
 Диаметр болтовой окружности, D_б: 125 мм
 Шпильки:



Крепеж

Материал: 35 Крепеж
 Наружный диаметр, d: 16мм
 Количество, n: 4
 Контроль затяжки: Без контроля затяжки

Прокладка:

Материал прокладки: Прокладка ТРГ универсальная
 Толщина, h_п: 2 мм
 Наружный диаметр, D_{н.п.}: 87 мм
 Ширина, b_п: 15 мм

Данные первого фланца (кольца):

Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП
 245 ГОСТ 8479
 Поковка
 Наружный диаметр фланца (кольца), D_н: 160 мм
 Толщина фланца (кольца) с впадиной, h": 17 мм
 Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 48 мм
 Сумма прибавок, с: 3 мм
 Длина конической части втулки, l: 20 мм
 Длина цилиндрической части втулки, l_с: 8 мм
 Толщина цилиндрической части втулки, s₀: 5 мм
 Толщина конической части втулки, s₁: 14 мм
 Радиус перехода, r: 5 мм

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
Данные второго фланца (кольца):							
Материал фланца (кольца):		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка					
Наружный диаметр фланца (кольца), Dн:		160 мм					
Толщина фланца (кольца) с выступом, h'		20 мм					
Внутренний диаметр фланца (кольца), D:		48 мм					
Сумма прибавок, с:		3 мм					
Длина конической части втулки, l:		20 мм					
Длина цилиндрической части втулки, lc:		8 мм					
Толщина цилиндрической части втулки, s0:		5 мм					
Толщина конической части втулки, s1:		14 мм					
Радиус перехода, r:		5 мм					
Расчёт в рабочих условиях							
Условия нагружения:							
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:		0 Н					
Расчётный изгибающий момент, M:		0 Н·м					
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:		0.070000 МПа					
Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017							
Расчётная температура элементов соединения:							
Температура фланца (кольца), tф:		100 °С					
Температура фланца (кольца), tф:		100 °С					
Температура болтов (шпилек), tб:		97 °С					
Свойства материала болтов (шпилек)							
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):							
[σ]6=		126 МПа					
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:							
E6=		2.1011·10 ⁵ МПа					
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:							
α6=		0.111·10 ⁻⁴ /°С					
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):							
[σ] ²⁰ 6=		130 МПа					
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:							
E ²⁰ 6=		2.13·10 ⁵ МПа					
Свойства материала фланца (кольца) 1							
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):							
[σ]ф1=		144 МПа					
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:							
E1=		1.91·10 ⁵ МПа					
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:							
α1=		0.116·10 ⁻⁴ /°С					
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):							
[σ] ²⁰ ф1=		164.5 МПа					
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:							
E ²⁰ 1=		1.99·10 ⁵ МПа					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.					Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР				274
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	Свойства материала фланца (кольца)2					
	Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ] _{ф2} = 144 МПа Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 100 °С: Е ₂ =1.91·10 ⁵ МПа Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 100 °С: α ₂ =0.116·10 ⁻⁴ /°С Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия): [σ] ²⁰ _{ф2} = 164.5 МПа Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С: Е ²⁰ ₂ =1.99·10 ⁵ МПа					
	Расчётные параметры болтов (шпилек): Рабочая длина болта (шпильки): L _{б0} = h' + h'' + h _п + h _ш ' + h _ш '' = 17 + 20 + 2 + 0 + 0= 39 мм Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): f _б = 144 мм ² Эффективная длина шпильки: L _б = L _{б0} + 0.56 · d = 39 + 0.56 · 16= 47.96 мм Податливость шпилек: $y_{б} = \frac{L_{б}}{E_{б}^{20} \cdot f_{б} \cdot n} = 47.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.39091 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$					
Взам. инв. №	Расчётные параметры первого фланца: $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5=2.8$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2}=1.291$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$ Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык: s ₃ = κ · s ₀ = 2.0369·5= 10.185мм $l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2}= 15.492 \text{ мм}$ β _F = 0.65336 $K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48= 3.3333$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$ β _V = 0.074265 $\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 17^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.0242$ Угловая податливость фланца при затяжке:					
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						275

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<div>Взам. инв. №</div> <div>Подп. и дата</div> <div>Инв. № подл.</div>		$\gamma_{\Phi} = \frac{0.91 \cdot \beta_{\gamma}}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.0242 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $\gamma_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\text{н}} \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D₆ – D_{сп}) = 0.5 · (125 – 72) = 26.5 мм</p> <p>e = 0.5 · (D_{сп} – D – s_з) = 0.5 · (72 – 48 – 10.185) = 6.9076мм</p> <p>Расчётные параметры второго фланца:</p> <p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2.8$</p> <p>$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20 / (48 \cdot 5)^{1/2} = 1.291$</p> <p>$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$</p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p>s_з = κ · s₀ = 2.0369 · 5 = 10.185мм</p> <p>l₀ = $\sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$</p> <p>β_F = 0.65336</p> <p>K = $\frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$</p> <p>$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$</p> <p>β_γ = 0.074265</p> <p>$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$</p> <p>$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_{\gamma} \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 20^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.4537$</p> <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $\gamma_{\Phi} = \frac{0.91 \cdot \beta_{\gamma}}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.4537 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.20475 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $\gamma_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\text{н}} \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 20^3) = 0.13622 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D₆ – D_{сп}) = 0.5 · (125 – 72) = 26.5 мм</p> <p>e = 0.5 · (D_{сп} – D – s_з) = 0.5 · (72 – 48 – 10.185) = 6.9076мм</p>					Лист	
		90651-20600-AM-02-223 РР					276	
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
		90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx						
		Формат А4						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР
Характеристики прокладки						
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная		3	20	70	1	2000
Эффективная ширина прокладки : b ₀ =15 мм						
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{ТРГ}} & \text{при } b_{\text{ТРГ}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{ТРГ}}} & \text{при } b_{\text{ТРГ}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$						
Рабочий наружный диаметр прокладки: D _{ТРГ} = min{D ₄ ; D _{нп} } = min{87; 87} = 87 мм						
Средний эффективный диаметр прокладки: D _{ст} = D _{ТРГ} - b ₀ = 87 - 15 = 72 мм						
Податливость прокладки (п. 3.3): $y_{\text{п}} = \frac{b_{\text{н}} \cdot K}{E_{\text{н}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{ТРГ}}} = 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 0.29473 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$						
Расчёт нагрузок:						
Равнодействующая давления: Q _д = 0.785 · D _{ст} ² · p = 0.785 · 72 ² · 0.070000 = 284.86 Н						
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: R _п = π · D _{ст} · b ₀ · m · p = 3.1416 · 72 · 15 · 3 · 0.070000 = 712.51 Н						
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: P _{обж} = 0.5 · π · D _{ст} · b ₀ · q _{обж} = 0.5 · 3.1416 · 72 · 15 · 20 = 33929 Н						
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки) $\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{с}} + y'_{\text{ф}} \cdot b'^2 + y''_{\text{ф}} \cdot b''2 = 0.29473 \cdot 10^{-6} + 0.39091 \cdot 10^{-6} + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.12408 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$						
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой: $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y'_{\text{ф}} \cdot e' \cdot b' + y''_{\text{ф}} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ = 1 - (0.29473 · 10 ⁻⁶ - (0.2482 · 10 ⁻⁴ · 6.9076 · 26.5 + 0.20475 · 10 ⁻⁴ · 6.9076 · 26.5)) / 0.12408 · 10 ⁻⁵ = 0.8791						
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{с}} + y'_{\text{фМ}} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y''_{\text{фМ}} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{с}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{с}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y'_{\text{фМ}} \cdot b'^2 + y''_{\text{фМ}} \cdot b''2}$ = [0.39091 · 10 ⁻⁶ + 0.22181 · 10 ⁻⁴ · 26.5 · (26.5 + 6.9076 - 6.9076 ² / 72) + 0.13622 · 10 ⁻⁴ · 26.5 · (26.5 + 6.9076 - 6.9076 ² / 72)] / [0.39091 · 10 ⁻⁶ + 0.29473 · 10 ⁻⁶ · (125 / 72) ² + 0.22181 · 10 ⁻⁴ · 26.5 ² + 0.22181 · 10 ⁻⁴ · 26.5 ²] = 0.54313						
$P_{\text{с1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 0.8791 \cdot (284.86 + 0) + 712.51 + 4 \cdot 0.54313 \cdot 0 / 72 = 962.93 \text{ Н}$						
					90651-20600-AM-02-223 РР	
					Лист	
					277	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)

$$P_{б1} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{ст}} = 0.8791 \cdot (284.86 + 0) + 712.51 + 4 \cdot 0.54313 \cdot |0| / 72 = 962.93 \text{ Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:

$$A_б = n \cdot f_б = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{б2} = \max \{ P_{обж}; 0.4 \cdot A_б \cdot [\sigma]_б^{20} \} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$$

Расчёт без учета стесненности температурных деформаций

Расчёт болтов(шпилек):

Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$

Коэффициент условий работы: $K_{ур} = 1$

Коэффициент условий затяжки: $K_{уз} = 1$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{ут} = 1$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:

$$[\sigma]_б^M = \xi \cdot K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_б^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_б^M = \max \{ P_{б1}; P_{б2} \} = \max \{ 962.93; 33929 \} = 33929 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{б1} = \frac{P_б^M}{A_б} \leq [\sigma]_б^M$$

$$\sigma_{б1} = \frac{P_б^M}{A_б} = 33929 / 576 = 58.905 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_б^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н·м}$$

При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 30.536 \text{ Н·м}$

$58.905 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_б^P = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_б = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_б^P = P_б^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{ст}} = 33929 + (1 - 0.8791) \cdot (284.86 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.54313) \cdot |0| / 72 = 33964 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{б2} = \frac{P_б^P}{A_б} \leq [\sigma]_б^P$$

$$\sigma_{б2} = \frac{P_б^P}{A_б} = 33964 / 576 = 58.965 \text{ МПа}$$

$58.965 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_б^P = P_б^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{ст}} = 33929 + (1 - 0.8791) \cdot (284.86 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.54313) \cdot |0| / 72 = 33964 \text{ Н}$$

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max \{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{фл}}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max \{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{фл}}} = \max\{33929; 33964\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10.01 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.028 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max\{75.028 + 79.267; |75.028 + 45.029|\} = 154.29 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

$$154.29 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{фл}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 75.028 + 79.267; 75.028 + 45.029 \} = 154.29 \text{ МПа}$ Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3.3333$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$ $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$ $154.29 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Приведенная нагрузка от внешней силы и момента: $Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{от}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$			
		Подп. и дата		Изм. № подл.	
Изм.	Лист				

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
279

$$Q_{FM} = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 33964 \cdot 26.5 + (284.86 + 0) \cdot 6.9076; |284.86 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1143 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1143 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.269 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1143 = 79.52 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1143 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.52 = 45.173 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{мм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.059090 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |75.269 - 0.059090 + 79.52|; |75.269 - 0.059090 + 45.173|; |75.269 + 0.059090| \} = 154.73 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

154.73 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

$$\sigma_{\text{мм}}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.059090 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{мм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{мм}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |75.269 - 0.059090 + 79.52|; |75.269 - 0.059090 + 45.173|; |75.269 + 0.059090| \} = 154.73 \text{ МПа}$$

154.73 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 75.028 = 75.028 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

75.028 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 75.269 = 75.269 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

Взам. инв. №	<p>Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):</p> $\sigma_0^{\pi} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20}$ <p>Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p> $[\sigma]_{\text{R}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ <p>75.028 МПа \leq 641.55 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0:</p> $\sigma_0^{\text{P}} = f \cdot \sigma_1^{\text{P}} = 1 \cdot 75.269 = 75.269 \text{ МПа}$ <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):</p>					
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
					90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
						280
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.38018 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 3)) = 0.84 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 75.269 \pm 0.38018; |0.3 \cdot 75.269 \pm 0.84|; |0.7 \cdot 75.269 \pm (0.38018 - 0.84)| \} = 75.649 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561.6 \text{ МПа}$$

75.649 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.38018 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 75.269 \pm 0.38018; |0.3 \cdot 75.269 \pm 0.84|; |0.7 \cdot 75.269 \pm (0.38018 - 0.84)| \} = 75.649 \text{ МПа}$$

75.649 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 0.84; |0.38018| \} = 0.84 \text{ МПа}$$

0.84 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 79.267; |45.029| \} = 79.267 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$$

79.267 МПа ≤ 164.5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 79.52; |45.173| \} = 79.52 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$$

79.52 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1143 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.029557^\circ$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\varpi] = 0.34377^\circ$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_{\varpi} = 1$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР					Лист
								281
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^\circ$$

Условие жёсткости выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 20 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1.217$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.217 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1094.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 0.44314 / (1 + 1.8); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1094.2 / (2.4537 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 59.443 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1094.2 = 49.282 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1094.2 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.282 = 38.099 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |59.443 + 49.282|; |59.443 + 38.099| \} = 108.73 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{жк}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

$108.73 \text{ МПа} \leq 296.1 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \right\} = 1.217 \cdot \max \{ 33964 \cdot 26.5 + (284.86 + 0) \cdot 6.9076; |284.86 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1097.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Взам. инв. №	$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$ <p>Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$</p> $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$ <p>108.73 МПа ≤ 296.1 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:</p> $Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot M }{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ $Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot M }{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot 0 / 72 = 0 \text{ Н}$ <p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:</p> $M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}} \cdot e \right\} = 1.217 \cdot \max \{ 33964 \cdot 26.5 + (284.86 + 0) \cdot 6.9076; 284.86 + 0 \cdot 6.9076 \} = 1097.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$				

Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							282
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^p = \frac{M^p}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1097.7 / (2.4537 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 59.634 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^p = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^p = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1097.7 = 49.44 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1097.7 / (20^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 49.44 = 38.221 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{lim}}^{\text{p+}} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.059090 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 59.634 - 0.059090 + 49.44; |59.634 - 0.059090 + 38.221|; |59.634 + 0.059090| \} = 109.01 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_c \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}} = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

$$109.01 \text{ МПа} \leq 259.2 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (–):

$$\sigma_{\text{lim}}^{\text{p-}} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.059090 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{lim}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{M}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{lim}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ 59.634 - 0.059090 + 49.44; |59.634 - 0.059090 + 38.221|; |59.634 + 0.059090| \} = 109.01 \text{ МПа}$$

$109.01 \text{ МПа} \leq 259.2 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^{\pi} = f \cdot \sigma_1^{\pi} = 1 \cdot 59.443 = 59.443 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ш}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

$59.443 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 59.634 = 59.634 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^+ = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.38018 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 3)) = 0.84 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$ $1.3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$ $59.443 \text{ МПа} \leq 641.55 \text{ МПа,}$ Условие прочности выполнено. <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0:</p> $\sigma_{\text{б}}^{\text{Р}} = f \cdot \sigma_1^{\text{Р}} = 1 \cdot 59.634 = 59.634 \text{ МПа}$ <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):</p> $\sigma_{\text{бmm}}^{\text{Р}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 3)) = 0.38018 \text{ МПа}$ <p>Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0:</p> $\sigma_{\text{бmo}}^{\text{Р}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 3)) = 0.84 \text{ МПа}$	90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
						Изм.		Лист

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 59.634 \pm 0.38018; |0.3 * 59.634 \pm 0.84|; |0.7 * 59.634 \pm (0.38018 - 0.84)| \} = 60.014 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 * 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 * 432 = 561.6 \text{ МПа}$$

60.014 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 * 48^2 * 0.070000 + 0 - 4 * 0 / (48 + 5)) / (3.1416 * (48 + 5) * (5 - 3)) = 0.38018 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 59.634 \pm 0.38018; |0.3 * 59.634 \pm 0.84|; |0.7 * 59.634 \pm (0.38018 - 0.84)| \} = 60.014 \text{ МПа}$$

60.014 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 0.84; |0.38018| \} = 0.84 \text{ МПа}$$

0.84 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 49.282; |38.099| \} = 49.282 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$$

49.282 МПа ≤ 164.5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 49.44; |38.221| \} = 49.44 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 * 144 = 144 \text{ МПа}$$

49.44 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1097.7 * 0.20475 \cdot 10^{-4} * 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.023417^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\varpi] = 0.34377^{\circ}$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 * 0.34377 = 0.34377^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:

$$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} \leq 120^{\circ} \text{C}$$

$$\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon} \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100^{\circ} \text{C}$$

Взам. инв. №		Жёсткость фланца: Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1097.7 * 0.20475 \cdot 10^{-4} * 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.023417^{\circ}$						
		Допускаемый угол поворота фланца: $[\Theta] = 0.34377^{\circ}$ Условие выполнения жесткости фланцев: $\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 * 0.34377 = 0.34377^{\circ}$ Условие жёсткости выполнено. Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017: $\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\Phi}\} \leq 120^{\circ}C$ $\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\Phi}\} = \max \{100; 100; 97\} = 100^{\circ}C$						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
							90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
								284
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР			
<p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}C) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}C)}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}C)}$ <p>= [0.116·10⁻⁴ * 20 * (100 – 20°С) + 0.116·10⁻⁴ * 17 * (100 – 20°С)] / [0.111·10⁻⁴ * (20 + 17) * (97 – 20°С)]</p> <p>= 1.0858</p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при T_{max} < 120°С допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> <p>δ_t > 1</p> <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ <p>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</p> <p>Условия нагружения:</p> <p>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н</p> <p>Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.10179 МПа</p> <p>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), t_б: 20 °С</p> <p>Свойства материала болтов (шпилек)</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> <p>[σ]²⁰_б= 130 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>E²⁰_б=2.13·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>α²⁰_б=0.111·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца) 1</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\Phi 1}^{20} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E²⁰₁=1.99·10⁵ МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α²⁰₁=0.116·10⁻⁴/°С</p> <p>Свойства материала фланца (кольца)2</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p>								
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист		
			90651-20600-AM-02-223 РР					
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	285

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

$s_3 = K \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$

$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$

$\beta_F = 0.65336$

$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = \frac{(3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1)}{((1.05 + 1.945 \cdot 3.333^2) \cdot (3.333 - 1))} = 1.1307$

$\beta_V = 0.074265$

$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = \frac{(3.333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.333) - 1)}{(1.36 \cdot (3.333^2 - 1) \cdot (3.333 - 1))} = 1.8633$

$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = \frac{(0.65336 \cdot 20 + 15.492)}{(1.1307 \cdot 15.492)} + \frac{0.074265 \cdot 20^3}{(1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2)} = 2.4537$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$Y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = \frac{0.91 \cdot 0.074265}{(1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.4537 \cdot 5^2 \cdot 15.492)} = 0.20475 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$Y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = \frac{(3.1416 / 4)^3 \cdot 125}{(1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 20^3)} = 0.13622 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$

Плечи моментов:

$a = 0$

$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$

$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _п , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :

$b_0 = 15 \text{ мм}$

Примечание:
$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$D_{\text{тпф}} = \min\{D_4; D_{\text{нп}}\} = \min\{87; 87\} = 87 \text{ мм}$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$D_{\text{сш}} = D_{\text{тпф}} - b_0 = 87 - 15 = 72 \text{ мм}$

Податливость прокладки (п. 3.3):

$Y_{\text{п}} = \frac{h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_{\text{тп}}} = \frac{2 \cdot 1}{(2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15)} = 0.29473 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$Q_d = 0.785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 72^2 \cdot 0.10179 = 414.25 \text{ Н}$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot [p] = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot [0.10179] = 1036.1 \text{ Н}$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

287

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)

Рабочая длина болта (шпильки):
 $L_{\text{б0}} = h' + h'' + h_{\text{п}} + h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}}'' = 17 + 20 + 2 + 0 + 0 = 39 \text{ мм}$

Эффективная длина шпильки:
 $L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 39 + 0.56 \cdot 16 = 47.96 \text{ мм}$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):
 $f_{\text{б}} = 144 \text{ мм}^2$

Податливость шпилек:
 $y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 47.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.39091 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$

$\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^2 + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^2 = 0.29473 \cdot 10^{-6} + 0.39091 \cdot 10^{-6} + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.12408 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:
 $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$
 $= 1 - (0.29473 \cdot 10^{-6} - (0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5 + 0.20475 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 \cdot 26.5)) / 0.12408 \cdot 10^{-5} = 0.8791$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:
 $\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}' \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ф}}} \right) + y_{\text{фМ}}'' \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ф}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ф}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}' \cdot b'^2 + y_{\text{фМ}}'' \cdot b''^2}$
 $= [0.39091 \cdot 10^{-6} + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72) + 0.13622 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.39091 \cdot 10^{-6} + 0.29473 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2] = 0.54313$

$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ф}}} = 0.8791 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.54313 \cdot |0| / 72 = 1400.3 \text{ Н}$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)

$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ф}}} = 0.8791 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.54313 \cdot |0| / 72 = 1400.3 \text{ Н}$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:
 $A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:
 $P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$

Расчёт без учета стесненности температурных деформаций

Расчёт болтов(шпилек):

Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$

Коэффициент условий работы: $K_{\text{уп}} = 1.35$

Коэффициент условий затяжки: $K_{\text{уз}} = 1$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: $K_{\text{ут}} = 1$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:
 $[\sigma]_{\text{б}}^{\text{т}} = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} = 1.2 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210.6 \text{ МПа}$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:
 $P_{\text{б}}^{\text{т}} = \max \{ P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}} \} = \max \{ 1400.3; 33929 \} = 33929 \text{ Н}$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
288

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^M}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^M$$

$$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^M}{A_{\epsilon}} = 33929 / 576 = 58.905 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{\text{зп}} = 0.3 \cdot \frac{P_{\epsilon}^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{\text{кр}} = 30.536 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$58.905 \text{ МПа} \leq 210.6 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_{\epsilon}^P = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\epsilon} = 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175.5 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\epsilon}^P = P_{\epsilon}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 33929 + (1 - 0.8791) \cdot (414.25 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.54313) \cdot |0| / 72 = 33979 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^P}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^P$$

$$\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^P}{A_{\epsilon}} = 33979 / 576 = 58.992 \text{ МПа}$$

$58.992 \text{ МПа} \leq 175.5 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\epsilon}^P = P_{\epsilon}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 33929 + (1 - 0.8791) \cdot (414.25 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.54313) \cdot |0| / 72 = 33979 \text{ Н}$$

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_{\epsilon}^M, P_{\epsilon}^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_{\epsilon}^M, P_{\epsilon}^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} = \max\{33929; 33979\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10.015 \text{ МПа}$$

$[q] = 70 \text{ МПа}$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\epsilon}}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_{\epsilon}^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0\right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

Взам. инв. №		<p>коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p> $C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1.2671$					
Подп. и дата		<p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p> $M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 0.44314 / (1 + 1.8); 1.0 \} = 1$ <p>$D^* = D + c + s_{1\text{при}} (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$</p> <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1:</p>					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист
							289
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.319 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 46.319 + 79.267; | 46.319 + 45.029 | \} = 125.59 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

125.59 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \right\} = 1.2671 \cdot \max \{ 33979 \cdot 26.5 + (414.25 + 0) \cdot 6.9076; |414.25 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1144.6 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1144.6 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.534 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1144.6 = 79.636 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1144.6 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.636 = 45.239 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.067516 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 290
Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм. инв. №	Подп. и дата	Изм. инв. №	Подп. и дата	Изм. инв. №

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 46.534 - 0.067516 + 79.636; 46.534 - 0.067516 + 45.239; 46.534 + 0.067516 \} = 126.1 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

126.1 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₁ (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.067516 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ 46.534 - 0.067516 + 79.636; 46.534 - 0.067516 + 45.239; 46.534 + 0.067516 \} = 126.1 \text{ МПа}$$

126.1 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S₀:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 46.319 = 46.319 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S₀ (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

46.319 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 46.534 = 46.534 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.22115 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10179 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0.48861 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S₀:

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 46.534 \pm 0.22115; 0.3 \cdot 46.534 \pm 0.48861; 0.7 \cdot 46.534 \pm (0.22115 - 0.48861) \} = 46.756 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_F = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

46.756 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S₀ (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3.1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0.22115 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 46.534 \pm 0.22115; 0.3 \cdot 46.534 \pm 0.48861; 0.7 \cdot 46.534 \pm (0.22115 - 0.48861) \} = 46.756 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

291

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	46.756 МПа ≤ 868.64 МПа, Условие прочности выполнено.				
	Расчет в сечении s₀ в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):				
	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s ₀ :				
	$\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_{0mo}^P \right ; \left \sigma_{0mm}^P \right \right\} = \max\{0.48861; 0.22115 \} = 0.48861 \text{ МПа}$ <p>0.48861 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> Условие статической прочности при затяжке для тарелок:				
$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{79.267; 45.029 \} = 79.267 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>79.267 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
$\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{79.636; 45.239 \} = 79.636 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ <p>79.636 МПа ≤ 222.73 МПа, Условие прочности выполнено.</p>					
Жёсткость фланца:					
Угол поворота фланца в рабочих условиях:					
$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1144.6 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.028410^{\circ}$					
Допускаемый угол поворота фланца:					
$[\Theta] = 0.34377^{\circ}$					
Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K _Θ = 1.3					
Условие выполнения жесткости фланцев:					
$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^{\circ}$					
Условие жёсткости выполнено.					
Расчёт второго фланца:					
Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:					
$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\Phi}}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 20 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.217$					
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:					
$M^M = C_F \cdot P_{\Phi}^M \cdot b = 1.217 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1094.2 \text{ Н·м}$					
$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$					
$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$					
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s ₁ :					
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1094.2 / (2.4537 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 36.697 \text{ МПа}$					
Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 20 + 15.492) / (2.4537 \cdot 20^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1094.2 = 49.282 \text{ МПа}$					
Взам. инв. №		Подп. и дата		90651-20600-AM-02-223 РР	
				Лист	
Инв. № подл.				292	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3.3333 - 1) * (0.69 + 5.72 * 3.3333^2 * \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 * 1094.2 / (20^2 * 48) - 1.1978 * 49.282 = 38.099 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |36.697 + 49.282|; |36.697 + 38.099| \} = 85.979 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1.5 * 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 * 1 * 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

85.979 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 * |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 * |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.217 * \max \{ 33979 * 26.5 + (414.25 + 0) * 6.9076; |414.25 + 0| * 6.9076 \} = 1099.3 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1099.3 / (2.4537 * (14 - 0)^2 * 62) = 36.868 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 * 0.65336 * 20 + 15.492) / (2.4537 * 20^2 * 15.492 * 48) * 1099.3 = 49.512 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 * 1099.3 / (20^2 * 48) - 1.1978 * 49.512 = 38.277 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 * 48^2 * 0.10179 + 0 + 4 * 0 / (48 + 14)) / (3.1416 * (48 + 14) * (14 - 0)) = 0.067516 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |36.868 - 0.067516 + 49.512|; |36.868 - 0.067516 + 38.277|; |36.868 + 0.067516| \} = 86.312 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1.5 * 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 * 1 * 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

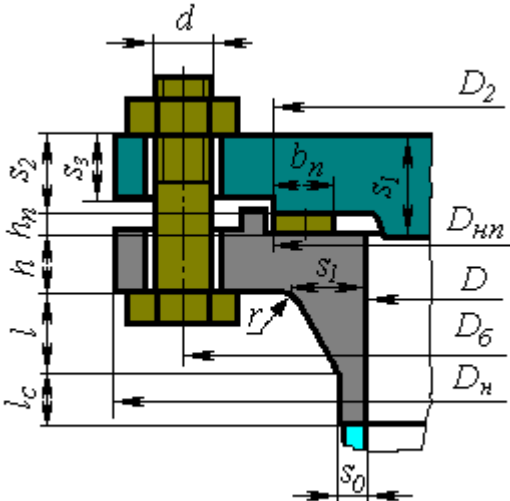
86.312 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
Лист	№ док.
Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР	
Лист	
293	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист	
								296	
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Крышка плоская М1



Эскиз элемента

Исходные данные

Параметры крышки:

Материал:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ

8479 Поковка

Толщина стенки, s_1 :

36 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, s_1 :

3 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, s_2 :

0 мм

Прибавка технологическая, s_3 :

0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c :

3 мм

Толщина в месте прокладки, s_2 :

32 мм

Толщина вне уплотнения, s_3 :

26 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части, D_2 :

663 мм

Наружный диаметр крышки, D_n :

740 мм

Коэффициент прочности сварного шва:

$\varphi_p = 1$

Параметры фланца:

Тип фланца:

Приварные встык

Исполнение фланца:

Выступ-впадина

Диаметр болтовой окружности, D_6 :

700мм

Материал фланца:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ

8479 Поковка

Смежный элемент:

Люк-лаз (М1)

Материал смежного элемента:

09Г2С Лист

Толщина стенки смежного элемента:

10 мм

Внутренний диаметр фланца, D :

600 мм

Наружный диаметр фланца, D_n :

740 мм

Толщина фланца, h :

30 мм

Сумма прибавок, c :

3 мм

Длина конической части втулки, l :

36 мм

Длина цилиндрической части втулки, l_c :

0 мм

Толщина цилиндрической части втулки, s_0 :

8 мм

Толщина конической части втулки, s_1 :

20 мм

Радиус перехода, r :

7 мм

90651-20600-AM-02-223 РР

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_{\text{th}} = 0.116 \cdot 10^{-4} 1/^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]^{20}_{\phi} = 164.5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{\phi}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E_n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :

$b_0 = 13 \text{ mm}$

Примечание:
$$\begin{cases} b_0 = b_{np} & \text{при } b_{np} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{np}} & \text{при } b_{np} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{пш}} = \min\{D_4; D_{\text{нп}}\} = \min\{663; 663\} = 663 \text{ мм}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$$D_{\text{eff}} = D_{\text{med}} - b_0 = 663 - 13 = 650 \text{ mm}$$

Податливость прокладки (п. 3.3):

$$y_{\pi} = \frac{h_{\pi} \cdot K}{E_{\pi} \cdot \pi \cdot D_{\pi} \cdot b_{\pi}} = 2.9 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 650 \cdot 13) = 0.54621 \cdot 10^{-7} \text{ mm/H}$$

Расчётные параметры болтов (шпилек):

Рабочая длина болта (шпильки):

$$L_{s0} = h + s_2 + h_{\pi} + h'_{\pi\pi} + h''_{\pi\pi} = 32 + 30 + 2.9 + 0 + 0 = 64.9 \text{ mm}$$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):

$$f_6 = 225 \text{ mm}^2$$

Эффективная длина шпильки:

$$L_E = L_{E0} + 0.56 \cdot d = 64.9 + 0.56 \cdot 20 = 76.1 \text{ mm}$$

Податливость шпилек:

$$y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 76.1 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 28) = 0.56711 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры крыши:

$$K_{\text{xp}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{п}}} = 740 / 650 = 1.1385$$

$$x_{xp} = \frac{0.67 \cdot [K_{xp}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{xp}) - 1]}{(K_{xp} - 1) \cdot [K_{xp}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{xp}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0.67 \cdot (1.1385^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1.1385)) - 1)}{(1.1385 - 1) \cdot [1.1385^2 - 1 + (1.857 \cdot 1.1385^2 + 1) \cdot (36/32)^3]} = 0.86513$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{kp}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	$\gamma_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 76.1 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 28) = 0.56711 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$				
	<p>Расчётные параметры крышки:</p> $K_{кр} = \frac{D_H}{D_{от}} = 740 / 650 = 1.1385$ $x_{кр} = \frac{0.67 \cdot [K_{кр}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{кр}) - 1]}{(K_{кр} - 1) \cdot [K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0.67 \cdot (1.1385^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1.1385)) - 1)}{(1.1385 - 1) \cdot [1.1385^2 - 1 + (1.857 \cdot 1.1385^2 + 1) \cdot (36 / 32)^3]} = 0.86513$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: $E_{кр}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p>				
Подп. и дата					
Инв. № подл.	<div> <div>90651-20600-AM-02-223 PP</div> <div>Лист 298</div> </div>				
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Угловая податливость крышки:
$$\gamma_{кр} = \frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0.86513 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 32^3) = 0.76015 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Расчётные параметры фланца:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (600 \cdot 8)^{1/2} = 69.282 \text{ мм}$$
$$\beta_F = 0.8119$$
$$K = \frac{D_K}{D} = 740 / 600 = 1.2333$$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.2333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.2333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.2333^2) \cdot (1.2333 - 1)) = 1.8236$$
$$\beta_V = 0.17984$$
$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.2333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.2333) - 1) / (1.36 \cdot (1.2333^2 - 1) \cdot (1.2333 - 1)) = 10.314$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.8119 \cdot 30 + 69.282) / (1.8236 \cdot 69.282) + 0.17984 \cdot 30^3 / (10.314 \cdot 69.282 \cdot 8^2) = 0.84733$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$\gamma_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.17984 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.84733 \cdot 8^2 \cdot 69.282) = 0.12542 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$
$$b = 0.5 \cdot (D_\Phi - D_{сш}) = 0.5 \cdot (700 - 650) = 25 \text{ мм}$$
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 20/8 = 2.5$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 36 / (600 \cdot 8)^{1/2} = 0.51962$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.5 - 1) \cdot 0.51962 / (0.51962 + (1 + 2.5) / 4) = 1.5589$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.5589 \cdot 8 = 12.471 \text{ мм}$$
$$e = 0.5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0.5 \cdot (650 - 600 - 12.471) = 18.764 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:
$$Q_d = 0.785 \cdot D_{сш}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 650^2 \cdot 0.070000 = 23216 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:
$$R_\pi = \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3.1416 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 3 \cdot |0.070000| = 5574.8 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:
$$P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 20 = 2.6546 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)

$$\eta = \gamma_\pi + \gamma_\Phi + \gamma_\Phi' \cdot b'^2 + \gamma_\Phi'' \cdot b''2 = 0.54621 \cdot 10^{-7} + 0.56711 \cdot 10^{-7} + 0.76015 \cdot 10^{-5} \cdot 25^2 + 0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 25^2 = 0.33106 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{\gamma_\pi - (\gamma_\Phi \cdot e + \gamma_{кр} \cdot b)}{\eta} = 1 - (0.54621 \cdot 10^{-7} - (0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 18.764 + 0.76015 \cdot 10^{-5} \cdot 25) \cdot 25) / 0.33106 \cdot 10^{-6} = 1.3957$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
299

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP
<div>20 °C: E²⁰_{кр}=1.99·10⁵ МПа Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 700 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 740 \cdot 32^3) = 0.40268 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 700 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 740 \cdot 30^3) = 0.4887 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\Phi}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\Phi}}\right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\Phi}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$ $= [0.56711 \cdot 10^{-7} + 0.40268 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot (25 + 25 - 25^2 / 650) + 0.4887 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot (25 + 18.764 - 18.764^2 / 650)] / [0.56711 \cdot 10^{-7} + 0.54621 \cdot 10^{-7} \cdot (700 / 650)^2 + 0.40268 \cdot 10^{-5} \cdot 25^2 + 0.40268 \cdot 10^{-5} \cdot 25^2]$ $= 1.0817$ $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\Phi}} = 1.3957 \cdot (23216 + (-1622.9)) + 5574.8 + 4 \cdot 1.0817 \cdot 0 / 650 = 35712 \text{ Н}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки) $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\Phi}} = 1.3957 \cdot (23216 + 0) + 5574.8 + 4 \cdot 1.0817 \cdot 0 / 650 = 37977 \text{ Н}$ Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: $A_6 = n \cdot f_6 = 28 \cdot 225 = 6300 \text{ мм}^2$ Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: $P_{62} = \max \{P_{обж}; 0.4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20}\} = \max \{2.6546 \cdot 10^5; 0.4 \cdot 6300 \cdot 130 = 3.276 \cdot 10^5\} = 3.276 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Расчёт без учета стесненности температурных деформаций Расчёт болтов(шпилек): Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$ Коэффициент условий работы: $K_{yp} = 1$ Коэффициент условий затяжки: $K_{y3} = 1$ Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: $[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{y3} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ В соответствии с п.4.4 ГОСТ 34233.4-2017 фланцевые соединения должны отвечать условиям прочности и плотности как в случае учета внешней осевой силы и изгибающего момента, так и при расчете только на действие давления. Проводятся оба расчета, в отчет выводится худший случай. Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки) $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\Phi}} = 1.3957 \cdot (23216 + (-1622.9)) + 5574.8 + 4 \cdot 1.0817 \cdot 0 / 650 = 35712 \text{ Н}$ Болтовая нагрузка в условиях затяжки: $P_6^M = \max \{P_{61}; P_{62}\} = \max \{35712; 3.276 \cdot 10^5\} = 3.276 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Условие прочности при затяжке:</div>				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 PP	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
				Лист
				300

90651-20600-AM-02-223 PP изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №	Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке: $M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3.276 \cdot 10^5 \cdot 25 = 8190 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $D^* = (D + 2 \cdot c)_{\text{при}} (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c) = 600 + 2 \cdot 0 \text{ при } (600 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (20 - 0) = 600 \text{ мм}$ Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 : $\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 8190 / (0.84733 \cdot (20 - 3)^2 \cdot 600) = 55.742 \text{ МПа}$ Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки: $\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.8119 \cdot 30 + 69.282) / (0.84733 \cdot 30^2 \cdot 69.282 \cdot 600) \cdot 8190 = 26.269 \text{ МПа}$ $\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.2333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.2333^2 \cdot \lg 1.2333 / (1.2333^2 - 1)) = 9.4746$					
	Подп. и дата					
Изм. № подл.						
						90651-20600-AM-02-223 PP
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	301	

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 3.276 \cdot 10^5 / 6300 = 52 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 3.276 \cdot 10^5 \cdot 20 / 28 = 70.2 \text{ Н·м}$$

При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 52.65 \text{ Н·м}$

52 МПа ≤ 156 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{ст}} = 3.276 \cdot 10^5 + (1 - 1.3957) \cdot (23216 + (-1622.9)) + 4 \cdot (1 - 1.0817) \cdot |0| / 650 = 3.1906 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 3.1906 \cdot 10^5 / 6300 = 50.644 \text{ МПа}$$

50.644 МПа ≤ 126 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} = \max\{3.276 \cdot 10^5; 3.1906 \cdot 10^5\} / (3.1416 \cdot 650 \cdot 13) = 12.341 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 700 / 28 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 30 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3.276 \cdot 10^5 \cdot 25 = 8190 \text{ Н·м}$$

$$D^* = (D + 2 \cdot c)_{при (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c)} = 600 + 2 \cdot 0 \text{ при } (600 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (20 - 0) = 600 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 8190 / (0.84733 \cdot (20 - 3)^2 \cdot 600) = 55.742 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.8119 \cdot 30 + 69.282) / (0.84733 \cdot 30^2 \cdot 69.282 \cdot 600) \cdot 8190 = 26.269 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1.2333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1.2333^2 \cdot \lg 1.2333 / (1.2333^2 - 1)) = 9.4746$$

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1.2333^2 + 1) / (1.2333^2 - 1) = 4.838$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^M = 9.4746 \cdot 8190 / (30^2 \cdot 600) - 4.838 \cdot 26.269 = 16.61 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 55.742 + 26.269; | 55.742 + 16.61 | \} = 82.011 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 740 / 600 = 1.2333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1 \cdot 1 \cdot 246.75 = 246.75 \text{ МПа}$$

$82.011 \text{ МПа} \leq 246.75 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 650 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 650 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ p_E^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 3.1841 \cdot 10^5 \cdot 25 + (23216 + 0) \cdot 18.764; |23216 + 0| \cdot 18.764 \} = 8396 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 8396 / (0.84733 \cdot (20 - 3)^2 \cdot 600) = 57.144 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.8119 \cdot 30 + 69.282) / (0.84733 \cdot 30^2 \cdot 69.282 \cdot 600) \cdot 8396 = 26.93 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^P = 9.4746 \cdot 8396 / (30^2 \cdot 600) - 4.838 \cdot 26.93 = 17.028 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (600 + 20)) / (3.1416 \cdot (600 + 20) \cdot (20 - 3)) = 0.59742 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 57.144 - 0.59742 + 26.93; | 57.144 - 0.59742 + 17.028 |; | 57.144 + 0.59742 | \} = 83.476 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1 \cdot 1 \cdot 216 = 216 \text{ МПа}$$

$83.476 \text{ МПа} \leq 216 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

302

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (600 + 20)) / (3.1416 \cdot (600 + 20) \cdot (20 - 3)) = 0.59742 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |57.144 - 0.59742 + 26.93|; |57.144 - 0.59742 + 17.028|; |57.144 + 0.59742| \} = 83.476 \text{ МПа}$$

83.476 МПа ≤ 216 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 4.6909 / (1 + 1.5); 1.0 \} = 1.8764$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1.8764 \cdot 55.742 = 104.59 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

104.59 МПа ≤ 641.55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1.8764 \cdot 57.144 = 107.22 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (600 + 8)) / (3.1416 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 3)) = 2.0713 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 600 / (2 \cdot (8 - 3)) = 4.2 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |107.22 \pm 2.0713|; |0.3 \cdot 107.22 \pm 4.2|; |0.7 \cdot 107.22 \pm (2.0713 - 4.2)| \} = 109.29 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561.6 \text{ МПа}$$

109.29 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (600 + 8)) / (3.1416 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 3)) = 2.0713 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |107.22 \pm 2.0713|; |0.3 \cdot 107.22 \pm 4.2|; |0.7 \cdot 107.22 \pm (2.0713 - 4.2)| \} = 109.29 \text{ МПа}$$

109.29 МПа ≤ 561.6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №		[σ] _R = 5 · [σ] _ф = 5 · 144 = 720 МПа				
		1.3 · [σ] _R = 1.3 · 432 = 561.6 МПа				
Подп. и дата		109.29 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.				
		Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S ₀ (–):				
Инв. № подл.		$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (600 + 8)) / (3.1416 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 3)) = 2.0713 \text{ МПа}$				
		$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$				
		$\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left(\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right \right\} = \max \{ 107.22 \pm 2.0713; 0.3 \cdot 107.22 \pm 4.2 ; 0.7 \cdot 107.22 \pm (2.0713 - 4.2) \} = 109.29 \text{ МПа}$				
		109.29 МПа ≤ 561.6 МПа, Условие прочности выполнено.				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 303

Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Коэффициент ослабления для днищ, не имеющих отверстий $K_0 = 1.0$

Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением

$$\psi = \frac{P_6}{Q_d} = 3.3238 \cdot 10^5 / 23216 = 14.317$$

$$K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left(\frac{D_3}{D_{сп}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сп}}}} = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 14.317 \cdot (700 / 650 - 1)}{700 / 650}} = 0.81963$$

Поправочный коэффициент для допускаемого давления $K_p = 1.0$

Допускаемое давление:

$$[p] = \left(\frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = \left(\frac{36 - 3}{1 \cdot 0.81963 \cdot 650} \right)^2 \cdot 144 \cdot 1 \cdot 1 = 0.55249 \text{ МПа}$$

$$0.55249 \text{ МПа} \geq 0.070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0.81963 \cdot 1 \cdot 650 \cdot \sqrt{(0.070000 / (1 \cdot 144 \cdot 1))^{1/2}} + 3 = 14.746 \text{ мм}$$

$$14.746 \text{ мм} \leq 36 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сп}} - 1} = 0.8 \cdot \sqrt{700 / 650 - 1} = 0.22188$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_{кр} = 144 \text{ МПа}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, с учетом температурной нагрузки)

$$\gamma = \frac{1}{y_{п} + y_{б} \cdot \frac{E_{б}^{20}}{E_{б}} + \left(y_{ф} \cdot \frac{E_{ф}^{20}}{E_{ф}} + y_{кп} \cdot \frac{E_{кп}^{20}}{E_{кп}} \right) \cdot b^2} = \frac{1 / (0.54621 \cdot 10^{-7} + 0.56711 \cdot 10^{-7} \cdot 2.13 \cdot 10^5 / 2.1011 \cdot 10^5 + (0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5) / (1.91 \cdot 10^5 + 0.76015 \cdot 10^{-5} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5) \cdot 25^2)}{2.9322 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}}$$

Нагрузка от температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot \left(\alpha_{ф}' \cdot h' + \alpha_{ш}' \cdot h_{ш}' \right) \cdot (t_{ф1} - 20^\circ \text{C}) + \left(\alpha_{ф}'' \cdot h'' + \alpha_{ш}'' \cdot h_{ш}'' \right) \cdot (t_{ф2} - 20^\circ \text{C}) - \alpha_{б} \cdot (h' + h'' + h_{ш}' + h_{ш}'') \cdot (t_{б} - 20^\circ \text{C})$$

$$= 2.9322 \cdot 10^6 \cdot ((0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 32 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) + ((0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 30 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) - 0.111 \cdot 10^{-4} \cdot (32 + 30 + 0 + 0) \cdot (97 - 20^\circ \text{C}))$$

$$= 13326 \text{ Н}$$

$$P_{61} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{сп}} \right\} = \max \left\{ \begin{aligned} &1.3957 \cdot (23216 + (-1622.9)) + 5574.8 + 4 \cdot 1.0817 \cdot |0| / 650 = 35712 \\ &1.3957 \cdot (23216 + (-1622.9)) + 5574.8 + 4 \cdot 1.0817 \cdot |0| / 650 - 13326 = 22386 \end{aligned} \right\} = 35712 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
Лист	№ док.
Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-223 РР	
Лист	
305	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР						
Болтовая нагрузка в рабочих условиях: $P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot M }{D_{\text{ст}}} = \frac{3.276 \cdot 10^5 + (1 - 1.3957) \cdot (23216 + (-1622.9)) + 13326 + 4 \cdot (1 - 1.0817) \cdot 0 }{650} = 3.3238 \cdot 10^5 \text{ Н}$ $\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \left\{ \frac{3.3238 \cdot 10^5}{144}; \frac{3.276 \cdot 10^5}{222.73} \right\} = 2308.2 \text{ мм}^2$ Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок: $s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_{\text{ст}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.22188 \cdot 2308.2^{1/2}; 0.6 \cdot 2308.2 / 650 \} + 0 = 10.66 \text{ мм}$ $10.66 \text{ мм} \leq 32 \text{ мм}$ Заключение: Условие прочности выполнено. $K_7' = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0.8 \cdot [700 / 663 - 1]^{1/2} = 0.18899$ Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок: $s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.18899 \cdot 2308.2^{1/2}; 0.6 \cdot 2308.2 / 663 \} + 0 = 9.0797 \text{ мм}$ $9.0797 \text{ мм} \leq 26 \text{ мм}$ Заключение: Условие прочности выполнено. Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро Фланец: Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания) Условия нагружения при испытаниях: Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 1809.9 Н Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.10179 МПа По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено усло- вие: $P_{\text{исп}} < 1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ $1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.10795 \text{ МПа} \geq 0.10179 \text{ МПа}$ Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017: Свойства материала болтов (шпилек) Температура болтов (шпилек), t _б : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): [σ] ₂₀ = 130 МПа Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: E ₂₀ =2.13·10 ⁵ МПа Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: α ₂₀ =0.111·10 ⁻⁴ /°С										
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-223 РР					
90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx						Лист				
						306				
						Формат А4				

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			PP	
Свойства материала смежного элемента фланца 2 Люк-лаз (М1) Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_{\text{ш}}} = \frac{R_{\text{е}} / 20}{n_T} = 300 / 1.1 = 272.73 \text{ МПа}$ Свойства материала фланца Температура фланца (кольца), t _ф : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_{\text{ф}}} = \frac{R_{\text{е}} / 20}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E ^{20_ф} =1.99·10 ⁵ МПа Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: α ^{20_ф} =0.116·10 ⁻⁴ /°С Характеристики прокладки						
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная		3	20	70	1	2000
Эффективная ширина прокладки : b ₀ =13 мм $\text{Примечание: } \begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$ Средний эффективный диаметр прокладки: D _{ст} = D _{тпф} - b ₀ = 663 - 13 = 650 мм						
Расчётные параметры крышки: $K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ст}}} = 740 / 650 = 1.1385$ $x_{\text{кр}} = \frac{0.67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0.67 \cdot (1.1385^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1.1385)) - 1)}{(1.1385 - 1) \cdot [1.1385^2 - 1 + (1.857 \cdot 1.1385^2 + 1) \cdot (36 / 32)^3]} = 0.86513$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E ^{20_{кр}} =1.99·10 ⁵ МПа Угловая податливость крышки: $y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0.86513 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 32^3) = 0.76015 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ Расчётные параметры фланца: $l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (600 \cdot 8)^{1/2} = 69.282 \text{ мм}$ $\beta_F = 0.8119$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.2333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.2333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.2333^2) \cdot (1.2333 - 1)) = 1.8236$						
					Лист	
					307	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\beta_v = 0.17984$ $\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.2333^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 1.2333) - 1) / (1.36 \cdot (1.2333^2 - 1) \cdot (1.2333 - 1)) = 10.314$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.8119 \cdot 30 + 69.282) / (1.8236 \cdot 69.282) + 0.17984 \cdot 30^3 / (10.314 \cdot 69.282 \cdot 8^2) = 0.84733$ Угловая податливость фланца при затяжке: $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.17984 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 0.84733 \cdot 8^2 \cdot 69.282) = 0.12542 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$ Плечи моментов: $a = 0$ $b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (700 - 650) = 25 \text{ мм}$ $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 20/8 = 2.5$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 36 / (600 \cdot 8)^{1/2} = 0.51962$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.5 - 1) \cdot 0.51962 / (0.51962 + (1 + 2.5) / 4) = 1.5589$ Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык: $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1.5589 \cdot 8 = 12.471 \text{ мм}$ $e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (650 - 600 - 12.471) = 18.764 \text{ мм}$ Расчёт нагрузок: Равнодействующая давления: $Q_d = 0.785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 650^2 \cdot 0.10179 = 33761 \text{ Н}$ Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности: $R_{\pi} = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3.1416 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 3 \cdot 0.10179 = 8106.9 \text{ Н}$ Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке: $P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 650 \cdot 13 \cdot 20 = 2.6546 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление) Рабочая длина болта (шпильки): $L_{60} = h + s_2 + h_{\pi} + h_{\text{ш}}^I + h_{\text{ш}}^{II} = 32 + 30 + 2.9 + 0 + 0 = 64.9 \text{ мм}$ Эффективная длина шпильки: $L_6 = L_{60} + 0.56 \cdot d = 64.9 + 0.56 \cdot 20 = 76.1 \text{ мм}$ Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): $f_6 = 225 \text{ мм}^2$ Податливость шпилек: $y_6 = \frac{L_6}{E^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 76.1 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 28) = 0.56711 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$ $\eta = y_{\pi} + y_6 + y_{\Phi}^I \cdot b^I/2 + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II}/2 = 0.54621 \cdot 10^{-7} + 0.56711 \cdot 10^{-7} + 0.76015 \cdot 10^{-5} \cdot 25^2 + 0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 25^2 = 0.33106 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением: $\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi}^I \cdot e + y_{\text{кр}} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0.54621 \cdot 10^{-7} - (0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 18.764 + 0.76015 \cdot 10^{-5} \cdot 25) \cdot 25) / 0.33106 \cdot 10^{-6} = 1.3957$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C: $E_{\text{кр}}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$	
				<div>90651-20600-AM-02-223 РР</div>	
				<div>Лист</div> <div>308</div>	
				Изм.	Лист
				№ док.	Подп.
				Дата	

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^P \right| \right\} = \max \{ |41.747 - 0.73846 + 27.23|; |41.747 - 0.73846 + 17.218|; |41.747 + 0.73846| \} = 68.238 \text{ МПа}$$

68.238 МПа ≤ 334.09 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A} = \max \{ 4.6909 / (1 + 1.5); 1.0 \} = 1.8764 \right.$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_0 :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1.8764 \cdot 40.274 = 75.568 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

75.568 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1.8764 \cdot 41.747 = 78.332 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (600 + 8)) / (3.1416 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 0)) = 1.8826 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10179 \cdot 600 / (2 \cdot (8 - 0)) = 3.8173 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |78.332 \pm 1.8826|; |0.3 \cdot 78.332 \pm 3.8173|; |0.7 \cdot 78.332 \pm (1.8826 - 3.8173)| \} = 80.214 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

80.214 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_0 (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 600^2 \cdot 0.10179 + 0 - 4 \cdot 0 / (600 + 8)) / (3.1416 \cdot (600 + 8) \cdot (8 - 0)) = 1.8826 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |78.332 \pm 1.8826|; |0.3 \cdot 78.332 \pm 3.8173|; |0.7 \cdot 78.332 \pm (1.8826 - 3.8173)| \} = 80.214 \text{ МПа}$$

80.214 МПа ≤ 868.64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Расчет в сечении s_0 в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ |3.8173|; |1.7641| \} = 3.8173 \text{ МПа}$$

3.8173 МПа ≤ 222.73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

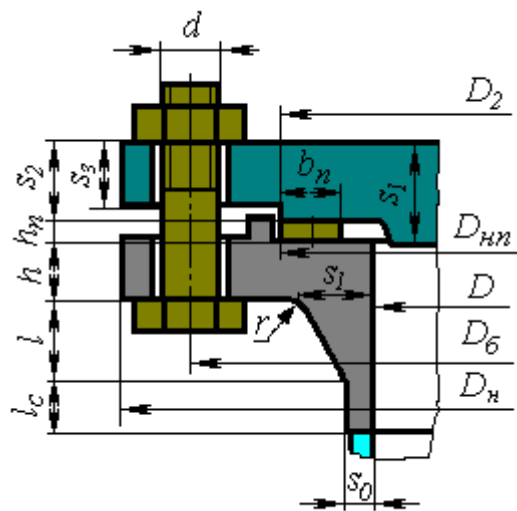
312

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT	МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	РР
	$\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max \{ 26.269; 16.61 \} = 26.269 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ $26.269 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max \{ 27.23; 17.218 \} = 27.23 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$ $27.23 \text{ МПа} \leq 222.73 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Жёсткость фланца: Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 8473.5 \cdot 0.12542 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.10627^{\circ}$ Допускаемый угол поворота фланца: $[\varpi] = 0.39391^{\circ}$ Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_{\varpi} = 1.3$ Условие выполнения жесткости фланцев: $\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1.3 \cdot 0.39391 = 0.51208^{\circ}$ Условие жёсткости выполнено. Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017 Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением $\psi = \frac{P^P}{Q_d} = 3.1496 \cdot 10^5 / 33761 = 9.3289$ $K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left(\frac{D_3}{D_{сП}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сП}}}} = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 9.3289 \cdot (700 / 650 - 1)}{700 / 650}} = 0.70152$ Поправочный коэффициент для допускаемого давления $K_p = 1.0$ Допускаемое давление: $[p] = \left(\frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([36 - 0] / [1 \cdot 0.70152 \cdot 650])^2 \cdot 222.73 \cdot 1 \cdot 1 = 1.3883 \text{ МПа}$ $1.3883 \text{ МПа} \geq 0.10179 \text{ МПа}$ Заключение: Условие прочности выполнено. Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением Расчётная толщина стенки с учётом прибавок: $s_{\Phi} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0.70152 \cdot 1 \cdot 650 \cdot \sqrt{(0.10179 / [1 \cdot 222.73 \cdot 1])^{1/2}} + 0 = 9.7483 \text{ мм}$ $9.7483 \text{ мм} \leq 36 \text{ мм}$ Заключение: Условие прочности выполнено. $K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сП}} - 1} = 0.8 \cdot \sqrt{700 / 650 - 1} = 0.22188$ Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (усло-		

Взам. инв. №		Диаметр болтовой окружности, D _б :		125мм		
		Материал фланца:		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка		
Подп. и дата		Смежный элемент:		Измерение температуры (T1)		
		Материал смежного элемента:		09Г2С Труба		
		Толщина стенки смежного элемента:		10 мм		
		Внутренний диаметр фланца, D:		48 мм		
		Наружный диаметр фланца, D _н :		160 мм		
		Толщина фланца, h:		17 мм		
		Сумма прибавок, с:		3 мм		
Инв. № подл.		Длина конической части втулки, l:		20 мм		
		Длина цилиндрической части втулки, l _с :		8 мм		
		Толщина цилиндрической части втулки, s ₀ :		5 мм		
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист
						Лист

Крышка плоская Т1, Т2

Расчет приведен для крышки плоской Т1.



Эскиз элемента

Исходные данные

Параметры крышки:

Материал:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ
8479 Поковка

Толщина стенки, s1:

18 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с1:

3 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, с2:

0 мм

Прибавка технологическая, с3:

0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с:

3 мм

Толщина в месте прокладки, s2:

17 мм

Толщина вне уплотнения, s3:

13 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части, D2:

87 мм

Наружный диаметр крышки, Dн:

160 мм

Коэффициент прочности сварного шва:

$\varphi_p = 1$

Параметры фланца:

Тип фланца:

Приварные встык

Исполнение фланца:

Выступ-впадина

Диаметр болтовой окружности, D6:

125мм

Материал фланца:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ
8479 Поковка

Смежный элемент:

Измерение температуры
(Т1)

Материал смежного элемента:

09Г2С Труба

Толщина стенки смежного элемента:

10 мм

Внутренний диаметр фланца, D:

48 мм

Наружный диаметр фланца, Dн:

160 мм

Толщина фланца, h:

17 мм

Сумма прибавок, с:

3 мм

Длина конической части втулки, l:

20 мм

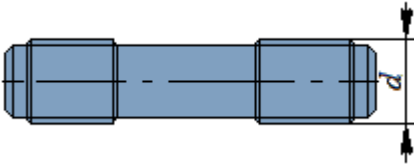
Длина цилиндрической части втулки, lc:

8 мм

Толщина цилиндрической части втулки, s0:

5 мм

90651-20600-AM-02-223 РР

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
		Толщина конической части втулки, S1:		14 мм			
		Радиус перехода, r:		5 мм			
		Шпильки:					
							
		Крепеж					
		Материал:		35 Крепеж			
		Наружный диаметр, d:		16 мм			
		Количество, n:		4			
		Контроль затяжки:		Нет			
		Прокладка:					
		Материал прокладки:		Прокладка ТРГ универсальная			
		Толщина, hп:		2 мм			
		Наружный диаметр, Dн.п:		87 мм			
		Ширина, bп:		15 мм			
		Расчёт в рабочих условиях					
		Условия нагружения:					
		Расчётное осевое сжимающее усилие, F:		0 Н			
		Расчётный изгибающий момент, M:		0 Н·м			
		Расчётное внутреннее избыточное давление, p:		0.070000 МПа			
		Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017:					
		Свойства материала болтов (шпилек)					
		Температура болтов (шпилек), tб:		97 °C			
		Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °C (рабочие условия):					
		[σ]б=		126 МПа			
		Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °C:					
		Eб=		2.1011·10 ⁵ МПа			
		Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °C:					
		αб=		0.111·10 ⁻⁴ /°C			
		Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °C (рабочие условия):					
		[σ] ^{20б} =		130 МПа			
		Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °C:					
		E ^{20б} =		2.13·10 ⁵ МПа			
		Свойства материала смежного элемента фланца 2 Измерение температуры (T1)					
		Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °C (рабочие условия):					
		[σ]ш=		160 МПа			
		Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °C (рабочие условия):					
		[σ] ^{20ш} =		183 МПа			
		Свойства материала фланца					
		Температура фланца (кольца), tф:		100 °C			
		Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °C (рабочие условия):					
		[σ]ф=		144 МПа			
		Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °C:					
		Eф=		1.91·10 ⁵ МПа			
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			90651-20600-AM-02-223 РР				316
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:
 $\alpha_{\phi}=0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):
 $[\sigma]^{20\phi}=164.5 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:
 $E^{20\phi}=1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$
Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E_n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :
 $b_0=15 \text{ мм}$

Примечание:
$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} & \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} & \text{при } b_{\text{тп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$D_{\text{тп}} = \min\{D_4; D_{\text{кп}}\} = \min\{87; 87\} = 87 \text{ мм}$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$D_{\text{ст}} = D_{\text{тп}} - b_0 = 87 - 15 = 72 \text{ мм}$

Податливость прокладки (п. 3.3):

$$y_{\text{п}} = \frac{h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 0.29473 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры болтов (шпилек):

Рабочая длина болта (шпильки):

$L_{\text{б0}} = h + s_2 + h_{\text{п}} + h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}}'' = 17 + 17 + 2 + 0 + 0 = 36 \text{ мм}$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):

$f_{\text{б}} = 144 \text{ мм}^2$

Эффективная длина шпильки:

$L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 36 + 0.56 \cdot 16 = 44.96 \text{ мм}$

Податливость шпилек:

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 44.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.36646 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры крышки:

$$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 160 / 72 = 2.2222$$

$$x_{\text{кр}} = \frac{0.67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0.67 \cdot (2.2222^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(2.2222)) - 1)}{(2.2222 - 1) \cdot [2.2222^2 - 1 + (1.857 \cdot 2.2222^2 + 1) \cdot (18 / 17)^3]} = 0.63615$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

$E^{20\phi}=1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

					90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
							317
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Угловая податливость крышки:
$$\gamma_{кр} = \frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0.63615 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 17^3) = 0.37281 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Расчётные параметры фланца:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$$
$$\beta_F = 0.65336$$
$$K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$$
$$\beta_V = 0.074265$$
$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 17^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.0242$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$\gamma_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.0242 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$
$$b = 0.5 \cdot (D_\Phi - D_{\text{сш}}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$$
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2.8$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20 / (48 \cdot 5)^{1/2} = 1.291$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$$
$$e = 0.5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:
$$Q_d = 0.785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 72^2 \cdot 0.070000 = 284.86 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:
$$R_\pi = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot |0.070000| = 712.51 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:
$$P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)

$$\eta = \gamma_\pi + \gamma_\epsilon + \gamma_\Phi^I \cdot b^I + \gamma_\Phi^{II} \cdot b^{II} = 0.29473 \cdot 10^{-6} + 0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.37281 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.14223 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{\gamma_\pi - (\gamma_\Phi \cdot e + \gamma_{кр} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0.29473 \cdot 10^{-6} - (0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 + 0.37281 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5) \cdot 26.5) / 0.14223 \cdot 10^{-5} = 1.1698$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
318

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div>20 °С: E²⁰_{кр}=1.99·10⁵ МПа Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416/4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$ Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416/4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$ Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}}\right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\text{ст}}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$ $= [0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 26.5 - 26.5^2 / 72) + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.29473 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2]$ $= 0.63722$ $P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (284.86 + 0) + 712.51 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1045.7 \text{ Н}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки) $P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (284.86 + 0) + 712.51 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1045.7 \text{ Н}$ Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: $A_6 = n \cdot f_6 = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$ Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: $P_{62} = \max \left\{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20} \right\} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$ Расчёт без учета стесненности температурных деформаций Расчёт болтов(шпилек): Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$ Коэффициент условий работы: $K_{yp} = 1$ Коэффициент условий затяжки: $K_{y3} = 1$ Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: $[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{y3} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки) $P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (284.86 + 0) + 712.51 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1045.7 \text{ Н}$ Болтовая нагрузка в условиях затяжки: $P_6^M = \max \{ P_{61}; P_{62} \} = \max \{ 1045.7; 33929 \} = 33929 \text{ Н}$ Условие прочности при затяжке: $\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$ $\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 33929 / 576 = 58.905 \text{ МПа}$</div>					
Взам. инв. №		Подп. и дата		90651-20600-AM-02-223 РР	
				Лист	
Инв. № подл.				319	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 30.536 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$58.905 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{от}} = 33929 + (1 - 1.1698) \cdot (284.86 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.63722) \cdot |0| / 72 = 33881 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$
$$\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} = 33881 / 576 = 58.821 \text{ МПа}$$

$58.821 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$, **Условие прочности выполнено.**

Расчёт прокладки:

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{от} \cdot b_{пр}} \leq [q]$$
$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{от} \cdot b_{пр}} = \max\{33929; 33881\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10 \text{ МПа}$$

$[q] = 70 \text{ МПа}$

Условие работоспособности выполнено.

Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{\delta \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$
$$f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0\right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$$
$$D^* = D + c + s_{1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1} = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.028 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$$
$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1}\right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

320

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |75.028 + 79.267|; |75.028 + 45.029| \} = 154.29 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

154.29 МПа ≤ 296.1 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ p_E^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 33881 \cdot 26.5 + (284.86 + 0) \cdot 6.9076; |284.86 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1140.2 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1140.2 / (2.0242 \cdot (14 - 3)^2 \cdot 62) = 75.086 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1140.2 = 79.327 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1140.2 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.327 = 45.064 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 3)) = 0.059090 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |75.086 - 0.059090 + 79.327|; |75.086 - 0.059090 + 45.064|; |75.086 + 0.059090| \} = 154.35 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1.5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 216 = 259.2 \text{ МПа}$$

154.35 МПа ≤ 259.2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

321

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	<p>0.84 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$ $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} = \max\{79.267; 45.029\} = 79.267 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 164.5 = 164.5 \text{ МПа}$ <p>79.267 МПа ≤ 164.5 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$ $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} = \max\{79.327; 45.064\} = 79.327 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$ <p>79.327 МПа ≤ 144 МПа, Условие прочности выполнено.</p> <p>Жёсткость фланца:</p> <p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p> $\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1140.2 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.91 \cdot 10^5 = 0.029485^\circ$ <p>Допускаемый угол поворота фланца:</p> $[\varpi] = 0.34377^\circ$ <p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_\varpi = 1$</p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p> $\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0.34377 = 0.34377^\circ$ <p>Условие жёсткости выполнено.</p> <p>Температура фланца (кольца), t_Φ: 100 °C</p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> $\max \{t_\Phi; t_{xp}; t_\epsilon\} \leq 120^\circ \text{C}$ $\max \{t_\Phi; t_{xp}; t_\epsilon\} = \max\{100; 100; 97\} = 100/^\circ \text{C}$ <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре $T = 100^\circ \text{C}$:</p> $\alpha_{кр} = 0.116 \cdot 10^{-4} / ^\circ \text{C}$ <p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha'_\Phi \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^\circ \text{C}) + \alpha''_\Phi \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^\circ \text{C})}{\alpha_\epsilon \cdot (h' + h'') \cdot (t_\epsilon - 20^\circ \text{C})}$ $= [0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 17 \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) + 0.116 \cdot 10^{-4} \cdot 17 \cdot (100 - 20^\circ \text{C})] / [0.111 \cdot 10^{-4} \cdot (17 + 17) \cdot (97 - 20^\circ \text{C})]$ $= 1.0858$ <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при $T_{\max} < 120^\circ \text{C}$ допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p> $\delta_t > 1$ <p>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</p> <p>Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</p> <p>Коэффициент ослабления для днищ, не имеющих отверстий $K_0 = 1.0$</p> <p>Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением</p> $\psi = \frac{P_\epsilon}{Q_\pi} = 35589 / 284.86 = 124.93$	
				90651-20600-AM-02-223 РР	
				Изм.	Лист
				№ док.	323
				Подп.	
				Дата	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР				
Болтовая нагрузка в рабочих условиях: $P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot M }{D_{\text{ст}}} = \frac{33929 + (1 - 1.1698) \cdot (284.86 + 0) + 1707.9 + 4 \cdot (1 - 0.63722) \cdot 0 / 72}{1} = 35589 \text{ Н}$ $\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 35589 / 144; 33929 / 222.73 \} = 247.14 \text{ мм}^2$ Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок: $s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_{\text{ст}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.68638 \cdot 247.14^{1/2}; 0.6 \cdot 247.14 / 72 \} + 0 = 10.79 \text{ мм}$ $10.79 \text{ мм} \leq 17 \text{ мм}$ Заключение: Условие прочности выполнено. $K_7' = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0.8 \cdot [125 / 87 - 1]^{1/2} = 0.52872$ Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок: $s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.52872 \cdot 247.14^{1/2}; 0.6 \cdot 247.14 / 87 \} + 0 = 8.3118 \text{ мм}$ $8.3118 \text{ мм} \leq 13 \text{ мм}$ Заключение: Условие прочности выполнено. Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро Фланец: Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{\text{л}}} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{\text{л}}} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания) Условия нагружения при испытаниях: Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.10179 МПа По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие: $P_{\text{исп}} < 1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ $1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.10795 \text{ МПа} \geq 0.10179 \text{ МПа}$ Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017: Свойства материала болтов (шпилек) Температура болтов (шпилек), t _б : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): [σ] ²⁰ _б = 130 МПа Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: E ²⁰ _б = 2.13·10 ⁵ МПа Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: α ²⁰ _б = 0.111·10 ⁻⁴ /°С								
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист		
			90651-20600-AM-02-223 РР					
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	325

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Свойства материала смежного элемента фланца 2 Измерение температуры (Т1)

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

[σ]^{20_ш} = $\frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$

Свойства материала фланца

Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

[σ]^{20_ф} = $\frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

E^{20_ф} = 1.99 · 10⁵ МПа

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

α^{20_ф} = 0.116 · 10⁻⁴/°С

Характеристики прокладки

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q _{обж} , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E _n , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :

b₀ = 15 мм

Примечание:
$$\begin{cases} b_0 = b_{тп} & \text{при } b_{тп} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{тп}} & \text{при } b_{тп} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:

D_{ст} = D_{тпф} - b₀ = 87 - 15 = 72 мм

Расчётные параметры крышки:

K_{кр} = $\frac{D_K}{D_{ст}}$ = 160 / 72 = 2.2222

x_{кр} = $\frac{0.67 \cdot [K_{кр}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{кр}) - 1]}{(K_{кр} - 1) \cdot [K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0.67 \cdot [2.2222^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(2.2222)) - 1]}{(2.2222 - 1) \cdot [2.2222^2 - 1 + (1.857 \cdot 2.2222^2 + 1) \cdot (18 / 17)^3]} = 0.63615$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

E^{20_{кр}} = 1.99 · 10⁵ МПа

Угловая податливость крышки:

y_{кр} = $\frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0.63615 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 17^3) = 0.37281 \cdot 10^{-4} \text{ °/Н·м}$

Расчётные параметры фланца:

l₀ = $\sqrt{D \cdot s_0} = (48 \cdot 5)^{1/2} = 15.492 \text{ мм}$

β_F = 0.65336

β_T = $\frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 3.3333^2) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.1307$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p>$\beta_v = 0.074265$</p> <p>$\beta_U = \frac{K^2(1+8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3.3333^2 \cdot (1+8.55 \cdot \lg 3.3333) - 1) / (1.36 \cdot (3.3333^2 - 1) \cdot (3.3333 - 1)) = 1.8633$</p> <p>$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_v \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (1.1307 \cdot 15.492) + 0.074265 \cdot 17^3 / (1.8633 \cdot 15.492 \cdot 5^2) = 2.0242$</p> <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> <p>$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_v}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0.074265 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 2.0242 \cdot 5^2 \cdot 15.492) = 0.2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$</p> <p>Плечи моментов:</p> <p>$a = 0$</p> <p>$b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{сш}) = 0.5 \cdot (125 - 72) = 26.5 \text{ мм}$</p> <p>$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2.8$</p> <p>$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20 / (48 \cdot 5)^{1/2} = 1.291$</p> <p>$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2.8 - 1) \cdot 1.291 / (1.291 + (1 + 2.8) / 4) = 2.0369$</p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p>$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2.0369 \cdot 5 = 10.185 \text{ мм}$</p> <p>$e = 0.5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0.5 \cdot (72 - 48 - 10.185) = 6.9076 \text{ мм}$</p> <p>Расчёт нагрузок:</p> <p>Равнодействующая давления:</p> <p>$Q_d = 0.785 \cdot D_{сш}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 72^2 \cdot 0.10179 = 414.25 \text{ Н}$</p> <p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> <p>$R_{\pi} = \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot p = 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 0.10179 = 1036.1 \text{ Н}$</p> <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> <p>$P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3.1416 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 20 = 33929 \text{ Н}$</p> <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> <p>$L_{60} = h + s_2 + h_{\pi} + h_{ш}^I + h_{ш}^{II} = 17 + 17 + 2 + 0 + 0 = 36 \text{ мм}$</p> <p>Эффективная длина шпильки:</p> <p>$L_6 = L_{60} + 0.56 \cdot d = 36 + 0.56 \cdot 16 = 44.96 \text{ мм}$</p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> <p>$f_6 = 144 \text{ мм}^2$</p> <p>Податливость шпилек:</p> <p>$y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 44.96 / (2.13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0.36646 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$</p> <p>$\eta = y_{\pi} + y_6 + y_{\Phi}^I \cdot b^I/2 + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II}/2 = 0.29473 \cdot 10^{-6} + 0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.37281 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 = 0.14223 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$</p> <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:</p> <p>$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi}^I \cdot e + y_{кр} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0.29473 \cdot 10^{-6} - (0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 6.9076 + 0.37281 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5) \cdot 26.5) / 0.14223 \cdot 10^{-5} = 1.1698$</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C:</p> <p>$E_{кр}^{20} = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p>								
90651-20600-AM-02-223 РР						Лист		
						327		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:				
	$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$				
	Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:				
$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3.1416 / 4)^3 \cdot 125 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 160 \cdot 17^3) = 0.22181 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$					
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:					
$\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}}\right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{\text{ст}}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$					
$= [0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 26.5 - 26.5^2 / 72) + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5 \cdot (26.5 + 6.9076 - 6.9076^2 / 72)] / [0.36646 \cdot 10^{-6} + 0.29473 \cdot 10^{-6} \cdot (125 / 72)^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2 + 0.22181 \cdot 10^{-4} \cdot 26.5^2]$					
$= 0.63722$					
$P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1520.7 \text{ Н}$					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)					
$P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1520.7 \text{ Н}$					
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:					
$A_6 = n \cdot f_6 = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$					
Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:					
$P_{62} = \max \left\{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20} \right\} = \max \{ 33929; 0.4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 33929 \text{ Н}$					
Расчёт без учета стесненности температурных деформаций					
Расчёт болтов(шпилек):					
Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1.2$					
Коэффициент условий работы: $K_{yp} = 1.35$					
Коэффициент условий затяжки: $K_{yz} = 1$					
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:					
$[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{yz} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1.2 \cdot 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210.6 \text{ МПа}$					
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)					
$P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M }{D_{\text{ст}}} = 1.1698 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.63722 \cdot 0 / 72 = 1520.7 \text{ Н}$					
Болтовая нагрузка в условиях затяжки:					
$P_6^M = \max \{ P_{61}; P_{62} \} = \max \{ 1520.7; 33929 \} = 33929 \text{ Н}$					
Условие прочности при затяжке:					
$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$					
$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 33929 / 576 = 58.905 \text{ МПа}$					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-223 РР		Лист
					328
			Изм.	Лист	№ док.

90651-20600-AM-02-223 РР изм.0.docx

Формат А4

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки: $M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 33929 \cdot 16 / 4 = 40.715 \text{ Н} \cdot \text{м}$ При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 30.536 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $58.905 \text{ МПа} \leq 210.6 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях: $[\sigma]_6^P = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1.35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175.5 \text{ МПа}$ Болтовая нагрузка в рабочих условиях: $P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M }{D_{от}} = 33929 + (1 - 1.1698) \cdot (414.25 + 0) + 4 \cdot (1 - 0.63722) \cdot 0 / 72 = 33859 \text{ Н}$ Условие прочности в рабочих условиях: $\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$ $\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} = 33859 / 576 = 58.783 \text{ МПа}$ $58.783 \text{ МПа} \leq 175.5 \text{ МПа}$, Условие прочности выполнено. Расчёт прокладки: Условие прочности мягких прокладок: $q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{от} \cdot b_{пр}} \leq [q]$ $q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{от} \cdot b_{пр}} = \max\{33929; 33859\} / (3.1416 \cdot 72 \cdot 15) = 10 \text{ МПа}$ $[q] = 70 \text{ МПа}$ Условие работоспособности выполнено. Расчёт второго фланца: Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками: $C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3.1416 \cdot 125 / 4 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 17 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1.2671$ Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке: $M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1.2671 \cdot 33929 \cdot 26.5 = 1139.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0\right\} = \max\{0.44314 / (1 + 1.8); 1.0\} = 1$ $D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$ Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s_1 : $\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1139.3 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.319 \text{ МПа}$ Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки: $\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1139.3 = 79.267 \text{ МПа}$ $\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1}\right) = 1 / (3.3333 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 3.3333^2 \cdot \lg 3.3333 / (3.3333^2 - 1)) = 1.7043$				
90651-20600-AM-02-223 РР				Лист
				329
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3.3333^2 + 1) / (3.3333^2 - 1) = 1.1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^M = 1.7043 \cdot 1139.3 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.267 = 45.029 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |46.319 + 79.267|; |46.319 + 45.029| \} = 125.59 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 160 / 48 = 3.3333$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

125.59 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 72 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ p_e^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.2671 \cdot \max \{ 33859 \cdot 26.5 + (414.25 + 0) \cdot 6.9076; |414.25 + 0| \cdot 6.9076 \} = 1140.6 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s_1 :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1140.6 / (2.0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 46.37 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.65336 \cdot 17 + 15.492) / (2.0242 \cdot 17^2 \cdot 15.492 \cdot 48) \cdot 1140.6 = 79.354 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^P = 1.7043 \cdot 1140.6 / (17^2 \cdot 48) - 1.1978 \cdot 79.354 = 45.079 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0.10179 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3.1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0.067516 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_1 (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |46.37 - 0.067516 + 79.354|; |46.37 - 0.067516 + 45.079|; |46.37 + 0.067516| \} = 125.66 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1.5 \cdot 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

125.66 МПа ≤ 400.91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S_1 (-):

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

330

0.48861 МПа ≤ 222.73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 79.267; | 45.029 | \} = 79.267 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

79.267 МПа ≤ 222.73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 79.354; | 45.079 | \} = 79.354 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

79.354 МПа ≤ 222.73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1140.6 \cdot 0.2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.028310^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\Theta] = 0.34377^{\circ}$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_{\Theta} = 1.3$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1.3 \cdot 0.34377 = 0.44691^{\circ}$$

Условие жёсткости выполнено.

Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением

$$\psi = \frac{P^P}{Q_{\Phi}} = 33859 / 414.25 = 81.736$$

$$K_{\Phi} = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left(\frac{D_3}{D_{\text{сП}}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{\text{сП}}}}} = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 81.736 \cdot (125 / 72 - 1)}{(125 / 72)}} = 4.1921$$

Нарушено условие применимости расчётных формул:

$$\frac{s_1 - c}{D_P} \leq 0.11$$

В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:

$$K_P = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left(6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_P} \right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 \cdot [18 - 0] / 72)^2]^{1/2} = 0.78494$$

Допускаемое давление:

$$[P] = \left(\frac{s_1 - c}{K_{\Phi} \cdot K_P \cdot D_P} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_P = ([18 - 0] / [1 \cdot 4.1921 \cdot 72])^2 \cdot 222.73 \cdot 1 \cdot 0.78494 = 0.62176 \text{ МПа}$$

$$0.62176 \text{ МПа} \geq 0.10179 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №		$\frac{s_1 - c}{D_p} \leq 0.11$						
		В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:						
Подп. и дата		$K_p = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left(6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_p}\right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 \cdot [18 - 0] / 72)^2]^{1/2} = 0.78494$						
		Допускаемое давление:						
Инв. № подл.		$[p] = \left(\frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([18 - 0] / [1 \cdot 4.1921 \cdot 72])^2 \cdot 222.73 \cdot 1 \cdot 0.78494 = 0.62176 \text{ МПа}$						
		0.62176 МПа \geq 0.10179 МПа						
		Заключение: Условие прочности выполнено.						
						90651-20600-AM-02-223 РР	Лист	
							332	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 4.1921 \cdot 1 \cdot 72 \cdot (0.10179 / [1 \cdot 222.73 \cdot 0.78494])^{1/2} + 0 = 7.2832 \text{ mm}$$

$$7.2832 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{\text{сн}}}} - 1 = 0.8 \cdot [125/72 - 1]^{1/2} = 0.68638$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{20\text{кр}} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)

Нагрузка от температурных деформаций: $Q_t = 0$ (в условиях испытаний или без учета стесненности температурных деформаций)

$$P_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\alpha}} \\ \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\alpha}} - Q_t \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.1698 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.63722 \cdot |0| / 72 = 1520.7 \\ 1.1698 \cdot (414.25 + 0) + 1036.1 + 4 \cdot 0.63722 \cdot |0| / 72 - 0 = 1520.7 \end{array} \right\} = 1520.7 \text{ H}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\pi} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\pi}} = \frac{33929 + (1 - 1.1698) \cdot (414.25 + 0) + 0 + 4 \cdot (1 - 0.63722)}{0.172} = 33859 \text{ H}$$

$$\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 33859 / 222.73; 33929 / 222.73 \} = 152.34 \text{ mm}^2$$

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_{\text{с.п}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.68638 \cdot 152.34^{1/2}; 0.6 \cdot 152.34 / 72 \} + 0 = 8.4715 \text{ mm}$$

$$8.4715 \text{ mm} \leq 17 \text{ mm}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K'_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0.8 \cdot [125/87 - 1]^{1/2} = 0.52872$$

Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок:

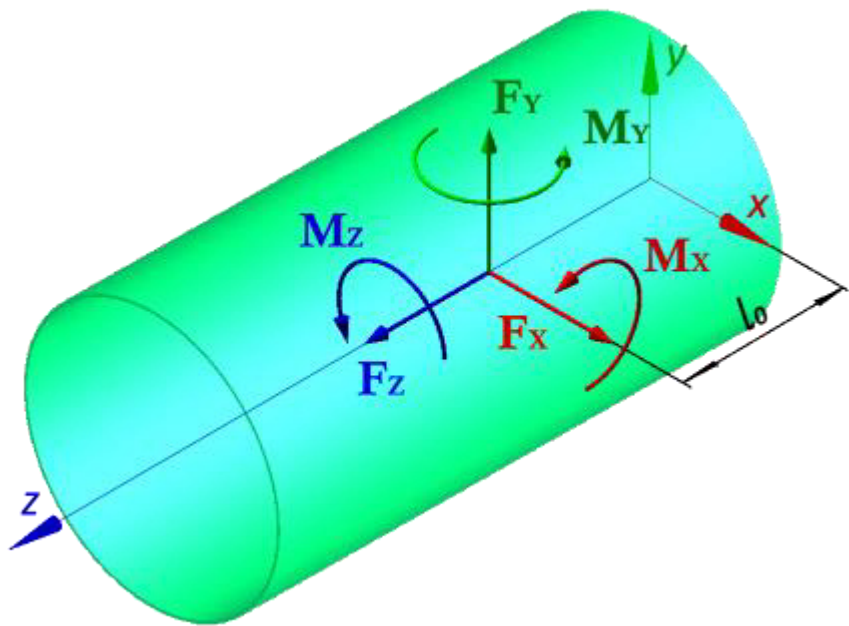
$$s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.52872 \cdot 152.34^{1/2}; 0.6 \cdot 152.34 / 87 \} + 0 = 6.5256 \text{ mm}$$

$$6.5256 \text{ mm} \leq 13 \text{ mm}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №		$s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max\{0.52872 * 152.34^{1/2}; 0.6 * 152.34 / 87\} + 0 = 6.5256 \text{ мм}$ <p>6.5256 мм ≤ 13 мм</p> <p>Заключение: Условие прочности выполнено.</p>					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
						90651-20600-AM-02-223 PP	Лист
							333
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Внешние нагрузки от N1



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, l_0 :	21440 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

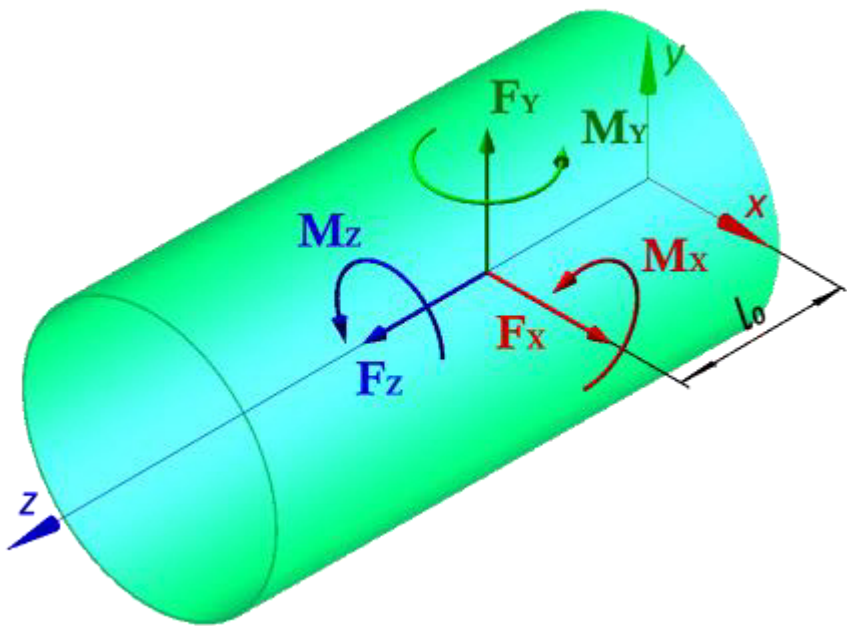
Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

$F_x = 10000$	Н
$F_y = (-10000)$	Н
$F_z = 10000$	Н
$M_x = 33460$	Н·м
$M_y = 16300$	Н·м
$M_z = (-33460)$	Н·м

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Лист	№ док.
Подп.	Дата	

Внешние нагрузки от N2



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, l ₀ :	740 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

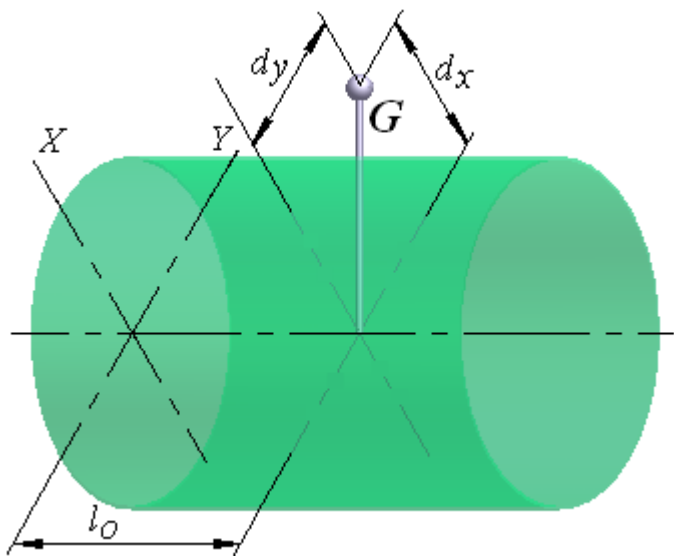
Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

F _x = 7200	Н
F _y = (-7200)	Н
F _z = 7200	Н
M _x = (-2455)	Н·м
M _y = 9900	Н·м
M _z = 2455	Н·м

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Лист	№ док.
Подп.	Дата	

Обогреватель 1



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, l_0 :	6440 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Да
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

Расчёт в рабочих условиях

Весовая нагрузка, G :	9800 Н
Смещение по x , d_x :	0 мм
Смещение по y , d_y :	76 мм

Расчёт в условиях монтажа

Весовая нагрузка, G :	9800 Н
Смещение по x , d_x :	0 мм
Смещение по y , d_y :	76 мм

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

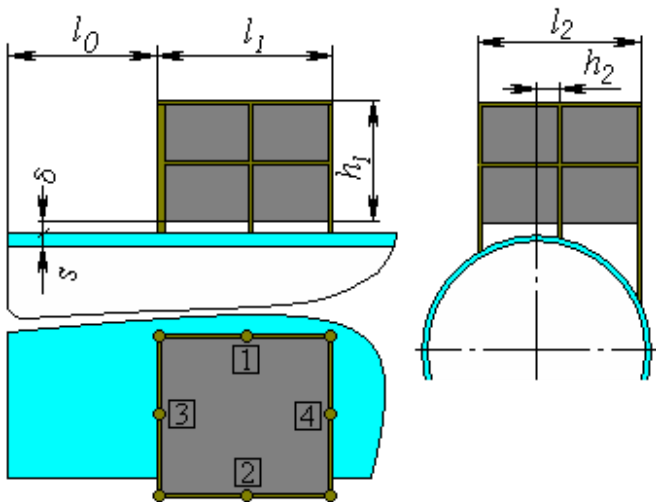
90651-20600-AM-02-223 РР

Лист

336

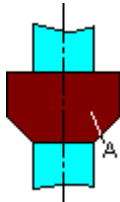
Площадка обслуживания

Исходные данные



Эскиз элемента

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, l_0 :	300 мм
Ширина площадки, l_1 :	22000 мм
Высота площадки, h_1 :	1250 мм
Длина кронштейна(площадки), l_2 :	3000мм
Смещение, h_2 :	500 мм
Зазор между площадкой и обечайкой, δ :	100 мм
Удельный вес площадки, G_a :	0.0032000 МПа



Расчетная схема для определения К	
Аэродинамический коэффициент, К:	0.85
Площадь элемента, А:	$2.97 \cdot 10^7 \text{ мм}^2$
Наличие лестницы:	Да
Лестница:	

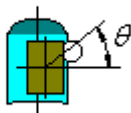
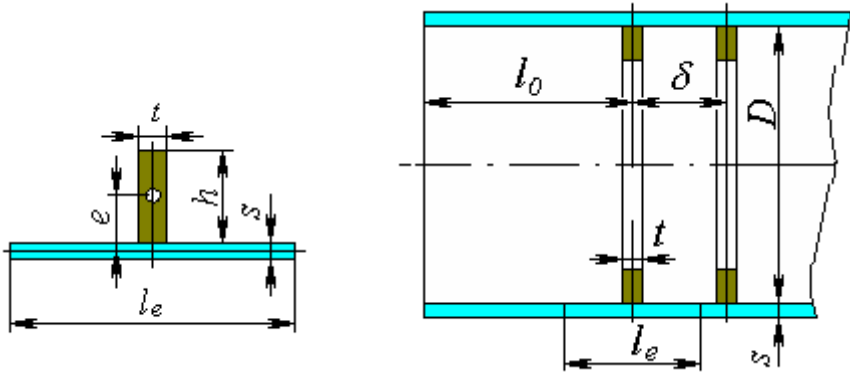


Схема расположения лестницы	
Угол расположения, ϑ :	180 °
Подъем:	1250 мм
Спуск:	3000 мм
Погонный вес:	0.3 Н/мм
Ширина:	700 мм
Вес элемента, W:	$2.1248 \cdot 10^5 \text{ Н}$
Присутствует в условиях монтажа:	Да
Присутствует в условиях испытаний:	Да

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-223 РР	Лист 338
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Группа колец жёсткости

Расчёт параметров колец по ГОСТ 34233.2-2017



Эскиз элемента

Исходные данные

Элемент, несущий группу колец:	Обечайка цилиндрическая
Материал:	09Г2С
Расположение колец:	Внутри обечайки
Диаметр обечайки, D:	3400 мм
Ширина приваренного участка, t:	18 мм
Расстояние от края несущего элемента до осевой линии первого кольца, lo:	3250 мм
Количество колец в группе:	5
Шаг расположения колец, delta:	4000 мм
Высота кольца, h:	100 мм
Коэффициент прочности сварного шва кольца:	phi_p= 1

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	100 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0.098745 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Свойства материала кольца:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):
[sigma]_k= 177 МПа

Кольцо №1

Площадь поперечного сечения:
 $A_k = h \cdot t = 100 \cdot 18 = 1800 \text{ мм}^2$
 Расстояние от центра тяжести сечения до срединной поверхности обечайки:
 $e = \frac{h + s - c}{2} = (100 + 18 - 3.8) / 2 = 57.1 \text{ мм}$
 Расстояние между центром тяжести поперечного сечения и поверхностью обечайки:
 $e_k = e - \frac{s - c}{2} = 57.1 - (18 - 3.8) / 2 = 50 \text{ мм}$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-223 РР

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Момент инерции сечения:
$$I_K = \frac{t \cdot h^3}{12} = 18 \cdot 100^3 / 12 = 1.5 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Расстояние до элемента жёсткости:
 $I_1 = 4000 \text{ мм}$

Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:
$$l_{1e} = \min \{ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \} = \min \{ 4000; 18 + 1.1 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \} = 259.7 \text{ мм}$$

Эффективный момент инерции расчётного поперечного сечения:
$$I = I_K + \frac{l_1 \cdot (s - c)^3}{10.9} + e^2 \cdot \frac{A_K \cdot l_e \cdot (s - c)}{A_K + l_e \cdot (s - c)} = \frac{1.5 \cdot 10^6 + 4000 \cdot (18 - 3.8)^3 / 10.9 + 57.1^2 \cdot (1800 \cdot 259.7 \cdot (18 - 3.8))}{(1800 + 259.7 \cdot (18 - 3.8))} = 6.4945 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом:
$$k = \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (s - c)^3}} = (10.9 \cdot 6.4945 \cdot 10^6 / (4000 \cdot (18 - 3.8)^3))^{1/2} = 2.4861$$

Кольцо №2

Расстояние до элемента жёсткости:
 $I_1 = 4000 \text{ мм}$

Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:
$$l_{1e} = \min \{ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \} = \min \{ 4000; 18 + 1.1 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \} = 259.7 \text{ мм}$$

Эффективный момент инерции расчётного поперечного сечения:
$$I = I_K + \frac{l_1 \cdot (s - c)^3}{10.9} + e^2 \cdot \frac{A_K \cdot l_e \cdot (s - c)}{A_K + l_e \cdot (s - c)} = \frac{1.5 \cdot 10^6 + 4000 \cdot (18 - 3.8)^3 / 10.9 + 57.1^2 \cdot (1800 \cdot 259.7 \cdot (18 - 3.8))}{(1800 + 259.7 \cdot (18 - 3.8))} = 6.4945 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом:
$$k = \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (s - c)^3}} = (10.9 \cdot 6.4945 \cdot 10^6 / (4000 \cdot (18 - 3.8)^3))^{1/2} = 2.4861$$

Кольцо №3

Расстояние до элемента жёсткости:
 $I_1 = 4000 \text{ мм}$

Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:
$$l_{1e} = \min \{ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \} = \min \{ 4000; 18 + 1.1 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \} = 259.7 \text{ мм}$$

Эффективный момент инерции расчётного поперечного сечения:
$$I = I_K + \frac{l_1 \cdot (s - c)^3}{10.9} + e^2 \cdot \frac{A_K \cdot l_e \cdot (s - c)}{A_K + l_e \cdot (s - c)} = \frac{1.5 \cdot 10^6 + 4000 \cdot (18 - 3.8)^3 / 10.9 + 57.1^2 \cdot (1800 \cdot 259.7 \cdot (18 - 3.8))}{(1800 + 259.7 \cdot (18 - 3.8))} = 6.4945 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом:
$$k = \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (s - c)^3}} = (10.9 \cdot 6.4945 \cdot 10^6 / (4000 \cdot (18 - 3.8)^3))^{1/2} = 2.4861$$

Кольцо №4

Расстояние до элемента жёсткости:
 $I_1 = 4000 \text{ мм}$

Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:
$$l_{1e} = \min \{ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \} = \min \{ 4000; 18 + 1.1 \cdot (3400 \cdot (18 - 3.8))^{1/2} \} = 259.7 \text{ мм}$$

Эффективный момент инерции расчётного поперечного сечения:
$$I = I_K + \frac{l_1 \cdot (s - c)^3}{10.9} + e^2 \cdot \frac{A_K \cdot l_e \cdot (s - c)}{A_K + l_e \cdot (s - c)} = \frac{1.5 \cdot 10^6 + 4000 \cdot (18 - 3.8)^3 / 10.9 + 57.1^2 \cdot (1800 \cdot 259.7 \cdot (18 - 3.8))}{(1800 + 259.7 \cdot (18 - 3.8))} = 6.4945 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом:
$$k = \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (s - c)^3}} = (10.9 \cdot 6.4945 \cdot 10^6 / (4000 \cdot (18 - 3.8)^3))^{1/2} = 2.4861$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

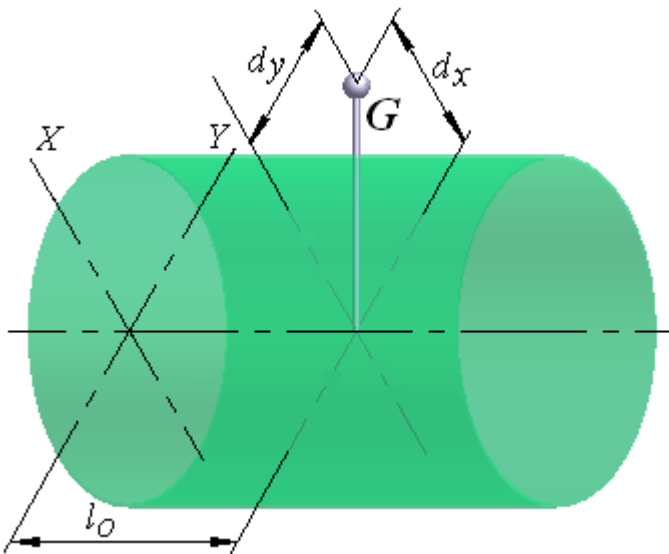
90651-20600-AM-02-223 РР

Лист
340

90651-20600-AM-02-223 РР_изм.0.docx

Формат А4

Антизавихритель N2



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, l_0 :	740 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Да
Присутствует в условиях испытаний:	Да

Расчёт в рабочих условиях

Весовая нагрузка, G :	414 Н
Смещение по x , d_x :	0 мм
Смещение по y , d_y :	(-1500) мм

Расчёт в условиях монтажа

Весовая нагрузка, G :	414 Н
Смещение по x , d_x :	0 мм
Смещение по y , d_y :	(-1500) мм

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Весовая нагрузка, G :	414 Н
Смещение по x , d_x :	0 мм
Смещение по y , d_y :	(-1500) мм

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Лист	№ док.
Подп.	Дата	

Список литературы

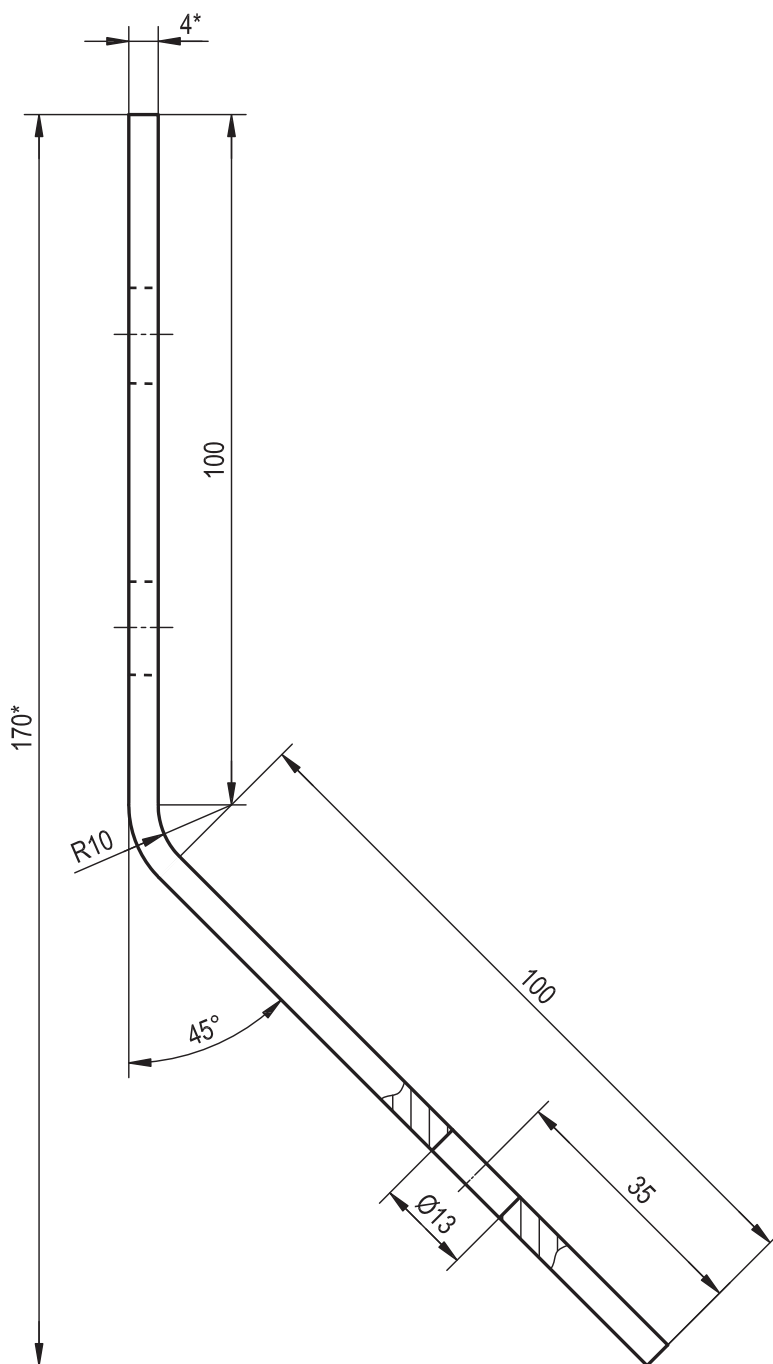
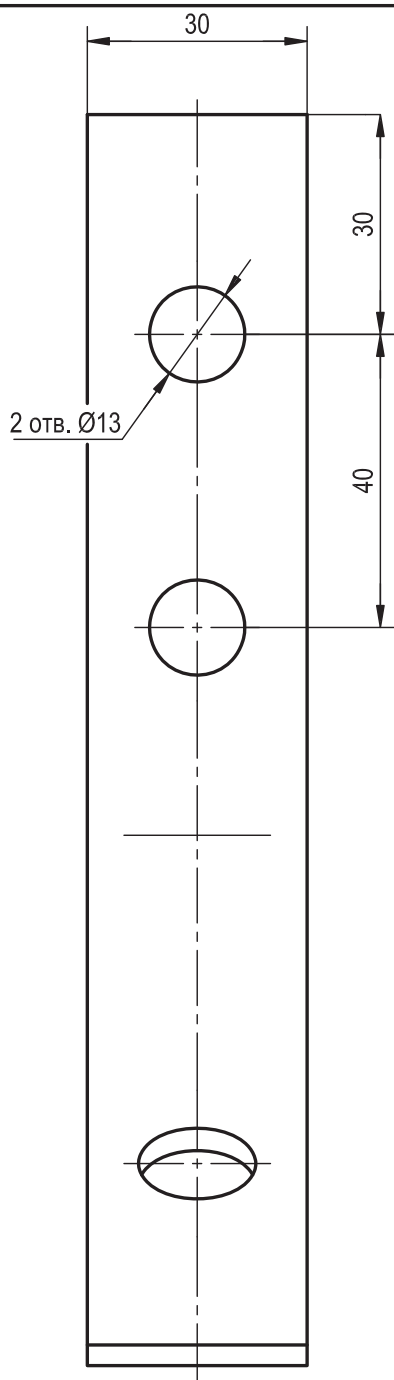
- 1) ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 2) ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 3) ГОСТ 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 4) ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 5) ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- 6) ГОСТ 34283-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках.
- 7) ГОСТ 34347-2017. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	<div>90651-20600-AM-02-223 РР</div>					Лист
								343
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

[illegible]

344





AM-02-ДТ-01-02



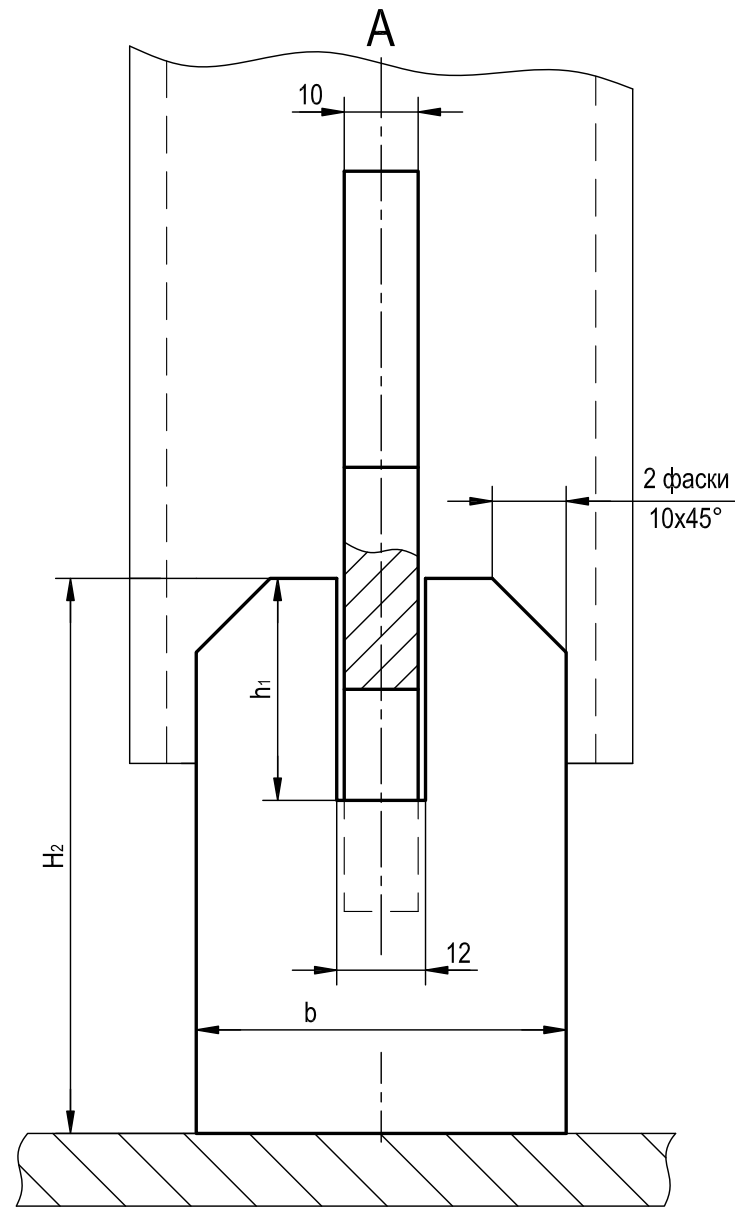
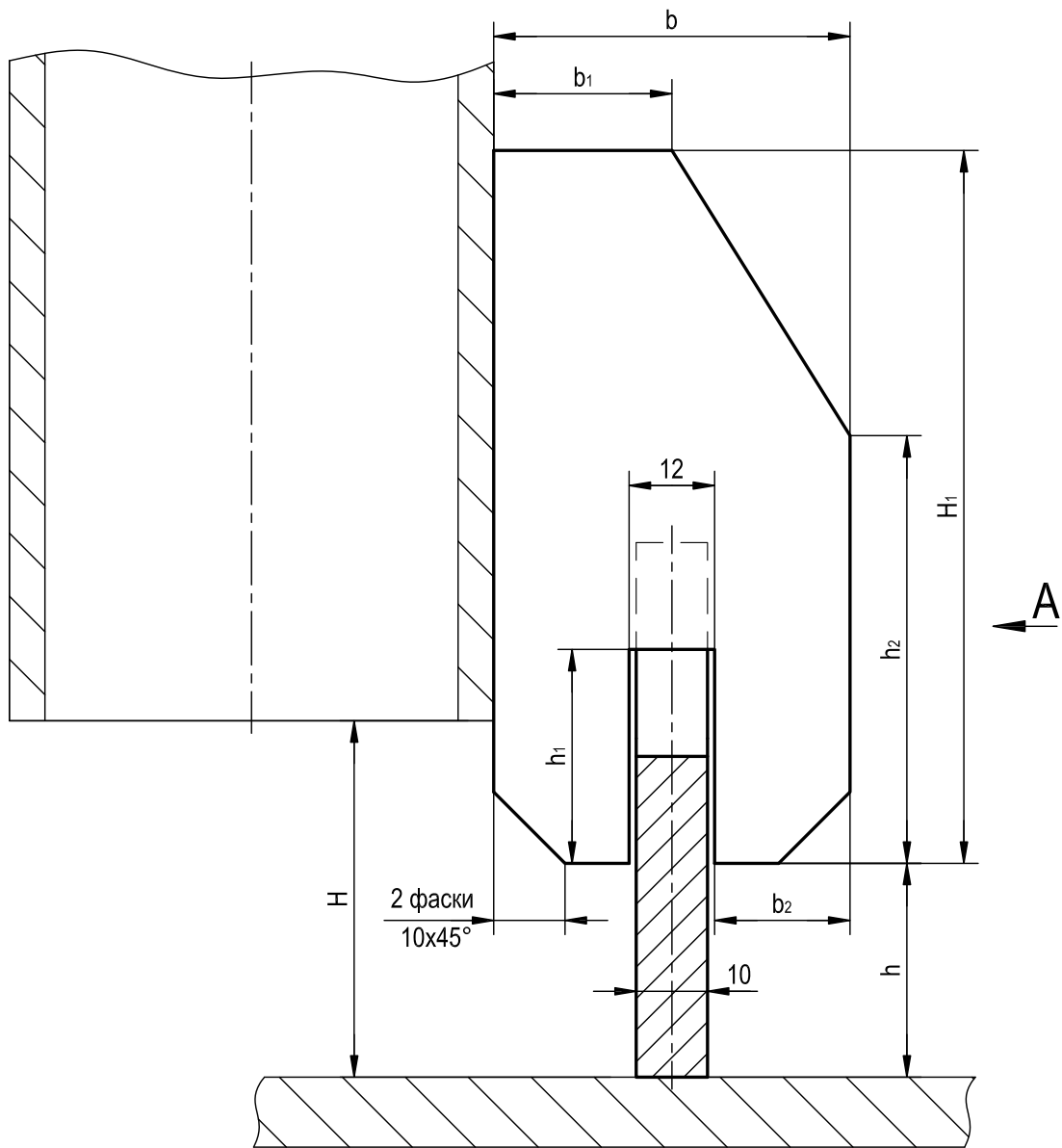
Примечания:

* - размер для справок.

Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

Примечания: * - размер для справок.														
					AM-02-ДТ-01-02									
					Устройство заземления					Лит.		Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата									0,19	1:1
Разраб.		Зеленин		04.06.20										
Проверил		Ковалёв		04.06.20										
					Лист <u>4 ГОСТ 19903-2015</u> <u>12X18Н10Т ГОСТ 5632-2014</u>					Лист		Листов 1		
Н. контр.		Сотник		04.06.20								НЕФТЕХИМПРОЕКТ		
Утв.		Гилёв		04.06.20								NEFTECHIMPROEKT		

AM-02-ДТ-03-01

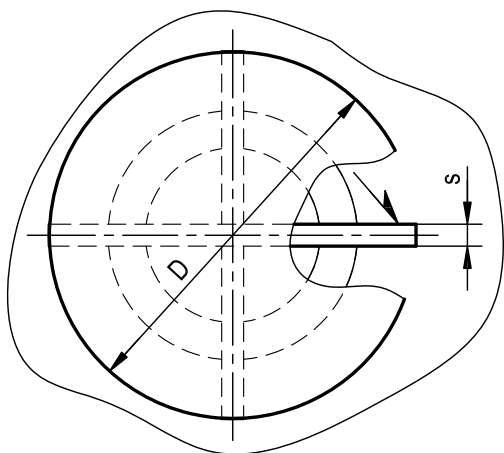
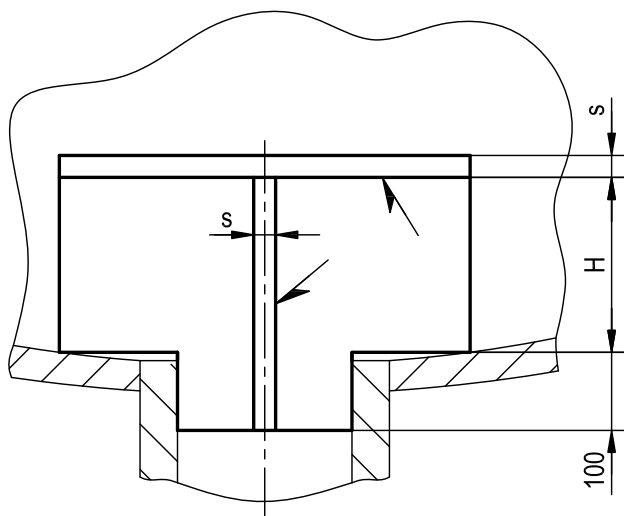


Примечания:
1. Материальное исполнение определяется техническим проектом.

Обозначение	Размеры, мм									Масса, кг не более
	H	H ₁	H ₂	h	h ₁	h ₂	b	b ₁	b ₂	
AM-02-ДТ-03-01	50	100	75	30	30	60	50	25	19	0,6
-01	80	100	105	60	30	60	50	25	19	0,7
-02	100	140	120	60	40	80	80	40	34	1,5
-03	150	160	170	110	40	100	80	40	34	1,8
-04	200	180	230	140	60	100	100	60	44	3
-05	250	180	280	190	60	100	100	60	44	3,4
-06	300	180	310	220	60	100	100	60	44	3,6

					АМ-02-ДТ-03-01					
					Фиксатор трубы	Лит.			Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					См. табл.	-
Разраб.		Зеленин		04.06.20						
Проверил		Ковалёв		04.06.20						
						Лист			Листов 1	
Н. контр.		Сотник		04.06.20		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				
Утв.		Гилёв		04.06.20						

AM-02-ДТ-04-02







Примечания:

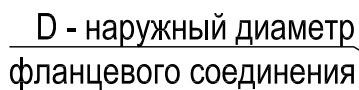
1. Материальное исполнение определяется техническим проектом.

Обозначение	Размеры, мм				Масса, кг не более
	DN	D	H	s	
AM-02-ДТ-04-02	100	200	150	6	5,2
-01	100	200	150	8	6,9
-02	100	200	150	10	8,5
-03	100	200	150	14	11,9
-04	150	300	200	6	10,3
-05	150	300	200	8	13,7
-06	150	300	200	10	17,1
-07	150	300	200	14	23,0
-08	200	400	300	6	19,0
-09	200	400	300	8	25,3
-10	200	400	300	10	31,5
-11	200	400	300	14	44,1
-12	250	500	350	6	28,0
-13	250	500	350	8	37,2
-14	250	500	350	10	46,5
-15	250	500	350	14	65,1
-16	300	600	450	6	41,4
-17	300	600	450	8	55,2
-18	300	600	450	10	68,9
-19	300	600	450	14	96,5
-20	350	700	500	8	72,2
-21	350	700	500	10	90,2
-22	350	700	500	14	126,3
-23	400	800	600	8	96,5
-24	400	800	600	10	120,5
-25	400	800	600	14	168,7
-26	450	900	700	8	124,3
-27	450	900	700	10	155,3
-28	450	900	700	14	217,4

DN - диаметр номинальный патрубка штуцера.

Взам. инв. №		Примечания: 1. Материальное исполнение определяется техническим проектом.	<table><tr><td>-26</td><td>450</td><td>900</td><td>700</td><td>8</td><td>124,3</td></tr><tr><td>-27</td><td>450</td><td>900</td><td>700</td><td>10</td><td>155,3</td></tr><tr><td>-28</td><td>450</td><td>900</td><td>700</td><td>14</td><td>217,4</td></tr></table>						-26	450	900	700	8	124,3	-27	450	900	700	10	155,3	-28	450	900	700	14	217,4
			-26	450	900	700	8	124,3																		
-27	450	900	700	10	155,3																					
-28	450	900	700	14	217,4																					
			DN - диаметр номинальный патрубка штуцера.																							

Подп. и дата						АМ-02-ДТ-04-02										
						Антизавихритель			Лит.		Масса	Масштаб				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							См. табл.	-				
													Разраб.	Зеленин		04.06.20
													Проверил	Ковалёв		04.06.20
Инв. № подл.						Лист		Листов 1								
						НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT										
	Н. контр.	Сотник		04.06.20												
	Утв.	Гилёв		04.06.20												



Отв. Ø5
только для кольца

D_1 - наружный диаметр
заглушки / кольца






Уплотнительная
поверхность

1. Для заглушек и колец массой ≥ 50 кг – 4 строповых устройства;
 < 50 кг – 1 строповое устройство.
2. Размеры D, D₁ в соответствии с техническим проектом.
3. Материал строповых устройств соответствует материалу заглушки и кольца.

Взам. инв. №	1. Для заглушек и колец массой ≥ 50 кг – 4 строповых устройства; 									
--------------	---------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ
ПРЕДЛОЖЕНИЯМ ПОСТАВЩИКА

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

					27-АМ-02 Д					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						
Разраб.		Ковалёв		02.09.22	<div>Требования к техническим предложениям поставщика</div> <div>НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT</div>					
Проверил		Островский		02.09.22						
Нач. отд.		Гилёв		02.09.22						
Н. контр.		Сотник		02.09.22						
Утвердил		Сырков		02.09.22						
					Лит.		Лист		Листов	
					Т		1		3	

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ПРЕДЛОЖЕНИЯМ ПОСТАВЩИКА

Для оценки соответствия требованиям технического проекта (ТП) Поставщик оборудования должен предоставить Техническое предложение на выполнение рабочей конструкторской документации, изготовление, испытания и поставку сосудов.

В Техническое предложение должны быть включены:

1. Данные о заводе-изготовителе (наименование и местоположение) поставляемого оборудования и организации, выполняющей расчет и проект оборудования.
2. Проштампованные и подписанные Поставщиком чертеж общего вида, ведомость ТП, титульные листы Пояснительной записки и Механического расчета, подтверждающие принятие полного объема поставки, технических требований, материалов, объема и методов контроля согласно ТП.
3. Сертификаты или декларации соответствия Техническому регламенту Таможенного союза: ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования" и ТР ТС 032/2013 "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением" на предлагаемое оборудование или гарантии на их предоставление на стадии поставки оборудования.
4. Гарантии на предоставление на стадии поставки оборудования Обоснования безопасности в соответствии с требованиями ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования" и ТР ТС 032/2013 "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением".
5. Референц-лист, показывающий опыт изготовления и поставки аналогичного оборудования за последние 6 лет, с указанием технических характеристик (давление, температура) и материалов, а также наименования конечного потребителя оборудования.
6. Предлагаемый метод транспортировки (автомобильный, железнодорожный, комбинированный и т.п.) исходя из габаритов и весов сосудов.
7. Предложения по доизготовлению сосудов, собираемых на площадке конечного потребителя, включая описание монтажа, материалов для сварки, термообработки, испытаний, исполнителей и т.п.
8. Перечень дополнительных услуг (опций) по монтажу, включая шефмонтаж.
9. Перечень запасных частей и принадлежностей, включая (если указано в ТП) шаблон основания опоры для анкерных болтов.
10. Перечень предоставляемой документации поставщика на стадии:
 - рассмотрение (согласование) РКД;
 - поставка оборудования.

Подтверждение предоставления финальной документации в бумажном формате (количество экземпляров в соответствии с контрактом) и электронном виде "pdf".

11. Подтверждение, что поставка оборудования будет осуществлена с учетом нанесения покрытия (окраски) в соответствии с требованием ТП и указанием системы покрытий и лакокрасочных материалов, применяемых Поставщиком для согласования Заказчиком.

Все документы и чертежи (кроме сертификатов) иностранного Поставщика должны быть выполнены в двоязычном исполнении: на английском и русском языках.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
<p>- рассмотрение (согласование) РКД;</p> <p>- поставка оборудования.</p> <p>Подтверждение предоставления финальной документации в бумажном формате (количество экземпляров в соответствии с контрактом) и электронном виде "pdf".</p> <p>11. Подтверждение, что поставка оборудования будет осуществлена с учетом нанесения покрытия (окраски) в соответствии с требованием ТП и указанием системы покрытий и лакокрасочных материалов, применяемых Поставщиком для согласования Заказчиком.</p> <p>Все документы и чертежи (кроме сертификатов) иностранного Поставщика должны быть выполнены в двуязычном исполнении: на английском и русском языках.</p>								
			27-AM-02 Д					Лист
								2
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ПРЕДЛОЖЕНИЯМ ПОСТАВЩИКА			Д
<p>Поставщик может представить альтернативное предложение с отступлением от требований ТП при условии выполнения следующих условий:</p> <p>а) Получено предварительное согласие Заказчика.</p> <p>б) Представлены технические обоснования отступлений, показывающие преимущества предлагаемых альтернативных решений (в отношении цены, поставки, транспортировки, монтажа и т. д.).</p> <p>Все отклонения и отступления от требований ТП должны быть представлены поставщиком на чертеже общего вида. Отсутствие отклонений или отступлений при наличии подписанного и проштампованного чертежа будет рассматриваться как полное соответствие требованиям ТП.</p>					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	<div>27-AM-02 Д</div> <div>Лист 3</div>






Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ
NEFTECHIMPROEKT

ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧЕЙ
КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Д

ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Взам. инв. №	Подп. и дата									
Инв. № подл.										
		2	Зам.	—		18.10.24	27-АМ-03 Д			
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				
		Разраб.	Бабин			18.10.24	Требования к рабочей конструкторской документации	Лит.	Лист	Листов
		Проверил	Елисеева			18.10.24		Т	1	3
		Нач. отд.	Фаустов			18.10.24		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		
		Н. контр.	Сотник			18.10.24				
		Утвердил	Сырков			18.10.24				

ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

1. Поставщиком сосуда для рассмотрения на соответствие техническому проекту (ТП) предоставляется рабочая конструкторская документация (РКД) в следующем объеме:

1.1. Сборочный чертёж.

На сборочном чертеже должна быть предоставлена следующая информация:

- Все габаритные размеры, размеры узлов и деталей, справочные размеры, указанные в ТП. Все измененные размеры стандартных деталей должны быть отражены на сборочном чертеже (например: увеличенная толщина тарелки стандартного фланца, увеличенная толщина рёбер стандартных седловых опор и т.п.).
- Ориентация всех приварных к корпусу деталей и всех штуцеров.
- Опорный узел и расположение отверстий под фундаментные болты с указанием количества и номинального диаметра болтов.
- Таблица технических характеристик и технологических параметров среды.
- Технические требования.
- Сводная таблица материального исполнения основных узлов, деталей и используемых прокладок с указанием категории, группы стали, класса прочности.
- Таблица максимальных усилий и моментов на штуцерах.
- Таблица крутящих моментов при затяжке гаек фланцевых соединений с уточнением наличия и отсутствия смазки.
- В дополнительной графе основной надписи (в дополнительной графе 30 по ГОСТ 2.104-2023) должна быть приведена информация о заказчике и об объекте размещения сосуда (установка / комплекс) в соответствии с ТП.
- Таблица штуцеров с указанием номинального диаметра, наружного диаметра и толщины патрубков, рейтинга фланцевых соединений, типа уплотнительных поверхностей фланцев, типа ответных деталей (фланец, заглушка, бобышка), размеров укрепляющих колец, наличие поворотной заглушки, вылетов от корпуса, вылетов от оси/линии TL до присоединяемого трубопровода.
- Масса пустого сосуда.
- Наличие термообработки корпуса.
- Толщина теплоизоляции.
- Схема строповки, утверждённая Заказчиком и монтажной организацией.

1.2. Чертежи деталей и сборочных единиц:

1.2.1. Днища, обечайки, опоры, конические переходы.

1.2.2. Штуцеры, люки, фланцы.

1.2.3. Шаблон основания цилиндрической или конической опоры (кондуктор) (только для колонного и реакторного оборудования).

1.2.4. Чертежи внутренних приварных деталей (распределители, опорные элементы, антизавихрители и т.п.).

1.2.5. Чертежи наружных приварных деталей (ребра жёсткости, устройства крепления изоляции, подъёмно-поворотные устройства и т.п.).

1.2.6. Схема расположения закладных деталей под обслуживающие площадки с указанием расположения сварных швов корпуса. Таблица нагрузок на закладные детали.

1.2.7. Схема расположения сварных швов (раскрой) корпуса (при выполнении пункта 1.2.6 – необязательно).


1.2.8. Чертежи съёмных внутренних устройств, входящих в объём поставки.

1.3. Спецификации.

1.4. Ведомость ЗИП.

1.5. Таблицы (схемы) методов и объёмов контроля сварных соединений.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

2	Зам.	–		18.10.24
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата


27-AM-03 Д

Лист

2

2. Поставщиком выполняются в полном объёме и могут быть запрошены следующие расчёты:
 - 2.1. Механический расчёт элементов корпуса в соответствии со стандартной методикой и с учётом выбранных свойств материалов и прибавок в зависимости от технологии изготовления.
 - 2.2. Расчёты мест врезок штуцеров в соответствии со стандартной методикой.
 - 2.3. Конечно-элементные расчёты смещённых штуцеров с нагрузками (при наличии).
 - 2.4. Расчёты фланцевых соединений с указанием моментов затяжки.
 - 2.5. Оценка локальной прочности корпуса от действия внешних присоединяемых устройств (площадки обслуживания, опоры трубопроводов, ребойлеров, маршевых лестниц и т.д.) методами WRC 107/297/537 или МКЭ.
 - 2.6. Термоупругий расчёт элемента Hot-box (при наличии).
 - 2.7. Расчёт цапф, хвостовых проушин, монтажных крышек и устройств с учётом согласованной с Заказчиком схемой строповки.
3. Каждый документ должен направляться отдельным файлом в формате "PDF".
4. Основная надпись документов должна быть заполнена и подписана ответственными лицами.
5. Поставщик несёт ответственность за достоверность предоставляемой документации. Поступающая от Поставщика документация должна всецело отражать информацию, содержащуюся в ТП. В случае отсутствия в объёме сборочного чертежа размеров и другой информации по отдельным узлам, следует направлять чертежи подборок, содержащие необходимые размеры и информацию. За непредоставленную информацию ответственность несёт Поставщик.
6. В случае отклонения от требований ТП Поставщик обязан предоставить вместе с РКД список изменений и их обоснование. Отступления без обоснований не принимаются.
7. НХП возвращает поставщику комплект рассмотренной документации со штампом "WITH / WITHOUT COMMENTS" (с комментариями / без комментариев). Документы, такие как инструкция по эксплуатации, документация субпоставщиков и др. принимаются для информации. Документация возвращается Поставщику с пометкой "WITHOUT COMMENTS" (без комментариев), в случае отсутствия замечаний и комментариев путём простановки штампа "WITHOUT COMMENTS" на первый лист основного сборочного чертежа и первый лист спецификации. Чертежи и документы, которые являются некорректными или которые не содержат необходимую информацию, будут возвращены Поставщику с пометкой "WITH COMMENTS" для внесения поправок. Данные чертежи и документы должны быть откорректированы Поставщиком и предоставлены на повторное рассмотрение.
8. Для сокращения сроков повторного рассмотрения откорректированной / изменённой документации на чертеже должен быть обозначен номер изменения (ревизии, версии) и дата выпуска изменённого документа. Все изменённые места в документации должны быть отмечены.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

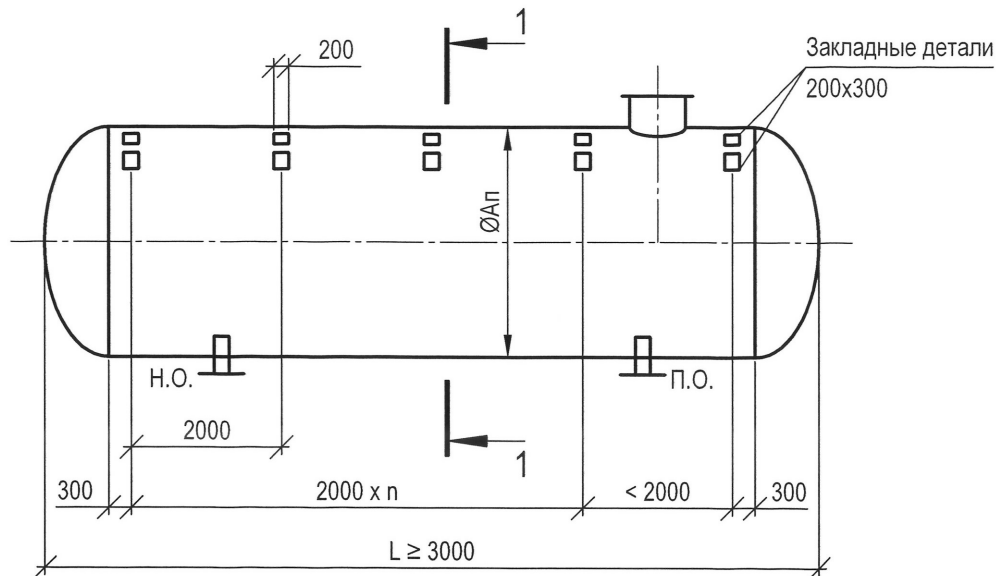
2	Зам.	—		18.10.24
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

27-AM-03 Д

Лист

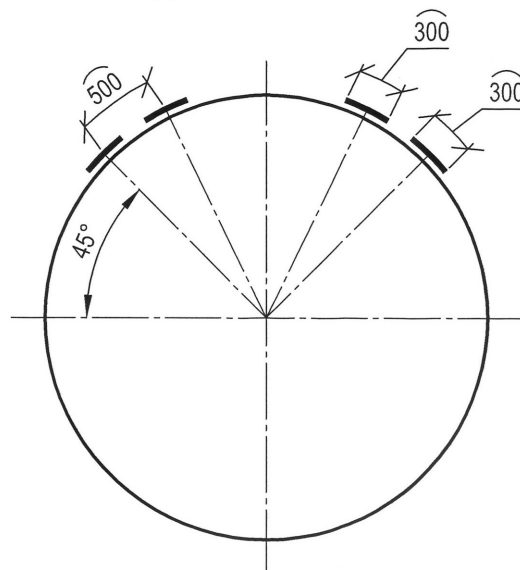
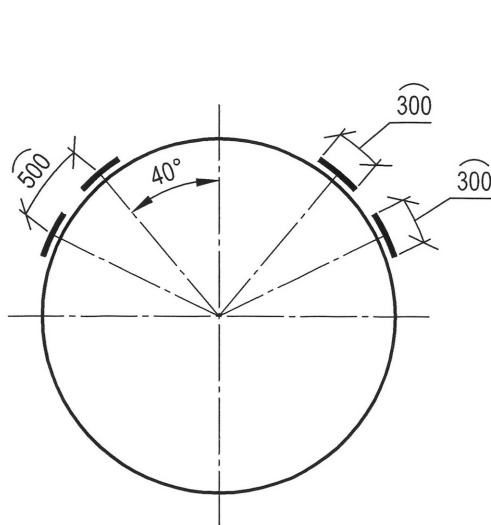
3

Схема расположения закладных деталей (накладок, пластиков)
для крепления площадок обслуживания
на горизонтальных сосудах








1 - 1
для $1000 \leq \varnothing_{\text{Ап}} \leq 2600$

1 - 1
для $\varnothing_{\text{Ап}} \geq 2700$



1. Схема выполнена для определения необходимого количества закладных деталей и требует уточнения в техническом проекте на сосуд.
2. Толщину закладных деталей принять равной толщине обечайки сосуда, но не более 14 мм.
3. Закладные детали изготовить из материала того же структурного класса, что и обечайка сосуда.
4. Количество закладных деталей определяется по схеме в зависимости от длины сосуда.

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	<div>1. Схема выполнена для определения необходимого количества закладных деталей и требует уточнения в техническом проекте на сосуд.</div> <div>2. Толщину закладных деталей принять равной толщине обечайки сосуда, но не более 14 мм.</div> <div>3. Закладные детали изготовить из материала того же структурного класса, что и обечайка сосуда.</div> <div>4. Количество закладных деталей определяется по схеме в зависимости от длины сосуда.</div>						
			ПЛ-Г-КМ-01						
			1	-	Зам.	-		23.01.24	
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
			Разраб.	Синельников А.			23.01.24	Схема расположения закладных деталей для крепления площадок обслуживания на горизонтальных сосудах	
Проверил	Островский			23.01.24	Стадия	Лист	Листов		
							1		
						Типовой чертеж	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		
Н. контр.	Сотник			23.01.24					
Утв.	Фаустов			23.01.24					