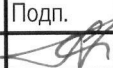



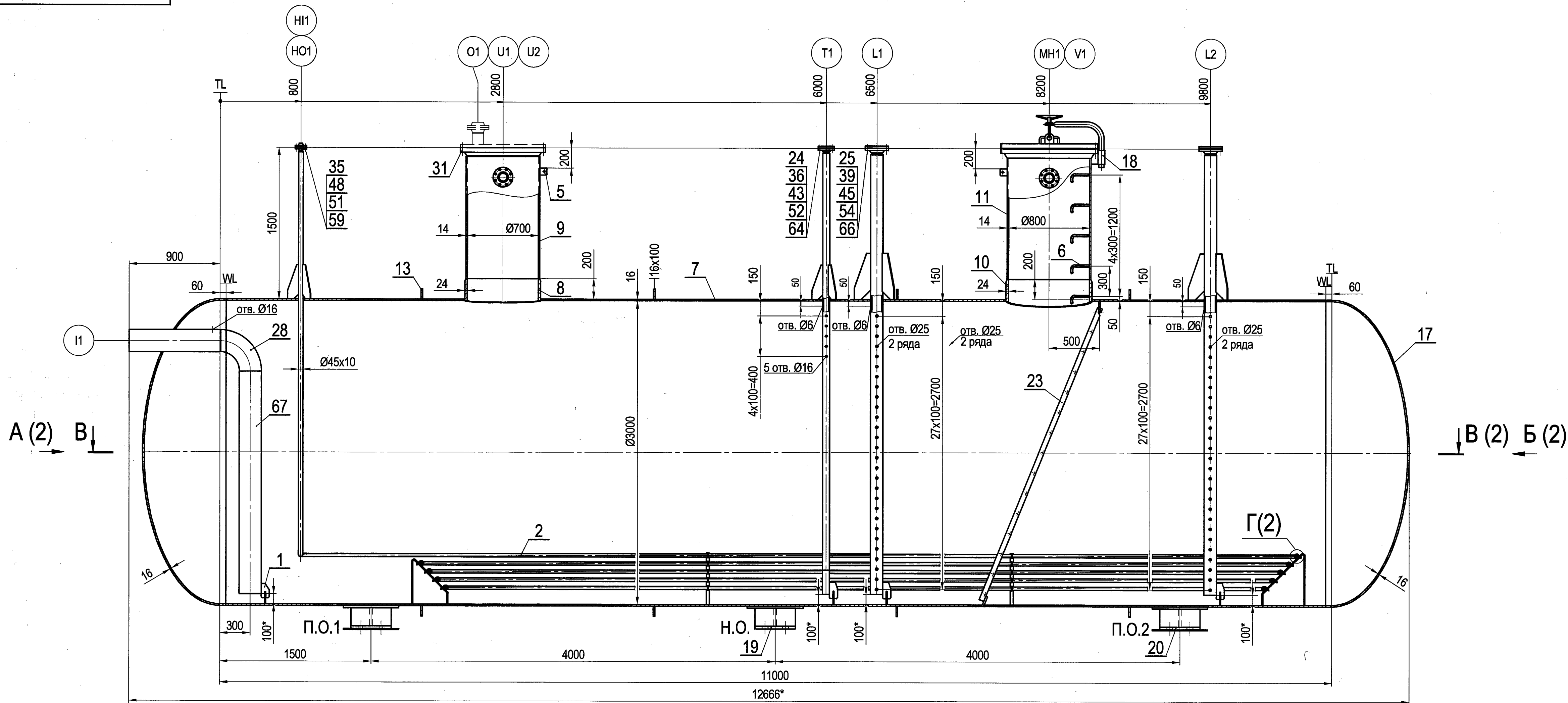


Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2			Документация общая			
3						
4			Вновь разработанная			
5						
6	*)	90651-20600-AM-02-225 ВО	Чертеж общего вида	6	—	*)A4, A1
7	A4	90651-20600-AM-02-225 ПЗ	Пояснительная записка	5	—	
8	A4	90651-20600-AM-02-225 РР	Механический расчет	296	—	
9	A4	90651-20600-AM-02-225 РР.1	Расчет на прочность по МКЭ места			
10			врезки штуцеров в корпус сосуда	11	—	
11						
12			Примененная			
13	A4	AM-02-ДТ-01-01	Пластина заземления	1	—	
14	A4	AM-02-ДТ-02-01	Ступенька	1	—	
15	A3	AM-02-ДТ-03-01	Фиксатор трубы	1	—	
16	A4	27-AM-02 Д	Требования к техническим			
17			предложениям поставщика	3	—	
18	A4	27-AM-03 Д	Требования к рабочей			
19			конструкторской документации	3	—	Изм.2
20						
21						
22						
23						
24						
25						

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

					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-02-225 ТП		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Е-25 Дренажная емкость Ведомость технического проекта		
Разраб.		Островский		07.02.25			
Проверил		Синельников И.		07.02.25			
Нач. отд.		Фаустов		07.02.25			
Н. контр.		Сотник		07.02.25			
ГИП		Лоозе		07.02.25			
					Лит.	Лист	Листов
					Т		1
					НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		



Техническая характеристика

Наименование		В корпусе	В подогревателе
Давление, МПа	Рабочее, изб.	Гидрост.	1,6
	Расчетное	внутреннее, изб.	0,07
		наружное, абс.	-
	Пробное гидравлического испытания при изготовлении**, изб.	См. п.5 ТТ	2,47
Температура, °С	Рабочая	10+90	250
	Расчетная стенки	100	250
	Минимально допустимая стенки сосуда, находящегося под расчетным давлением	Минус 23	
	Прибавка для компенсации коррозии (эрозии), мм	4	2
Группа сосуда по таблице 1 ГОСТ 34347-2017		1	3
Вместимость, м³		86	-
Толщина теплоизоляции, мм		См. п.8 ТТ	-
Наименование рабочей среды		Вакуумный газойль, вода	Водяной пар
Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013		1	2
Характеристика рабочей среды	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	4	-
	Пожароопасность	Да	Нет
	Взрывоопасность	Да	Нет
	Место установки	Подземная	
Условия эксплуатации	Сейсмичность, баллы MSK-64	8 баллов	
	Ветровой район по ГОСТ 34283-2017	IV	
	Температура наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,92, °С	Минус 23	
	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Минус 36	
	Число циклов нагружения за расчетный срок службы	Не более 1000	

Технологические параметры среды

Наименование	В корпусе	В подогревателе
Оптимальное рабочее давление, МПа изб.	Гидрост.	0,98
Оптимальная рабочая температура, °С	до 90	200
Плотность, кг/м³	910+1000	5,2
Характеристика и состав рабочей среды	См. ПЗ	

Примечания

- Оптимальное рабочее давление и температура это давление и температура, которые соответствуют проектному материальному балансу установки.
- Рабочее давление сосуда соответствует 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.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Изготовление, контроль, испытание и поставка сосуда должны производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 34347-2017 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия" и настоящим техническим проектом.
- В комплект документации поставщика сосуда должно входить "Обоснование безопасности" согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза "О безопасности машин и оборудования" ТР ТС 010/2011 и Технического регламента Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением" ТР ТС 032/2013.
- Расчётный срок службы сосуда – 20 лет.
- Пропарка сосуда осуществляется водяным паром с температурой 200°С при атмосферном давлении.
- Гидравлическое испытание сосуда проводить в соответствии с ГОСТ 34347-2017, п. 7.11.11.
- Опоры поз. "19", "20" изготовить в соответствии с техническими требованиями ОСТ 26-2091-93.
- Корпус сосуда на месте монтажа заземлить в соответствии с действующими правилами ПУЭ.
- Сосуд снаружи гидроизолируется силами и средствами Заказчика. Теплоизоляция отсутствует.
- Кольца жёсткости (поз. "13") выполнить из полосы 100х16 мм ГОСТ 103-2006. Технические требования должны соответствовать АТК 24.218.02-90.
- Технические условия (ТУ) покраски сосуда определяются Изготовителем в зависимости от условий эксплуатации, категории размещения, способа транспортирования, хранения, монтажа, габаритов и других условий. ТУ должны быть согласованы с Заказчиком.

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. Типул 20600

90651-20600-AM-02-225 BO

Е-25

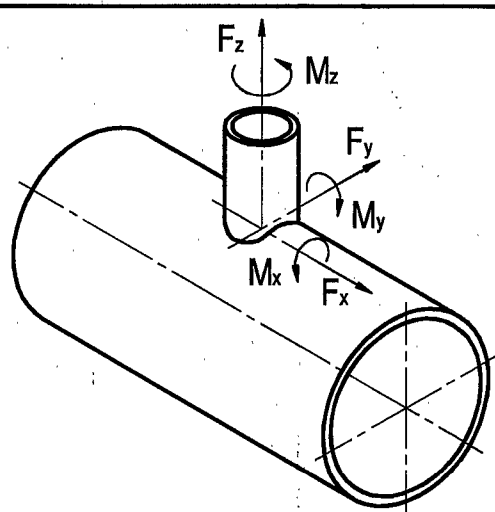
Дренажная емкость  
Чертеж общего вида

Лит.	Масса	Масштаб
Т	22500**	1:25

Лист 1 Листов 6

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

Максимальные усилия и моменты на штуцерах



F<sub>x</sub> - продольное усилие;  
F<sub>y</sub> - окружное усилие;  
F<sub>z</sub> - осевое усилие;  
  
M<sub>x</sub> - продольный изгибающий момент;  
M<sub>y</sub> - окружной изгибающий момент;  
M<sub>z</sub> - крутящий момент.

23. Принятые условные обозначения:

- TL — линия перехода,
- WL — линия сварного шва,
- П.О. — подвижная опора,
- Н.О. — неподвижная опора.

24. \* — Размеры для справок.

25. \*\* — Значение уточняется при рабочем проектировании.

26. \*\*\* — Вылет указан до уплотнительной поверхности фланца штуцера / ответного фланца по стандарту фланца (ГОСТ 33259-2015, ГОСТ 28759.3-2022).

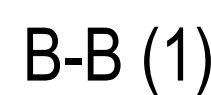
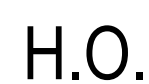
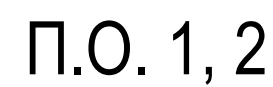
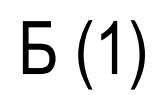
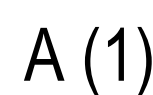
27. \*\*\*\* — Тип уплотнительной поверхности фланца штуцера / ответного фланца по стандарту фланца (ГОСТ 33259-2015, ГОСТ 28759.3-2022).

28. При отправке документации на рассмотрение в адрес "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" (НХП) тема письма электронного сообщения всегда должна содержать код работ НХП, например: [K-651(30)]пробел[предмет письма].

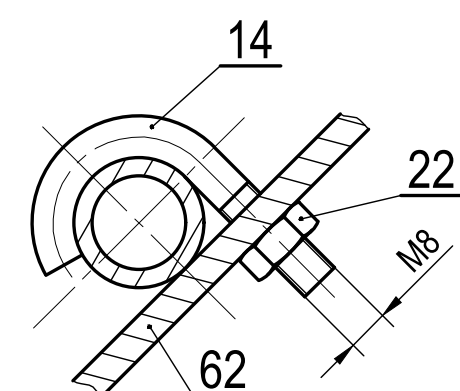
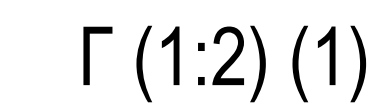
- Допускается применение импортных материалов, если их применение предусмотрено международными стандартами на сосуда, работающие под давлением, и согласовано с АО "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и Заказчиком.
- Обогрев аппарата осуществлять внутренним теплообменным устройством руководствуясь ГП 890.00.000. Устройство оборудовано штуцерами Н11, НО1. Устройство выполнить из трубы Ø45х10.
- Координаты и тип строповых устройств для транспортировки и установки сосуда в рабочее положение на монтажной площадке определяет Изготовитель. Конструкция устройств должна учитывать динамические нагрузки и местные напряжения корпуса в точках присоединения.
- Расчет толщин стенок элементов сосуда проведен без учёта технологической прибавки, необходимой для компенсации утонения стенок элементов сосуда при технологических операциях изготовления. Завод-Изготовитель после выбора технологических операций изготовления сосуда, при необходимости, должен скорректировать расчёт стенок элементов сосуда.
- Спирально-навитые прокладки (СНП) выполнить с наполнителем из терморасширенного графита. Каркас и внутреннее ограничительное кольцо СНП выполнить из стали 12Х18Н10Т. Для фланцевых соединений Н11 и НО1 использовать прокладки из терморасширенного графитового материала.
- В рабочей документации должны быть указаны крутящие моменты при затяжке для шпилек всех фланцевых соединений со смазкой / без смазки.
- Для отключения сосуда на время проведения очистки, осмотра, ремонта и гидравлических испытаний включить в объем поставки заглушки фланцев штуцеров.
- Для фланцев по ГОСТ 33259-2015 группа контроля согласно ГОСТ 33259-2015 – IV.
- Штуцер выхода продукта "О1" (вместе с крепежом и прокладкой), крышка, крепёж и прокладка штуцера насоса "U1" входят в объем поставки Изготовителя насоса.
- Штуцеры "Н11", "НО1", "Л1", "Л2", "Т1" дополнительно укрепить ребрами. Размеры определяет Изготовитель сосуда. Материал ребер – сталь 09Г2С.
- Крышку штуцера "МН1" поз."12" выполнить в соответствии с чертежом по типу ОСТ 26-2008-83.
- В объем поставки входят запасные части:
  - прокладки — 2 комплекта для каждого фланцевого соединения;
  - прокладки для проведения гидравлических испытаний — 1 комплект для каждого фланцевого соединения;
  - крепёжные детали (шпильки, гайки) — 10% от общего количества на сосуда, но не менее 2 комплектов (шпилька + 2 гайки) на каждое фланцевое соединение.Окончательный объем поставки запасных частей уточняет Заказчик (ООО "Афипский НПЗ").

Таблица штуцеров

Обозн.	Наименование	Патрубок		Фланец			Накладное кольцо	Вылет***, мм	Расстояние от оси / TL до присоединяемого трубопровода", мм
		Диаметр, мм	Толщ., мм	DN, мм	PN, МПа	Тип упл. пов.****			
МН1	Люк-лаз	800 внутр.	24	800	2,5	1 / 2	-	См. черт.	-
И1	Вход продукта	219 нар.	10	-	-	-	-	См. черт.	-
О1	Выход продукта	-	-	150	-	-	-	-	-
U1	Штуцер для насоса	700 внутр.	24	700	1,6	3 / 4	-	См. черт.	-
U2	Пропарка	102 нар.	12	80	4,0	F / E	-	См. черт.	См. черт.
V1	Воздушник	102 нар.	12	80	4,0	F / E	-	См. черт.	См. черт.
L1, L2	Измерение уровня	121 нар.	12	100	2,5	F / E	-	См. черт.	-
T1	Измерение температуры	68 нар.	10	50	4,0	F / E	-	См. черт.	-
Н11	Вход теплоносителя	45 нар.	10	25	4,0	B / B	-	См. черт.	3054
НО1	Выход теплоносителя	45 нар.	10	25	4,0	B / B	-	См. черт.	3054



остальное условно не показано



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-03-01-02	Фиксатор трубы		4	1,5	09Г2С	И1, L1, L2, Т1
		2		Устройство для обогрева		1		09Г2С	МН1 см. п.12 ТТ
				Детали					
		5	АМ-02-ДТ-01-01	Пластина заземления		2	0,23		U1, МН1
		6	АМ-02-ДТ-02-01	Ступенька		5	2,4	09Г2С	МН1
		7		Обечайка Ø3000х16		1	12850	09Г2С	
		8		Обечайка Ø700х24		1	105	09Г2С	U1
		9		Обечайка Ø700х14		1	300	09Г2С	U1
		10		Обечайка Ø800х24		1	120	09Г2С	МН1
		11		Обечайка Ø800х14		1	340	09Г2С	МН1
		12		Крышка		1	335	09Г2С	МН1 см. п.21 ТТ
		13		Кольцо жесткости		4	110	09Г2С	см. п.9 ТТ
		14		Хомут		29	0,05	08Х13	НН1, НО1
				Стандартные изделия					
17		Днище 3000-16 ГОСТ 6533-78		2	1313,1	09Г2С			
18		Устройство 1-800-2,5-3							
		по типу ОСТ 26-2013-83		1	15	09Г2С	МН1		
19		Опора 1200-1534-3							
		по типу ОСТ 26-2091-93		1	360**		Н.О.		
20		Опора ПЛ 1200-1534-3							
		по типу ОСТ 26-2091-93		2	450**		П.О.1, П.О.2		
21		Лист опорный 18-1534-09Г2С							
		по типу ОСТ 26-2091-93		2	210				
Инв. № подл.						90651-20600-АМ-02-225 ВО			Лист
									3
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.				Дата



Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия												
Поз.		Обозначение		Наименование			Кол.	Масса, кг	Материал		Примечание	
22				Гайка М8.7Н.08Х18Н10Т								
				ОСТ 26-2038-96			29	0,005			НН1, НО1	
23				Лестница 1-3000-09Г2С								
				по типу АТК 24.218.03-90			1	31				
24				Заглушка 2-50-4,0-09Г2С			1	3,4			Т1	
				АТК 24.200.02-90								
25				Заглушка 2-100-2,5-09Г2С			2	5,5			L1, L2	
				АТК 24.200.02-90								
				Отвод ГОСТ 17375-2001								
28				90-219х10-09Г2С			1	25			I1	
				Фланцы ГОСТ 28759.3-2022								
31				3-700-1,6-09Г2С			1	59			U1	
32				1-800-2,5-09Г2С			1	98			МН1	
				Фланцы ГОСТ 33259-2015								
35				25-40-11-1-В-09Г2С			4	1,2			НН1, НО1	
36				50-40-11-1-F-09Г2С			1	2,81			Т1	
37				80-40-11-1-Е-09Г2С			2	4,81			U2,V1	
38				80-40-11-1-F-09Г2С			2	4,81			U2,V1	
39				100-25-11-1-F-09Г2С			2	6,58			L1, L2	



[illegible]

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	Карузо	Отд. 21-1	Взам. инв. №	Подп. и дата	90651-20600-AM-02-225 ПЗ				
	Изм.					Лист	№ док.	Подп.	Дата	
Инв. № подл.	Разраб.	Островский		07.02.25	Е-25 Дренажная емкость	Лит.	Лист	Листов		
	Проверил	Синельников И.		07.02.25		Т	1	5		
	Нач. отд.	Фаустов		07.02.25		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				
	Н. контр.	Сотник		07.02.25						
	ГИП	Лоозе		07.02.25						

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 .....	4
	Лист регистрации изменений .....	5

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист
								2
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 ПЗ



## 1. Введение

Технический проект дренажной емкости Е-25 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.	Гидрост.	1,6
Расчетное давление: внутреннее, МПа изб. наружное, МПа абс.	0,07 —	1,6 —
Пробное давление гидравлического испытания при изготовлении, МПа изб.	Согласно ГОСТ 34347-2017, п. 7.11.11	2,47
Рабочая температура, °C	10÷90	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	4	2
Вместимость, м³	86	—
Масса пустого сосуда, кг	22500	—
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.	Гидрост.	0,98
Оптимальная рабочая (технологическая) температура, °C	До 90	200
Наименование рабочей среды и состав	Вакуумный газойль (сера – н.б. 2,0% масс., мех. примеси – до 1% масс.), вода	Водяной пар
Парциальное давление H <sub>2</sub> S, МПа абс.	—	—
Парциальное давление H <sub>2</sub> , МПа абс.	—	—
Кислотность среды, pH	—	—

Примечания:

- а) Оптимальное рабочее давление и температура - это давление и температура, которые соответствуют проектному материальному балансу установки.

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 ПЗ

Лист  
3

- б) 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.
- в) Рабочая температура соответствует максимальной температуре среды, которая может поддерживаться в сосуде длительный период времени вследствие допустимых изменений режима работы технологического процесса.

### 3. Назначение

Емкость Е-25 предназначена для сбора остаточных нефтепродуктов при опорожнении и пропарке трубопроводов и технологического оборудования.

### 4. Описание конструкции и принцип работы

Дренажная емкость Е-25 представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд диаметром 3000 мм с эллиптическими днищами, установленный на седловые опоры. Сосуд имеет технологические штуцера для обеспечения работы согласно назначению. Для контроля уровня предусматриваются штуцеры L1, L2. Для возможности осмотра сосуда предусмотрен люк-лаз МН1.

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

- заглушка по АТК 24.200.02-90.

В рабочем режиме во фланцевых соединениях:

- заглушка по АТК 24.200.02-90 заменяется на ответную деталь для рабочего режима.

В дренажную подземную емкость Е-25 поступают самотеком остаточные нефтепродукты при опорожнении аппаратов и трубопроводов перед ремонтными работами. Вход продукта осуществляется через штуцер I1. Откачка продукта производится полупогружным насосом, установленным на штуцере U1. "Дыхание" емкости осуществляется в атмосферу через воздушник - штуцер V1.

### 5. Механические расчеты

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

Механический расчет 90651-20600-AM-02-225 РР выполнен в системе автоматизированного проектирования Passat 3.04 и содержит:

- расчеты цилиндрических обечаек, эллиптических днищ и крышек под действием внутреннего избыточного или наружного давления с учетом воздействием грунта\*;
- 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 днищ и крышек;
- расчет цилиндрической обечайки от воздействия нагрузок от седловых опор.

\* Расчет давления и усилий от грунта на дренажную емкость выполнен по методике ЕЕМUA 190.

Механический расчет 90651-20600-AM-02-225 РР.1 содержит расчеты мест врезки смещенных штуцеров, выполненные методом конечных элементов в программе Штуцер-МКЭ 3.4.

Пропарка сосуда осуществляется без избыточного давления, но учитывает давление от грунта, поэтому включена в расчеты на прочность.

### 6. Требования к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации

Для обеспечения требований к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации дренажной емкости Е-25 необходимо руководствоваться документацией, разработанной Законом-изготовителем.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
<ul style="list-style-type: none"><li>• расчеты плоских днищ и крышек;</li><li>• расчет цилиндрической обечайки от воздействия нагрузок от седловых опор.</li></ul> <p>* Расчёт давления и усилий от грунта на дренажную емкость выполнен по методике ЕЕМUA 190.</p> <p>Механический расчет 90651-20600-AM-02-225 PP.1 содержит расчеты мест врезки смещенных штуцеров, выполненные методом конечных элементов в программе Штуцер-МКЭ 3.4.</p> <p>Пропарка сосуда осуществляется без избыточного давления, но учитывает давление от грунта, поэтому включена в расчеты на прочность.</p> <h3>6. Требования к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации</h3> <p>Для обеспечения требований к монтажу, пуску и безопасной эксплуатации дренажной емкости Е-25 необходимо руководствоваться документацией, разработанной Зааводом-изготовителем.</p>							
					90651-20600-AM-02-225 ПЗ		Лист
							4
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			


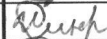


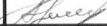
[illegible]

5

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT	МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	РР
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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №										
					90651-20600-AM-02-225 РР							
Изм	Лист	№ док.	Подп.	Дата								
Разраб.		Островский		07.02.25	Е-25 Дренажная емкость				Лит.	Лист	Листов	
Проверил		Синельников И.		07.02.25					Т	1	296	
Нач. отд.		Фаустов		07.02.25					НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			
Н. контр.		Сотник		07.02.25								
ГИП		Лоозе		07.02.25								

Содержание

Введение .....	3
Условия нагружения .....	3
Сводные таблицы .....	3
Эпюры сил и моментов .....	16
Расчет на сейсмические воздействия по ГОСТ 34283-2017 (RUS).....	18
Опора седловая подвижная 1 .....	23
Опора седловая подвижная 2 .....	47
Опора седловая неподвижная .....	71
Днище эллиптическое левое, правое .....	94
Обечайка цилиндрическая .....	97
Вход теплоносителя (Н1), Выход теплоносителя (НО1).....	112
Вход продукта (I1) .....	118
Измерение уровня (L1), Измерение уровня (L2).....	123
Люк-лаз (МН1) .....	129
Обечайка МН1 .....	135
Измерение температуры (Т1) .....	142
Штуцер для насоса (U1) .....	148
Обечайка U1 .....	154
Воздушник (V1), Пропарка (U2).....	161
Фланцевое соединение Н1, НО1 .....	166
Фланцевое соединение U2, V1 .....	189
Крышка плоская МН1 .....	212
Крышка плоская L1, L2 .....	231
Крышка плоская Т1 .....	250
Крышка плоская U1 .....	269
Кольцо жёсткости 1, 2, 3, 4 .....	288
Обогреватель .....	290
Распределенная нагрузка от грунта .....	291
Давление грунта 1 .....	292
Давление грунта 2 .....	293
Внешние нагрузки от I1 .....	294
Список литературы .....	295
Лист регистрации изменений .....	296

Инв. № подл.						Подп. и дата		Взам. инв. №	
					90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					2



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	
<b>Введение</b>  Расчет на прочность выполнен в программе "Пассат 3.04.0.10", разработанной ООО НТП "Трубопровод".								
<b>Условия нагружения</b>								
Расчетные случаи	Площадки	Теплоизоляция	Нагрузки как внешние	Нагрузки от грунта*	Распределители, обогреватели и т.п.	Жидкость	Ветер	Сейсмика
Рабочие условия			X	X	X	X		X
Испытание				X	X	X		X
Монтаж макс.					X			X
* – для дренажных сосудов								
Рабочая среда				Вакуумный газойль, вода				
Плотность жидкости/газа				1000 кг/куб.м				
Вид испытаний				Гидроиспытания				
Давление испытаний				0,1 МПа				
<b>Сводные таблицы</b>								
<b>Основные элементы</b>								
Исходные данные								
Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Коефф. прочности сварного шва		
Днище эллиптическое правое	09Г2С Лист	3000	16	826	4,8	1		
Обечайка цилиндрическая	09Г2С Лист	3000	16	10880	4,8	1		
Обечайка U1	09Г2С Лист	700	14	1210	4,8	1		
Крышка плоская U1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	700	40	113,9	4	1		
Обечайка МН1	09Г2С Лист	800	14	1210	4,8	1		
Крышка плоская МН1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	800	45	137,5	4	1		
Крышка плоская L1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	96	22	81,2	4	1		
Крышка плоская L2	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	96	22	81,2	4	1		
Крышка плоская Т1	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	48	18	65,2	4	1		
Днище эллиптическое левое	09Г2С Лист	3000	16	826	4,8	1		
							Лист	
90651-20600-AM-02-225 РР							3	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

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 правое	100	0,096479	177	5,6177	1,3191	выполнено
Обечайка цилиндрическая	100	0,096479	177	5,6178	1,3244	выполнено
Обечайка U1	100	0,070000	177	4,9384	4,5922	выполнено
Крышка плоская U1	100	0,070000	144	16,286	0,60097	выполнено
Обечайка МН1	100	0,070000	177	4,9582	4,0247	выполнено
Крышка плоская МН1	100	0,070000	144	22,66	0,33794	выполнено
Крышка плоская L1	100	0,070000	144	17,864	0,11799	выполнено
Крышка плоская L2	100	0,070000	144	17,864	0,11799	выполнено
Крышка плоская Т1	100	0,070000	144	14,234	0,131	выполнено
Днище эллиптическое левое	100	0,096479	177	5,6177	1,3191	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое правое	0,14433	272,73	1,5939	2,7567	выполнено
Обечайка цилиндрическая	0,14433	272,73	1,594	2,7716	выполнено
Обечайка U1	0,11279	272,73	0,14478	10,695	выполнено
Крышка плоская U1	0,10092	222,73	10,256	1,5352	выполнено
Обечайка МН1	0,11279	272,73	0,16546	9,3813	выполнено
Крышка плоская МН1	0,10092	222,73	15,233	0,88076	выполнено
Крышка плоская L1	0,10083	222,73	11,249	0,38562	выполнено
Крышка плоская L2	0,10083	222,73	11,249	0,38562	выполнено
Крышка плоская Т1	0,10073	222,73	8,4165	0,46072	выполнено
Днище эллиптическое левое	0,14433	272,73	1,5939	2,7567	выполнено

Штуцеры

Исходные данные

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм
Штуцер для насоса (U1)	U1	Проходящий без укрепления	09Г2С Лист	700	24	200	4,8
Пропарка (U2)	U2	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	78	12	245	4
Люк-лаз (МН1)	МН1	Проходящий без укрепления	09Г2С Лист	800	24	200	4,8
Воздушник (V1)	V1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	78	12	245	4
Измерение уровня (L1)	L1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	97	12	1420	4
Измерение уровня (L2)	L2	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	97	12	1420	4
Измерение температуры (Т1)	Т1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	48	10	1430	4

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

4

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

4

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат А4

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ						РР
Вход теплоносителя (Н11)	Н11	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	25	10	1440	4	
Выход теплоносителя (НО1)	НО1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	25	10	1440	4	
Вход продукта (I1)	I1	Проходящий без укрепления	09Г2С Труба	199	10	289	4	

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
Штуцер для насоса (U1)	100	0,070000	3009,6	4,9403	1,0656	выполнено
Пропарка (U2)	100	0,070000	708	4,0188	4,3799	выполнено
Люк-лаз (МН1)	100	0,070000	3009,6	4,9601	1,0003	выполнено
Воздушник (V1)	100	0,070000	808	4,0188	3,9005	выполнено
Измерение уровня (L1)	100	0,070000	3008	4,023	1,3167	выполнено
Измерение уровня (L2)	100	0,070000	3008	4,023	1,3167	выполнено
Измерение температуры (Т1)	100	0,070000	3008	4,0123	1,3167	выполнено
Вход теплоносителя (Н11)	325	0,070000	3008	4,009	1,3167	выполнено
Выход теплоносителя (НО1)	325	0,070000	3008	4,009	1,3167	выполнено
Вход продукта (I1)	100	0,071956	1808	4,0466	1,4484	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Штуцер для насоса (U1)	0,11532	3009,6	4,95	1,9558	выполнено
Пропарка (U2)	0,10337	708	4,0175	9,8846	выполнено
Люк-лаз (МН1)	0,11544	3009,6	4,9714	1,83	выполнено
Воздушник (V1)	0,10337	808	4,0175	8,8275	выполнено
Измерение уровня (L1)	0,11492	3008	4,0237	2,7497	выполнено
Измерение уровня (L2)	0,11492	3008	4,0237	2,7497	выполнено
Измерение температуры (Т1)	0,11491	3008	4,0126	2,7497	выполнено
Вход теплоносителя (Н11)	0,11523	3008	4,0075	2,7497	выполнено
Выход теплоносителя (НО1)	0,11523	3008	4,0075	2,7497	выполнено
Вход продукта (I1)	0,11981	1808	4,0487	3,0791	выполнено

Фланцы

Исходные данные

Элемент	Тип фланцев	Исполнение	Материал	Теплоизоляция	Выбор из БД	Прокладка	Крепеж	Контроль затяжки
Фланцевое соединение U2	Приварные встык	Выступ-впадина	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	Да	ГОСТ 33259-2015 Py PN 40 DN 80 Тип 11 Ряд 1	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	Шпильки 16 8 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
										5

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

90651-20600-AM-02-225 PP изм.0.docx

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Фланцевое соединение U2	0,070000	51,439	7,2217	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская U1'	0,070000	70,2	1,5771	выполнено
Фланцевое соединение V1	0,070000	51,439	7,2217	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская МН1'	0,070000	140,3	1,626	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская L1'	0,070000	112,99	4,6729	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская L2'	0,070000	112,99	4,6729	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская Т1'	0,070000	68,055	4,9854	выполнено
Фланцевое соединение Н11	0,070000	24,301	2,8076	выполнено
Фланцевое соединение НО1	0,070000	24,301	2,8076	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Момент затяжки, Н·м	Условие прочности
Фланцевое соединение U2	0,10337	51,439	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская U1'	0,10092	70,2	выполнено
Фланцевое соединение V1	0,10337	51,439	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская МН1'	0,10092	140,3	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская L1'	0,10083	112,99	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская L2'	0,10083	112,99	выполнено
Фланец элемента 'Крышка плоская Т1'	0,10073	68,055	выполнено
Фланцевое соединение Н11	0,10088	24,301	выполнено
Фланцевое соединение НО1	0,10088	24,301	выполнено

Расчёт заполнения

Рабочие условия

Элемент	Полный объем, м³	Объем про- дукта, м³	Масса про- дукта, кг	Высота столба, мм	Макс. высота стол- ба при 100%, мм	ξ
Днище эллиптическое правое	3,9584	3,8436	3843,6	2700	4520,3	0,97099
Обечайка цилиндрическая	76,832	72,837	72837	2700	4520,3	0,94801
Штуцер для насоса (U1)	0,086938	0	0	0	1561,7	0
Обечайка U1	0,46566	0	0	0	1304,3	0
Пропарка (U2)	0,0012358	0	0	0	343,25	0
Фланцевое соединение U2	0,00055525	0	0	0	343,25	0
Крышка плоская U1	0,029421	0	0	0	94,25	0
Люк-лаз (МН1)	0,11525	0	0	0	1574,6	0
Обечайка МН1	0,60821	0	0	0	1304,3	0
Воздушник (V1)	0,0012357	0	0	0	343,25	0
Фланцевое соединение V1	0,00055525	0	0	0	343,25	0
Крышка плоская МН1	0,047375	0	0	0	94,25	0
Измерение уровня (L1)	0,010562	0	0	0	1521	0
Крышка плоская L1	0,00043140	0	0	0	84,25	0
Измерение уровня (L2)	0,010562	0	0	0	1521	0
Крышка плоская L2	0,00043140	0	0	0	84,25	0
Измерение температуры (Т1)	0,0026039	0	0	0	1520,4	0
Крышка плоская Т1	0,84325·10 <sup>-4</sup>	0	0	0	74,25	0
Вход теплоносителя (Н11)	0,00071365	0	0	0	1553,2	0
Фланцевое соединение Н11	0,38288·10 <sup>-4</sup>	0	0	0	89,864	0
Выход теплоносителя (НО1)	0,00071365	0	0	0	1553,2	0
Фланцевое соединение НО1	0,38288·10 <sup>-4</sup>	0	0	0	89,864	0

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР


Лист  
7

90651-20600-AM-02-225 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		
Днище эллиптическое левое		3,9486	3,8314	3831,4	2700	4520,3	0,97032		
Вход продукта (I1)		0,011227	0,011227	11,227	199,5	2019,7	1		
Σ		86,133	80,523	80523	–	–	–		
<b>Полости аппарата</b> ρ – плотность рабочей среды V <sub>полн</sub> – полный объем V <sub>прод</sub> – объем продукта M – масса продукта Параметры заполнения полостей									
Элемент	Испытания	P <sub>исп</sub> , МПа	Жидкость	ρ, кг/м³	V <sub>полн</sub> , м³	V <sub>прод</sub> , м³	M, кг	Среда	H <sub>2</sub> S
Днище эллиптическое правое	Гидро	0,10000	Да	1000	86,133	80,523	80523	Ваккумный газ-ойль	Нет (–)
<b>Расчет весов и центров тяжести</b> Рабочие условия (с заполнением продуктом)									
Элемент		Вес, Н	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели 						
Днище эллиптическое правое		37694	X = 0 мм, Y = -39,704мм, Z = -312,09 мм						
Обечайка цилиндрическая		7,1431·10 <sup>5</sup>	X = 0 мм, Y = -72,55мм, Z = 5442,2 мм						
Опора седловая подвижная 2		9027,4	X = 0 мм, Y = -1412,1мм, Z = 1440 мм						
Опора седловая подвижная 1		9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 9440 мм						
Опора седловая неподвижная		9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 5440 мм						
Штуцер для насоса (U1)		1001,7	X = 0 мм, Y = 1596,4мм, Z = 8140,1 мм						
Обечайка U1		2916,2	X = -1,0927 мм, Y = 2319,8мм, Z = 8140 мм						
Пропарка (U2)		67,807	X = 479,09 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм						
Фланцевое соединение U2		108,8	X = 667,07 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм						
Крышка плоская U1		2314,8	X = 0 мм, Y = 3008,2мм, Z = 8140 мм						
Люк-лаз (МН1)		1173,5	X = 0 мм, Y = 1592,6мм, Z = 2739,7 мм						
Обечайка МН1		3325,9	X = -1,0931 мм, Y = 2319,9мм, Z = 2740 мм						
Воздушник (V1)		67,768	X = 529,17 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм						
Фланцевое соединение V1		108,8	X = 717,07 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм						
Крышка плоская МН1		3479,2	X = 0 мм, Y = 3025,5мм, Z = 2740 мм						
Измерение уровня (L1)		1340,4	X = 0 мм, Y = 817,39мм, Z = 4440 мм						
Крышка плоская L1		149,37	X = 0 мм, Y = 2993,3мм, Z = 4440 мм						
Измерение уровня (L2)		1340,4	X = 0 мм, Y = 817,39мм, Z = 1140 мм						
Крышка плоская L2		149,37	X = 0 мм, Y = 2993,3мм, Z = 1140 мм						
Измерение температуры (Т1)		595,67	X = 0 мм, Y = 822,81мм, Z = 4940 мм						
Крышка плоская Т1		56,35	X = 0 мм, Y = 2991,1мм, Z = 4940 мм						
Вход теплоносителя (Н11)		132,52	X = -300 мм, Y = 2147,7мм, Z = 10140 мм						
Фланцевое соединение Н11		27,201	X = -300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм						
Выход теплоносителя (НО1)		132,52	X = 300 мм, Y = 2147,7мм, Z = 10140 мм						
Фланцевое соединение НО1		27,201	X = 300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм						
Кольцо жёсткости 1		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 1940 мм						
Кольцо жёсткости 2		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 4240 мм						
Кольцо жёсткости 3		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 6640 мм						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист	
			90651-20600-AM-02-225 PP					8	
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат А4

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP	
Кольцо жёсткости 4		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8940 мм		
Обогреватель		9000	X = 0 мм, Y = -1020мм, Z = 6200 мм		
Днище эллиптическое левое		50398	X = 0 мм, Y = -33,345мм, Z = 11230 мм		
Вход продукта (I1)		426,58	X = 0 мм, Y = 1101мм, Z = 11531 мм		
Σ		8,6242·10 <sup>5</sup>	X = 0 мм, Y = -71,113мм, Z = 5526,7 мм		
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 правое		38820	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = -307,9 мм		
Обечайка цилиндрическая		7,5349·10 <sup>5</sup>	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 5442,3 мм		
Опора седловая подвижная 2		9027,4	X = 0 мм, Y = -1412,1мм, Z = 1440 мм		
Опора седловая подвижная 1		9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 9440 мм		
Опора седловая неподвижная		9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 5440 мм		
Штуцер для насоса (U1)		1854,3	X = 0 мм, Y = 1599,3мм, Z = 8140,1 мм		
Обечайка U1		7483	X = 0 мм, Y = 2320,5мм, Z = 8140 мм		
Пропарка (U2)		79,926	X = 479,17 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм		
Фланцевое соединение U2		114,25	X = 667,07 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм		
Крышка плоская U1		2603,3	X = 0 мм, Y = 3003,3мм, Z = 8140 мм		
Люк-лаз (МН1)		2303,7	X = 0 мм, Y = 1596,7мм, Z = 2739,8 мм		
Обечайка МН1		9290,7	X = 0 мм, Y = 2320,6мм, Z = 2740 мм		
Воздушник (V1)		79,887	X = 529,23 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм		
Фланцевое соединение V1		114,25	X = 717,07 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм		
Крышка плоская МН1		3943,8	X = 0 мм, Y = 3019,3мм, Z = 2740 мм		
Измерение уровня (L1)		1444	X = 0 мм, Y = 918,04мм, Z = 4440 мм		
Крышка плоская L1		153,6	X = 0 мм, Y = 2992,5мм, Z = 4440 мм		
Измерение уровня (L2)		1444	X = 0 мм, Y = 918,04мм, Z = 1140 мм		
Крышка плоская L2		153,6	X = 0 мм, Y = 2992,5мм, Z = 1140 мм		
Измерение температуры (Т1)		621,2	X = 0 мм, Y = 880,47мм, Z = 4940 мм		
Крышка плоская Т1		57,177	X = 0 мм, Y = 2990,8мм, Z = 4940 мм		
Вход теплоносителя (Н11)		139,51	X = -300 мм, Y = 2150,4мм, Z = 10140 мм		
Фланцевое соединение Н11		27,576	X = -300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм		
Выход теплоносителя (НО1)		139,51	X = 300 мм, Y = 2150,4мм, Z = 10140 мм		
Фланцевое соединение НО1		27,576	X = 300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм		
Кольцо жёсткости 1		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 1940 мм		
Кольцо жёсткости 2		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 4240 мм		
Кольцо жёсткости 3		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 6640 мм		
Кольцо жёсткости 4		1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8940 мм		
Обогреватель		9000	X = 0 мм, Y = -1020мм, Z = 6200 мм		
Днище эллиптическое левое		51547	X = 0 мм, Y = -3,1851мм, Z = 11226 мм		
Вход продукта (I1)		426,58	X = 0 мм, Y = 1101мм, Z = 11531 мм		
Σ		9,1743·10 <sup>5</sup>	X = 0 мм, Y = 26,12мм, Z = 5515,9 мм		
Условия монтажа (сухой вес)					
Элемент		Вес, Н	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели  )		
Днище эллиптическое правое		-	X = - мм, Y = - мм, Z = - мм		
Изм.		Лист	№ док.		Подп.
Дата					
90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
					9

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат A4

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Обечайка цилиндрическая	-	X = - мм, Y = - мм, Z = - мм
Опора седловая подвижная 2	9027,4	X = 0 мм, Y = -1412,1мм, Z = 1440 мм
Опора седловая подвижная 1	9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 9440 мм
Опора седловая неподвижная	9100	X = 0 мм, Y = -1414,5мм, Z = 5440 мм
Штуцер для насоса (U1)	1001,7	X = 0 мм, Y = 1596,4мм, Z = 8140,1 мм
Обечайка U1	2916,2	X = -1,0927 мм, Y = 2319,8мм, Z = 8140 мм
Пропарка (U2)	67,807	X = 479,09 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм
Фланцевое соединение U2	108,8	X = 667,07 мм, Y = 2716мм, Z = 8140 мм
Крышка плоская U1	2314,8	X = 0 мм, Y = 3008,2мм, Z = 8140 мм
Люк-лаз (МН1)	1173,5	X = 0 мм, Y = 1592,6мм, Z = 2739,7 мм
Обечайка МН1	3325,9	X = -1,0931 мм, Y = 2319,9мм, Z = 2740 мм
Воздушник (V1)	67,768	X = 529,17 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм
Фланцевое соединение V1	108,8	X = 717,07 мм, Y = 2716мм, Z = 2740 мм
Крышка плоская МН1	3479,2	X = 0 мм, Y = 3025,5мм, Z = 2740 мм
Измерение уровня (L1)	1340,4	X = 0 мм, Y = 817,39мм, Z = 4440 мм
Крышка плоская L1	149,37	X = 0 мм, Y = 2993,3мм, Z = 4440 мм
Измерение уровня (L2)	1340,4	X = 0 мм, Y = 817,39мм, Z = 1140 мм
Крышка плоская L2	149,37	X = 0 мм, Y = 2993,3мм, Z = 1140 мм
Измерение температуры (Т1)	595,67	X = 0 мм, Y = 822,81мм, Z = 4940 мм
Крышка плоская Т1	56,35	X = 0 мм, Y = 2991,1мм, Z = 4940 мм
Вход теплоносителя (Н11)	132,52	X = -300 мм, Y = 2147,7мм, Z = 10140 мм
Фланцевое соединение Н11	27,201	X = -300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм
Выход теплоносителя (НО1)	132,52	X = 300 мм, Y = 2147,7мм, Z = 10140 мм
Фланцевое соединение НО1	27,201	X = 300 мм, Y = 2969,4мм, Z = 10140 мм
Кольцо жёсткости 1	1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 1940 мм
Кольцо жёсткости 2	1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 4240 мм
Кольцо жёсткости 3	1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 6640 мм
Кольцо жёсткости 4	1212	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8940 мм
Обогреватель	9000	X = 0 мм, Y = -1020мм, Z = 6200 мм
Днище эллиптическое левое	12824	X = 0 мм, Y = -4,5456мм, Z = 11342 мм
Вход продукта (I1)	316,48	X = 0 мм, Y = 1100мм, Z = 11497 мм
Σ	72731	X = 2,9168 мм, Y = -89,492мм, Z = 6447,7 мм

Использование материалов

Материалы элементов

Элемент	Материал	Количество	Площадь поверхности (наружная+внутренняя)
Днище эллиптическое правое			
	09Г2С Лист	1 шт.	21060000 мм²
Давление грунта 1			
Обечайка цилиндрическая			
	09Г2С Лист	1 шт.	204560000 мм²
Опора седловая подвижная 2			
	09Г2С Крепеж	10,629 кг	274760 мм²
	09Г2С Лист	909,88 кг	11038000 мм²
Опора седловая подвижная 1			
	09Г2С Крепеж	10,717 кг	276270 мм²

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

10

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

PP

	09Г2С Лист	917,19 кг	11035000 мм²
Опора седловая неподвижная			
	09Г2С Крепеж	10,717 кг	276270 мм²
	09Г2С Лист	917,19 кг	11035000 мм²
Штуцер для насоса (U1)			
	09Г2С Лист	102,14 кг	1194700 мм²
Обечайка U1			
	09Г2С Лист	297,36 кг	5479500 мм²
Пропарка (U2)			
	09Г2С Труба	6,9141 кг	154070 мм²
Фланцевое соединение U2			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	9,2016 кг	181530 мм²
	35 Крепеж	1,8926 кг	86580 мм²
	Изоляция	2 шт.	239080 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	7242 мм²
Крышка плоская U1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	219,77 кг	2040300 мм²
	35 Крепеж	16,266 кг	579260 мм²
	Изоляция	2 шт.	2068200 мм²
	Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	74927 мм²
Люк-лаз (МН1)			
	09Г2С Лист	119,66 кг	1394900 мм²
Обечайка МН1			
	09Г2С Лист	339,14 кг	6248600 мм²
Воздушник (V1)			
	09Г2С Труба	6,9102 кг	153960 мм²
Фланцевое соединение V1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	9,2016 кг	181530 мм²
	35 Крепеж	1,8926 кг	86580 мм²
	Изоляция	2 шт.	239080 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	7242 мм²
Крышка плоская МН1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	328,99 кг	2655500 мм²
	35 Крепеж	25,772 кг	903870 мм²
	Изоляция	2 шт.	2655200 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	89469 мм²
Измерение уровня (L1)			
	09Г2С Труба	136,68 кг	2910200 мм²
Крышка плоская L1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	11,849 кг	218580 мм²
	35 Крепеж	3,3819 кг	127370 мм²
	Изоляция	2 шт.	280400 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	11528 мм²
Измерение уровня (L2)			
	09Г2С Труба	136,68 кг	2910200 мм²

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

PP

Крышка плоская L2			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	11,849 кг	218580 мм²
	35 Крепеж	3,3819 кг	127370 мм²
	Изоляция	2 шт.	280400 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	11528 мм²
Измерение температуры (Т1)			
	09Г2С Труба	60,739 кг	1551100 мм²
Крышка плоская Т1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	4,869 кг	107850 мм²
	35 Крепеж	0,87685 кг	41078 мм²
	Изоляция	2 шт.	154220 мм²
	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	1 шт.	4906,2 мм²
Вход теплоносителя (Н11)			
	09Г2С Труба	13,512 кг	346460 мм²
Фланцевое соединение Н11			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	2,3825 кг	62209 мм²
	35 Крепеж	0,3911 кг	23978 мм²
	Изоляция	2 шт.	101590 мм²
	Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	6773,3 мм²
Выход теплоносителя (НО1)			
	09Г2С Труба	13,512 кг	346460 мм²
Фланцевое соединение НО1			
	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	2,3825 кг	62209 мм²
	35 Крепеж	0,3911 кг	23978 мм²
	Изоляция	2 шт.	101590 мм²
	Прокладка ТРГ универсальная	1 шт.	6773,3 мм²
Кольцо жёсткости 1			
	09Г2С Лист	123,58 кг	2282800 мм²
Кольцо жёсткости 2			
	09Г2С Лист	123,58 кг	2282800 мм²
Кольцо жёсткости 3			
	09Г2С Лист	123,58 кг	2282800 мм²
Кольцо жёсткости 4			
	09Г2С Лист	123,58 кг	2282800 мм²
Распределенная нагрузка от грунта			
Обогреватель			
	09Г2С Труба	900 кг	1141300 мм²
Днище эллиптическое левое			
	09Г2С Лист	1307,6 кг	20988000 мм²
Давление грунта 2			
Вход продукта (I1)			
	09Г2С Труба	32,27 кг	835310 мм²
Внешние нагрузки от I1			
Итого:			
		09Г2С Крепеж	32,064 кг
		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка	600,5 кг
			827310 мм²
			5728300 мм²

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

12



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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

09Г2С Лист  
09Г2С Труба  
35 Крепеж  
Изоляция  
Прокладка ТРГ универсальная  
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали

5404,5 кг  
1307,2 кг  
54,246 кг  
18 шт.  
3 шт.  
6 шт.

303160000 мм²  
10349000 мм²  
2000100 мм²  
6119700 мм²  
88474 мм²  
131920 мм²

Расчёт давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Значение давления по элементам

Элемент	Давление испытаний, МПа
Днище эллиптическое правое	0,13354
Обечайка цилиндрическая	0,13354
Штуцер для насоса (U1)	0,096893
Обечайка U1	0,096893
Пропарка (U2)	0,10008
Фланцевое соединение U2	0,099957
Крышка плоская U1	0,099957
Люк-лаз (МН1)	0,096893
Обечайка МН1	0,096893
Воздушник (V1)	0,10008
Фланцевое соединение V1	0,099957
Крышка плоская МН1	0,099957
Измерение уровня (L1)	0,10008
Крышка плоская L1	0,099957
Измерение уровня (L2)	0,10008
Крышка плоская L2	0,099957
Измерение температуры (Т1)	0,10008
Крышка плоская Т1	0,099957
Вход теплоносителя (Н11)	0,12461
Фланцевое соединение Н11	0,12462
Выход теплоносителя (НО1)	0,12461
Фланцевое соединение НО1	0,12462
Кольцо жёсткости 1	0,13354
Кольцо жёсткости 2	0,13354
Кольцо жёсткости 3	0,13354
Кольцо жёсткости 4	0,13354
Днище эллиптическое левое	0,13354
Вход продукта (I1)	0,10288
P <sub>test,min</sub> = 0,096893	

Категория оборудования по ТР ТС 032/2013

Элемент, связанный с полостью	Только жидкость (ξ>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 правое	Нет	I	86,133	8,31	0,096479	4

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	

Лист  
13

90651-20600-AM-02-225 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

Приложенные нагрузки

Рабочие условия

Название элемен-та	Нагрузки						Примечание
Давление грунта 1	$F_x=0\text{ Н}$	$F_y=0\text{ Н}$	$F_z=8,945\cdot10^5\text{ Н}$	$M_x=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_y=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_z=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	
Обечайка цилиндрическая							Авто
Штуцер для насоса (U1)							
Обечайка U1							Авто
Пропарка (U2)							
Фланцевое соединение U2							
Люк-лаз (МН1)							
Обечайка МН1							Авто
Воздушник (V1)							
Фланцевое соединение V1							
Измерение уровня (L1)							
Измерение уровня (L2)							
Измерение температуры (Т1)							
Вход теплоносителя (Н11)							
Фланцевое соединение Н11							
Выход теплоносителя (НО1)							
Фланцевое соединение НО1							
Распределенная нагрузка от грунта							
Давление грунта 2	$F_x=0\text{ Н}$	$F_y=0\text{ Н}$	$F_z=(-8,945\cdot10^5)\text{ Н}$	$M_x=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_y=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_z=0\text{ Н}\cdot\text{м}$	
Вход продукта (I1)	$F_R=(-4400)\text{ Н}$	$F_C=4400\text{ Н}$	$F_L=4400\text{ Н}$	$M_C=4900\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_L=4900\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_T=4900\text{ Н}\cdot\text{м}$	Не приложены как внешние
Внешние нагрузки от I1	$F_x=4400\text{ Н}$	$F_y=(-4400)\text{ Н}$	$F_z=4400\text{ Н}$	$M_x=4900\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_y=4900\text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_z=(-4900)\text{ Н}\cdot\text{м}$	

Условия испытаний

Название элемента	Нагрузки	Примечание
Давление грунта 1		
Обечайка цилиндрическая		Авто
Штуцер для насоса (U1)		
Обечайка U1		Авто
Пропарка (U2)		
Фланцевое соединение U2		
Люк-лаз (МН1)		

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

14

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инов. № подл.

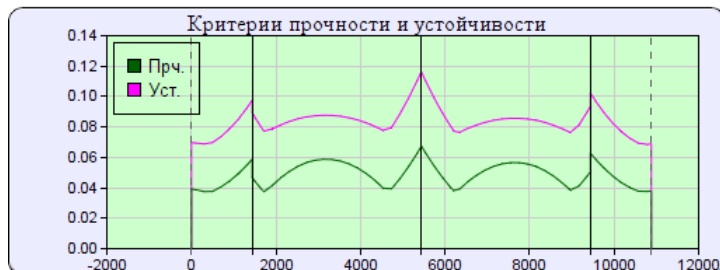
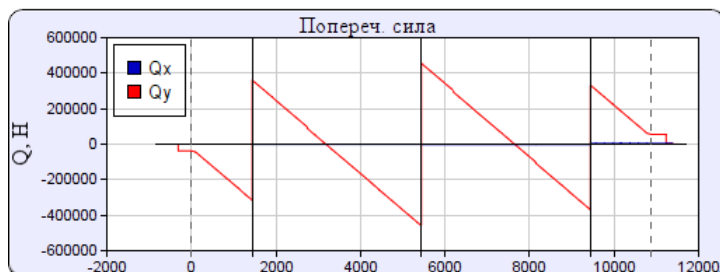
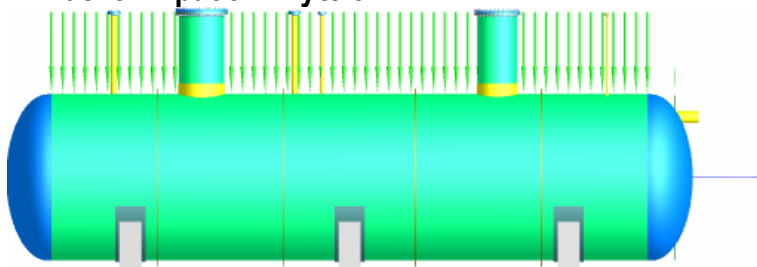
90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4



## Эпюры сил и моментов

### Расчёт в рабочих условиях



### 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 седловая подвижная 2	$6,8599 \cdot 10^5$	$3,607 \cdot 10^5$	$2,1869 \cdot 10^5$
2	Опора седловая неподвижная	$9,2401 \cdot 10^5$	$4,5937 \cdot 10^5$	$3,0356 \cdot 10^5$
3	Опора седловая подвижная 1	$7,1098 \cdot 10^5$	$3,6939 \cdot 10^5$	$2,568 \cdot 10^5$

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

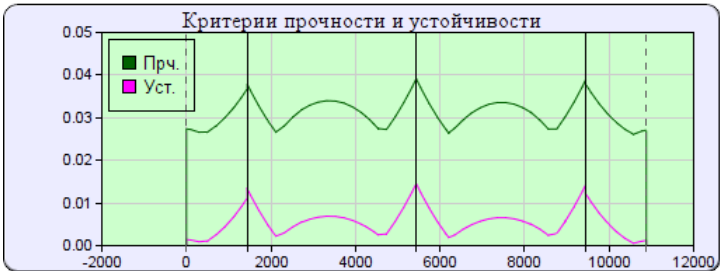
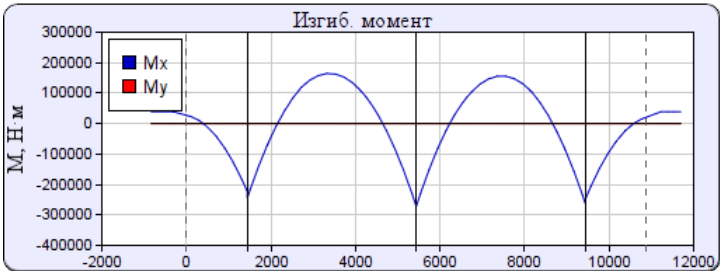
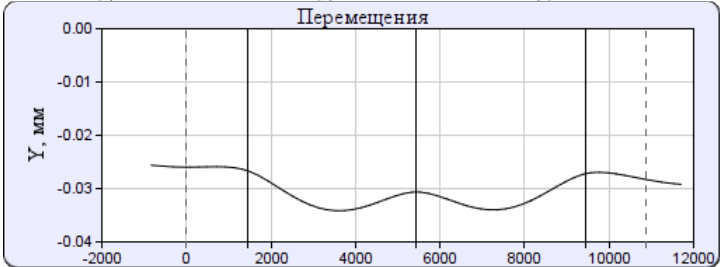
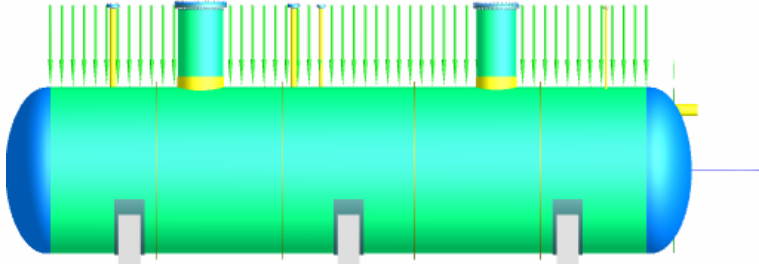
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	------	--------	-------	------

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

16

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)



Эпюры нагрузок и критериев

Условие работоспособности выполнено.

Опорные нагрузки

Неопоры	Название опоры	Опорное уси- лие, F, Н	Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q, Н	Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M, Н·м
1	Опора седловая подвижная 2	$7,482 \cdot 10^5$	$4,1647 \cdot 10^5$	$2,4534 \cdot 10^5$
2	Опора седловая неподвижная	$8,5949 \cdot 10^5$	$4,2575 \cdot 10^5$	$2,7303 \cdot 10^5$
3	Опора седловая подвижная 1	$7,6401 \cdot 10^5$	$4,2045 \cdot 10^5$	$2,6386 \cdot 10^5$

Взам. инв. №

Подп. и дата

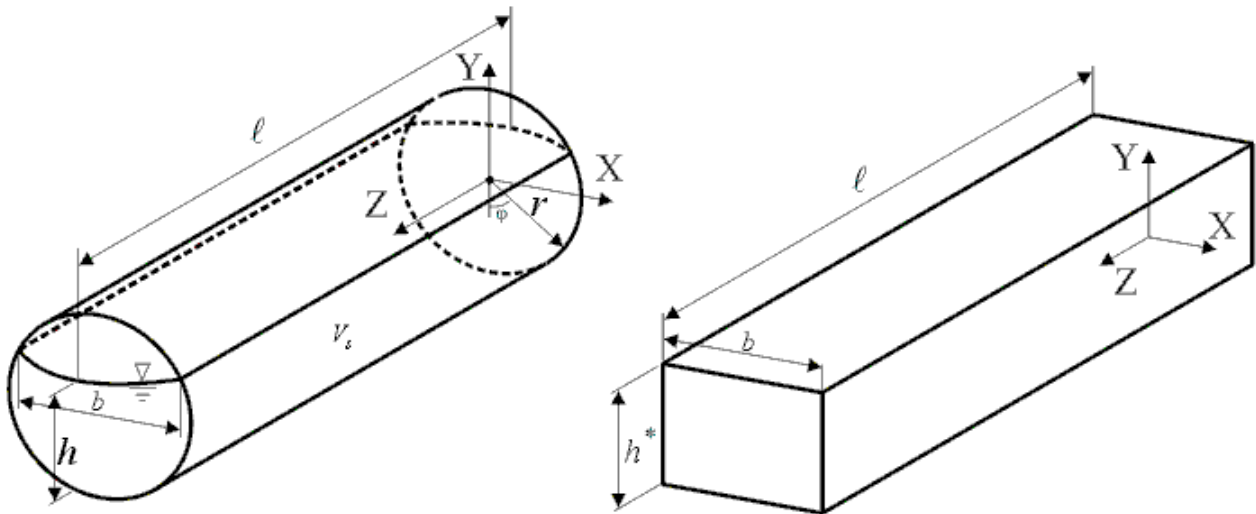
Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

17

Расчет на сейсмические воздействия по ГОСТ 34283-2017 (RUS)



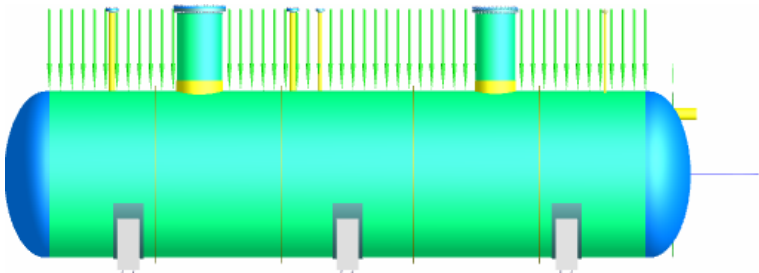
Модель горизонтального сосуда

Исходные данные

Сейсмичность площадки, балл:	8
Назначение сосуда или аппарата:	I
Уровень ПЗ/МРЗ:	МРЗ
Высота жидкости в сосуде, h:	$2,65 \cdot 10^3$ мм
Условный диаметр сосуда, D:	$3 \cdot 10^3$ мм
Ширина свободной поверхности жидкости в сосуде, b:	$1,8 \cdot 10^3$ мм
Длина свободной поверхности жидкости в сосуде, l:	$1,22 \cdot 10^4$ мм
Объем жидкости в исходном сосуде, Vs:	80,5 м³

Эпюры сил и моментов

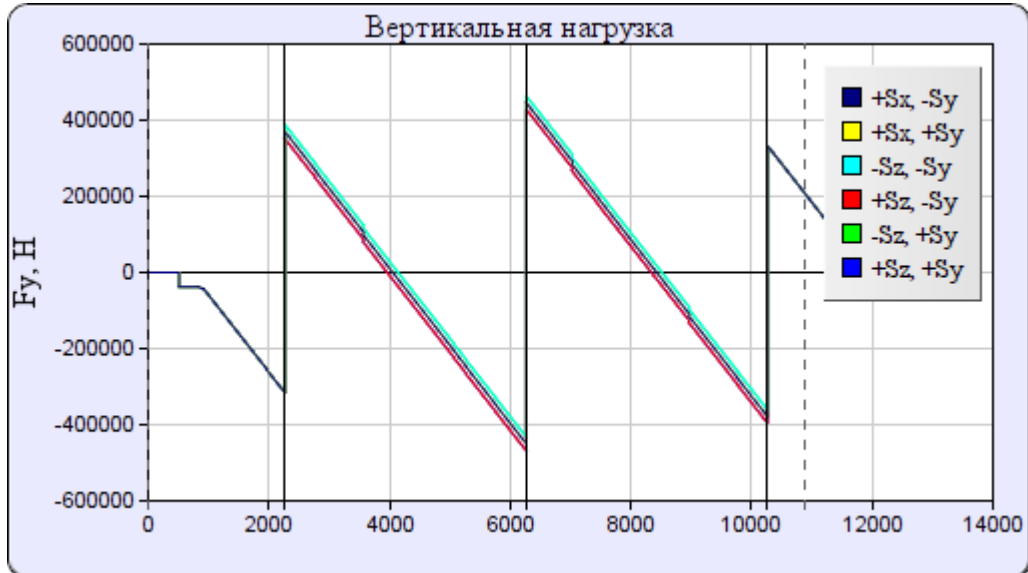
Коэффициент, определяемый назначением сосуда или аппарата:  
 $K_0 = 2$   
 Коэффициент, учитывающий допустимые повреждения в сосудах и аппаратах:  
 $K_1 = 0,25$   
 Сейсмический коэффициент:  
 $K_s = 0,2$   
 Коэффициент изменения максимального ускорения по высоте сооружения в горизонтальном направлении:  
 $K_B = 1 + 0.05 \cdot x_{оск} = 1 + 0.05 \cdot 0 = 1$   
 Коэффициент интенсивности сейсмической нагрузки:  
 $K_{и} = 2$   
 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

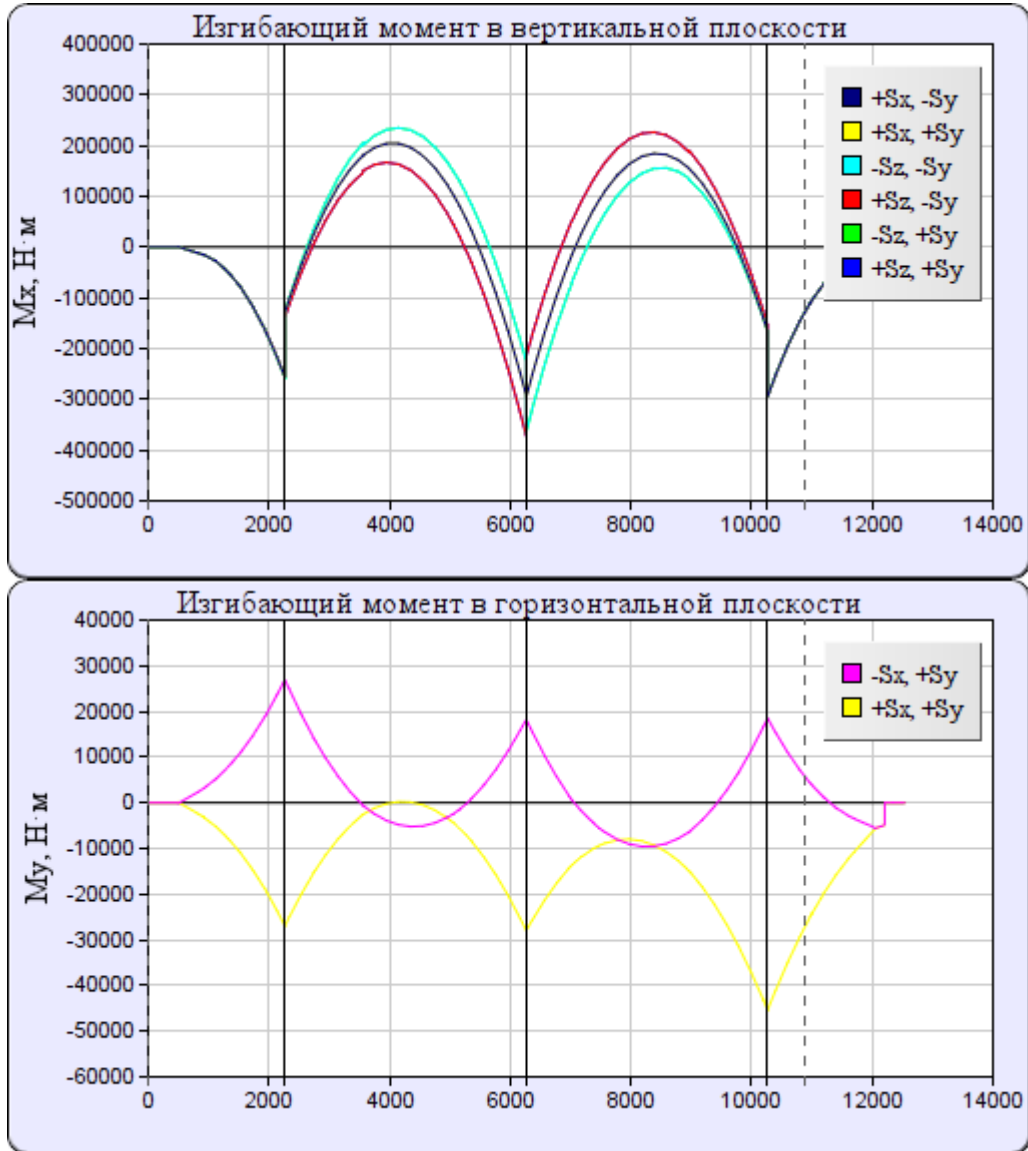
90651-20600-AM-02-225 РР



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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР



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 седловая подвижная 2	№1: $+S_z, +S_y$	1209,1	$6,7668 \cdot 10^5$	$1,7817 \cdot 10^5$	$1,8394 \cdot 10^5$	3602,3	$6,783 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	1220,3	$7,1326 \cdot 10^5$	$2,0778 \cdot 10^5$	$2,2735 \cdot 10^5$	3600,2	$7,149 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	1209,1	$6,7668 \cdot 10^5$	$1,7817 \cdot 10^5$	$1,8394 \cdot 10^5$	3602,3	$6,783 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	1220,3	$7,1326 \cdot 10^5$	$2,0778 \cdot 10^5$	$2,2735 \cdot 10^5$	3600,2	$7,149 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	-56185	$6,9546 \cdot 10^5$	$2,0021 \cdot 10^5$	$2,1351 \cdot 10^5$	$1,0156 \cdot 10^5$	$7,7106 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	58615	$6,9546 \cdot 10^5$	$2,0021 \cdot 10^5$	$2,1351 \cdot 10^5$	-94353	$7,7433 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	-56185	$6,9546 \cdot 10^5$	$2,0021 \cdot 10^5$	$2,1351 \cdot 10^5$	$1,0156 \cdot 10^5$	$7,7106 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	58615	$6,9546 \cdot 10^5$	$2,0021 \cdot 10^5$	$2,1351 \cdot 10^5$	-94353	$7,7433 \cdot 10^5$

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

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

20

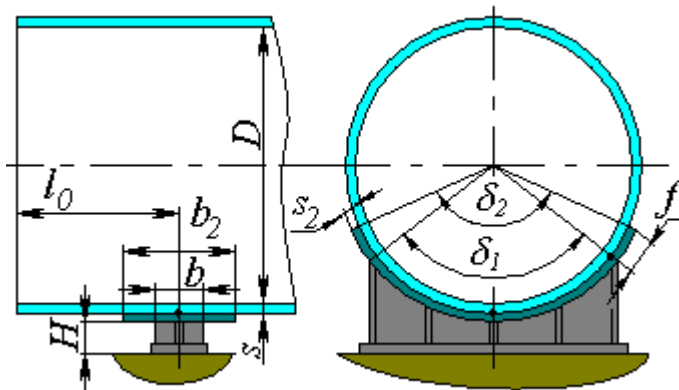




№ опоры	Название опоры	№ расчета	$M_{\Sigma X}$	$M_{\Sigma Y}$	$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{\Sigma X}^2 + M_{\Sigma Y}^2}$
1 (Подвижная)	Опора седловая подвижная 2	№1: $+S_z, +S_y$	$-2,5582 \cdot 10^5$	0	$2,5582 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-2,5727 \cdot 10^5$	0	$2,5727 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-2,5582 \cdot 10^5$	0	$2,5582 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-2,5727 \cdot 10^5$	0	$2,5727 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-2,5655 \cdot 10^5$	-26992	$2,5796 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-2,5655 \cdot 10^5$	26992	$2,5796 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-2,5655 \cdot 10^5$	-26992	$2,5796 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-2,5655 \cdot 10^5$	26992	$2,5796 \cdot 10^5$
2 (Неподвижная)	Опора седловая неподвижная	№1: $+S_z, +S_y$	$-3,723 \cdot 10^5$	-4865,9	$3,7233 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-3,6417 \cdot 10^5$	-4865,1	$3,642 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-3,723 \cdot 10^5$	-4865,9	$3,7233 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-3,6417 \cdot 10^5$	-4865,1	$3,642 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-2,9523 \cdot 10^5$	-28006	$2,9656 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-2,9523 \cdot 10^5$	18278	$2,958 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-2,9523 \cdot 10^5$	-28006	$2,9656 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-2,9523 \cdot 10^5$	18278	$2,958 \cdot 10^5$
3 (Подвижная)	Опора седловая подвижная 1	№1: $+S_z, +S_y$	$-2,9487 \cdot 10^5$	-13436	$2,9518 \cdot 10^5$
		№2: $-S_z, +S_y$	$-2,9439 \cdot 10^5$	-13436	$2,947 \cdot 10^5$
		№3: $+S_z, -S_y$	$-2,9487 \cdot 10^5$	-13436	$2,9518 \cdot 10^5$
		№4: $-S_z, -S_y$	$-2,9439 \cdot 10^5$	-13436	$2,947 \cdot 10^5$
		№5: $+S_x, +S_y$	$-2,9463 \cdot 10^5$	-45393	$2,9811 \cdot 10^5$
		№6: $-S_x, +S_y$	$-2,9463 \cdot 10^5$	18521	$2,9522 \cdot 10^5$
		№7: $+S_x, -S_y$	$-2,9463 \cdot 10^5$	-45393	$2,9811 \cdot 10^5$
		№8: $-S_x, -S_y$	$-2,9463 \cdot 10^5$	18521	$2,9522 \cdot 10^5$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	
90651-20600-AM-02-225 PP					Лист			
					22			

## Опора седловая подвижная 1



Эскиз элемента

### Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки, D:

3000 мм

Толщина стенки обечайки, s:

16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

4 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

0,8 мм

Прибавка технологическая, c3:

0 мм

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

4,8 мм

Ширина опоры, b:

400 мм

Угол охвата опоры, delta1:

117 °

Расстояние от края элемента, l0:

9440 мм

Расстояние до дна, a:

1500 мм

Высота опоры, H:

205 мм

Толщина листа, s2:

18 мм

Ширина листа, b2:

550 мм

Угол охвата листа, delta2:

140 °

Длина выступающей части листа, f:

307,89 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:

0,096479 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

2,568·10<sup>5</sup> Н·м

Опорное усилие, F:

7,1098·10<sup>5</sup> Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

3,6939·10<sup>5</sup> Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]:

0,17466 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]<sub>уст</sub>:

1,0623·10<sup>7</sup> Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

1,3315·10<sup>7</sup> Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

3,1775·10<sup>6</sup> Н

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
Лист	23
№ док.	
Подп.	
Дата	

90651-20600-AM-02-225 РР

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  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 4,8) / 3000)^{1/2} = 0,086458$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.086458^{1/2} + 6 \cdot 0.086458) / 2.4435 \} = 0.30857$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 2,7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.7305} \cdot \sin(2.7305) / 2.7305; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,070945 \cdot 0,30857 / (0,85144 \cdot 0,25) = (-0,023654)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,568 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4,8)) = 3,2437 \text{ МПа}$$

$$g_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_{2,1} \cdot [\sigma]} = -3,2437 / (1,25 \cdot 177) = (-0,014661)$$

$$S_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4,8)) - 3,2437] / (1,25 \cdot 177) = 0,014540$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4962 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1,4962, 1,4993\} = 1,4962$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4962 \cdot 1,25 \cdot 177 = 331,04 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 331,04 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 2,235 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		<div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист 24</div>

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.7305} \cdot \cos(2.7305)) / 2.7305 = 0,38813$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0,42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.086458)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0,6647$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0,36595$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2,1178)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0,058401$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,40368 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,42695 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,40368, 0,42695\} = 0,40368$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,40368 \cdot 1.25 \cdot 177 = 89,314 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 89,314 \cdot (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} \cdot (16 - 4.8) / (0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595) = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (16 - 4.8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4.8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 21,2$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0,3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.11895^{1/2} + 6 \cdot 0.11895) / 2.042\} = 0,48462$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 1,0058$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист 25
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} = 1,4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1,4434} \cdot \sin(1,4434) / 1,4434; 0.25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,3929 \cdot 0,48462 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,17416)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,568 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (21,2 - 0)) = 1,7137 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,7137 / (1,25 \cdot 177) = (-0,0077453)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21,2 - 0)) - 1,7137] / (1,25 \cdot 177) = 0,0076814$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4045 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,4145 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,4045, 1,4145 \} = 1,4045$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4045 \cdot 1,25 \cdot 177 = 310,74 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 310,74 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 4,625 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2,042) / \sin(0.5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,11895)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,69161$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,667)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (21,2 - 0)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,030854$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49179 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,50666 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0,49179, 0,50666 \} = 0,49179$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,49179 \cdot 1,25 \cdot 177 = 108,81 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 108,81 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016) = 2,0894 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$7,1098 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

### Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7,1098 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 0,30857 = 2,0007 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

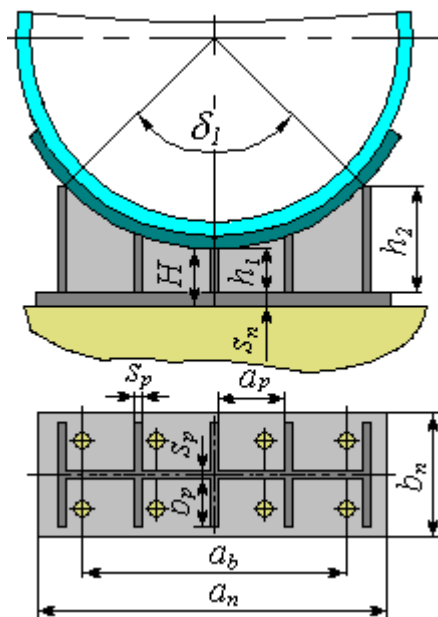
$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0,17466 + 2,0007 \cdot 10^5 / 1,3315 \cdot 10^7 + 2,568 \cdot 10^5 / 1,0623 \cdot 10^7 + (3,6939 \cdot 10^5 / 3,1775 \cdot 10^6)^2 = 0,052714$$

$$0,052714 \leq 1,0$$

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,  $h_1$ :

179 мм

Толщина поперечных ребер,  $s_p$ :

26 мм

Длина опорной плиты,  $a_n$ :

2640 мм

Ширина опорной плиты,  $b_n$ :

400 мм

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
											27
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							

Эскиз опоры

**Данные опоры**

Материал опоры: 09Г2С Лист

Бетон основания: В25 (М350)

Высота среднего ребра,  $h_1$ : 179 мм

Толщина поперечных ребер,  $s_p$ : 26 мм

Длина опорной плиты,  $a_n$ : 2640 мм

Ширина опорной плиты,  $b_n$ : 400 мм

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР	
	Толщина опорной плиты, Sп:				26 мм					
	Закрепление:				Подвижная					
	Анкерные болты:									
	Материал:				09Г2С Крепеж					
	Номинальный диаметр, d:				30 мм					
	Количество, n:				8					
	Расстояние между болтами, аb:				2200 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 <sup>5</sup> 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·√D·(s-c)										
Js=1,3544·10 <sup>9</sup> мм <sup>4</sup>										
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·√D·(s-c)										
Ws=0,0049251 м <sup>3</sup>										
Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной 1.1·√D·(s-c)										
As=99804 мм <sup>2</sup>										
Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:										
Jon= 6,7145·10 <sup>8</sup> мм <sup>4</sup>										
Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:										
Aоп= 1,1458·10 <sup>5</sup> мм <sup>2</sup>										
Распорная нагрузка:										
$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 * \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 * 117 - \sin(117)) * 7,1098 \cdot 10^5 = 99517 \text{ Н}$										
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{99517 / 99804; 99517 / 0,0049251 * 3000 * \sin(117/2) / (3,1416/180 * 117)\} = 25,311 \text{ МПа}$										
$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$										
Условие прочности при действии распорной нагрузки:										
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\}$										
25,311 МПа < 177 МПа										
Условие прочности выполнено.										
Расчетное сжимающее напряжение в опоре:										
$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 7,1098 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5 = 6,205 \text{ МПа}$										
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР				Лист	
									28	



<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div>		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР																	
		<div>Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости: <math>M_{RX}=2,0043 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}</math> Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: <math>W=0,0035906 \text{ м}^3</math> Расчетное напряжение изгиба в опоре <math display="block">\sigma_{\text{из}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 2,0043 \cdot 10^5 / 0,0035906=55,82 \text{ МПа}</math> Суммарное напряжение в опоре: <math>\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} = 6,205 + 55,82=62,025 \text{ МПа}</math> Условие прочности опоры: <math display="block">\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}</math> <math>62,025 \text{ МПа} &lt; 177 \text{ МПа}</math> <b>Условие прочности выполнено.</b> Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: <math>[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177= 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: <math display="block">[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 6,7145 \cdot 10^{-8} / (2,4 \cdot 911,49^2)= 6,3482 \cdot 10^8 \text{ Н}</math> Высота участка ребра: <math>h_p=911,49 \text{ мм}</math> Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): <math>l_p=187 \text{ мм}</math> Отношение высоты ребра к ширине ребра: <math display="block">\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187= 4,8743</math> Коэффициент <math>k_1</math>: <math>k_1=28,642</math> Толщина участка ребра: <math>s_p=26 \text{ мм}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: <math display="block">[F]_{\text{Е2}} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 28,642 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5= 8,1737 \cdot 10^9 \text{ Н}</math> Ширина участка ребра: <math>l_p=624 \text{ мм}</math> Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: <math display="block">\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624= 1,4607</math> Коэффициент <math>k_2</math>: <math>k_2=13,775</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): <math display="block">[F]_{\text{Е3}} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 13,775 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5= 3,931 \cdot 10^9 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: <math>[F]_{\text{Е}} = \min \{ [F]_{\text{Е1}} ; [F]_{\text{Е2}} ; [F]_{\text{Е3}} \} = \min \{ 6,3482 \cdot 10^8 ; 8,1737 \cdot 10^9 ; 3,931 \cdot 10^9 \}= 6,3482 \cdot 10^8 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:</div>																					
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-02-225 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>29</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>											90651-20600-AM-02-225 РР	Лист						29	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист																	
						29																	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																			

90651-20600-AM-02-225 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
	$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{в}}}\right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 6,3482 \cdot 10^8)^2)^{0,5} = 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$				
	Условие прочности и устойчивости опоры: $F \leq [F]$ $7,1098 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$ <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> 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 $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$ ): $A_{\text{ш}} = 63504 \text{ мм}^2$ Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого сов- падают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$ ): $W_{\text{ш}} = 0,034063 \text{ м}^3$ Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: $F_{\text{min}} = 7,1098 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: $M_{\text{ок}} = 5196,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Расчетное нормальное напряжение в сварном шве: $\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{min}}}{A_{\text{ш}}} \pm \frac{M_{\text{ок}}}{W_{\text{ш}}} = (-7,1098 \cdot 10^5) / 63504 \pm 5196,7 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$ 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: $F_z = 1,8803 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: $Q_{\text{н}} = 6539,2 \text{ Н}$ Горизонтальная сила на опоре: $Q_{\text{оп}} = \sqrt{F_z^2 + Q_{\text{н}}^2} = 1,8803 \cdot 10^5 + 6539,2^2 = 1,8814 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{A_{\text{ш}}} = 1,8814 \cdot 10^5 / 63504 = 2,9627 \text{ МПа}$ Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: $\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} = (0^2 + 4 \cdot 2,9627^2)^{1/2} = 5,9254 \text{ МПа}$ Коэффициент прочности угловых сварных швов: $\varphi_{\text{ш}} = 0,65$ $\varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\} = 115,05 \text{ МПа}$ Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} \leq \varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\}$ $5,9254 \text{ МПа} < 115,05 \text{ МПа}$ <b>Условие прочности выполнено.</b>  <b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b> Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $A_0 = 2640 \text{ мм}$ Длина сжатой зоны под опорой:				
	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ док.
			</		

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  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 0,8) / 3000)^{1/2} = 0,10072$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.10072^{1/2} + 6 \cdot 0.10072) / 2.4435 \} = 0.35123$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} = 2.3438$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.3438} \cdot \sin(2.3438) / 2.3438; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,070945 \cdot 0,35123 / (0,85144 \cdot 0,25) = (-0,026924)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,6386 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 0,8)) = 2,4559 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot [\sigma]} = -2,4559 / (1,05 \cdot 272,73) = (-0,0085760)$$

$$g_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma} = [0,14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 0,8)) - 2,4559] / (1,05 \cdot 272,73) = 0,016293$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4964 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1,4964, 1,4991\} = 1,4964$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4964 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 428,52 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428,52 \cdot (3000 \cdot (16-0,8))^{1/2} \cdot (16-0,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 4,574 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
<p>Примечание: при <math>\vartheta_{2,1} &lt; 0</math> в расчёте <math>K_1</math> знаки <math>\vartheta_1</math> и <math>\vartheta_2</math> меняют на противоположные</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4964 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 1,4991 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$ <p><math>K_1 = \min\{1,4964, 1,4991\} = 1,4964</math></p> <p>Расчёт в точке 2:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> <p><math>[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4964 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 428,52 \text{ МПа}</math></p> <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:</p> $[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 428,52 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} \cdot (16 - 0,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 4,574 \cdot 10^6 \text{ Н}$					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
					32

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,3438} \cdot \cos(2,3438)) / 2,3438 = 0,45525$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,4435) / \sin(0,5 \cdot 2,4435) = 0,42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,10072)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,4435)]^{1/2} = 0,68831$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (3000 / (16 - 0,8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2,4435] = 0,38988$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,45525 / [0,42494 \cdot 0,68831 \cdot 0,38988 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,4435)] = (-2,2517)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 0,8)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,049738$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,38321 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,40205 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,38321, 0,40205\} = 0,38321$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_E = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,38321 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 109,74 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 109,74 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} \cdot (16 - 0,8) / (0,42494 \cdot 0,68831 \cdot 0,38988) = 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (16 - 0,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 0,8))^2)^{1/2} = 23,559 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 23,559$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max\{1,7 - 2,1 \cdot 2,042 / 3,1416; 0\} / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((23,559 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,12539$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1,0; (0,8 \cdot 0,12539^{1/2} + 6 \cdot 0,12539) / 2,042\} = 0,50717$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 1,0058$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист 33
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} = 1,3692$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1,3692} \cdot \sin(1,3692) / 1,3692; 0.25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,3929 \cdot 0,50717 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,18227)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,6386 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (23,559 - 0)) = 1,5845 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,5845 / (1,05 \cdot 272,73) = (-0,0055331)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (23,559 - 0)) - 1,5845] / (1,05 \cdot 272,73) = 0,010512$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,3983 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,409 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,3983, 1,409 \} = 1,3983$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,3983 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 400,42 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 400,42 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 6,9818 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,3692} \cdot \cos(1,3692)) / 1,3692 = 0,69317$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2,042) / \sin(0.5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \psi)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,12539)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,70277$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (23,559 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54888$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,69317 / [0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,6653)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (23,559 - 0)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,032090$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49222 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,50769 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0,49222, 0,50769 \} = 0,49222$$

Взам. инв. №	$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (23,559 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54888$				
	$\vartheta_{17} = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,69317 / [0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,6653)$				
Подп. и дата	$\vartheta_{2,1} = 0$				
	$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (23,559 - 0)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,032090$				
Инв. № подл.	Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте $K_1$ знаки $\vartheta_1$ и $\vartheta_2$ меняют на противоположные				
	$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49222 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$				
	$= 0,50769 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$				
$K_1 = \min\{0,49222, 0,50769\} = 0,49222$					
90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
					34
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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Расчёт в точке 3: Предельное напряжение изгиба: $[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,49222 \cdot 1,05 \cdot 272,73=140,95 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 140,95 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888)= 3,0708 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Условие прочности: $F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$ $[F] = 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $7,6401 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>  <b>Проверка условия устойчивости</b> Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений: $F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7,6401 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 0,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 0,35123= 2,1006 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают р=0. Условие устойчивости: $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$ $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,51591 + 2,1006 \cdot 10^5 / 3,2219 \cdot 10^7 + 2,6386 \cdot 10^5 / 2,5147 \cdot 10^7 + (4,2045 \cdot 10^5 / 7,3363 \cdot 10^6)^2= 0,020297$ $0,020297 \leq 1,0$ Заключение: <b>Условие устойчивости выполнено.</b>  <b>Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017</b> <b>Свойства материала опоры:</b> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидротестирования): $[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1,1= 272,73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре Т = 20 °С: $E^{20}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <b>Свойства материала бетона:</b> 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 $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $J_s=1,3607 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $W_s=0,0049482 \text{ м}^3$ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s=1,0034 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп}= 6,9714 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп}= 1,1834 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Распорная нагрузка:						
90651-20600-AM-02-225 РР						Лист
						35
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 7,6401 \cdot 10^5 = 1,0694 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,0694 \cdot 10^5 / 1,0034 \cdot 10^5; 1,0694 \cdot 10^5 / 0,0049482 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 27,072 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{272,73; 272,73\} = 272,73 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

27,072 МПа < 272,73 МПа

**Условие прочности выполнено.**

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 7,6401 \cdot 10^5 / 1,1834 \cdot 10^5 = 6,4558 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 913,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0,0037280 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 913,91 / 0,0037280 = 0,24514 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} = 6,4558 + 0,24514 = 6,701 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

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

6,701 МПа < 272,73 МПа

**Условие прочности выполнено.**

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1834 \cdot 10^5 \cdot 272,73 = 3,2276 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{\text{Е1}} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9,87 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 6,9714 \cdot 10^8 / (1,8 \cdot 911,49^2) = 9,1563 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 911,49 \text{ мм}$$

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

$$l_p = 187 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187 = 4,8743$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,642$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

$\frac{[F]_{E1}}{n_y \cdot h_2^2} = \frac{9,87 \cdot 1,99 \cdot 10^8 \cdot 6,9714 \cdot 10^8}{(1,8 \cdot 917,49)^2} = 9,1563 \cdot 10^8 \text{ Н}$						
Высота участка ребра: $h_p=911,49 \text{ мм}$						
Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p=187 \text{ мм}$						
Отношение высоты ребра к ширине ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187= 4,8743$						
Коэффициент $k_1$ : $k_1=28,642$						
Толщина участка ребра: $s_p=26 \text{ мм}$						
Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:						
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						36
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		



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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div><div><div><div>Взам. инв. №</div><div>Подп. и дата</div><div>Инв. № подл.</div></div><div><div><div><math>[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,642 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1834 \cdot 10^5 = 1,1728 \cdot 10^{10} \text{Н}</math></div><div>Ширина участка ребра: <math>l_p = 624 \text{ мм}</math></div><div>Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: <math>\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624 = 1,4607</math></div><div>Коэффициент <math>k_2</math>: <math>k_2 = 13,775</math></div><div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): <math>[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,775 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1834 \cdot 10^5 = 5,6402 \cdot 10^9 \text{Н}</math></div><div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: <math>[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 9,1563 \cdot 10^8; 1,1728 \cdot 10^{10}; 5,6402 \cdot 10^9 \} = 9,1563 \cdot 10^8 \text{Н}</math></div><div>Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору: <math>[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 3,2276 \cdot 10^7 / (1 + (3,2276 \cdot 10^7 / 9,1563 \cdot 10^8)^2)^{0,5} = 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}</math></div><div>Условие прочности и устойчивости опоры: <math>F \leq [F]</math> <math>7,6401 \cdot 10^5 \text{ Н} &lt; 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}</math></div><div>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 <math>0,7 \cdot \Delta_{ш}</math>): <math>A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2</math></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 <math>0,7 \cdot \Delta_{ш}</math>): <math>W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3</math></div><div>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: <math>F_{min} = 7,6401 \cdot 10^5 \text{ Н}</math></div><div>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: <math>M_{сх} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}</math></div><div>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве: <math>\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7,6401 \cdot 10^5) / 63504 \pm 0 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}</math></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: <math>F_z = 8760,4 \text{ Н}</math></div><div>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: <math>Q_H = 0 \text{ Н}</math></div><div>Горизонтальная сила на опоре: <math>Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 8760,4^2 + 0^2 = 8760,4 \text{ Н}</math></div><div>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: <math>\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 8760,4 / 63504 = 0,13795 \text{ МПа}</math></div><div>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</div></div></div><div><div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ док.</div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div><div>90651-20600-AM-02-225 РР</div><div>Лист 37</div></div><div>90651-20600-AM-02-225 РР_изм.0.docx</div><div>Формат А4</div></div></div>					

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
$\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0,13795^2)^{1/2} = 0,2759 \text{ МПа}$ Коэффициент прочности угловых сварных швов: $\varphi_{ш} = 0,65$ $\varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{оп}\} = 0,65 \cdot \min\{272,73; 272,73\} = 177,27 \text{ МПа}$ Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{оп}\}$ $0,2759 \text{ МПа} < 177,27 \text{ МПа}$ <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b> Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $A_0 = 2640 \text{ мм}$ Длина сжатой зоны под опорой: $C_c = \frac{\left  \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right  \cdot A_0}{\left  \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right  + \left  F_{min} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{ 6 \cdot 0 / 2640 + 7,6401 \cdot 10^5  \cdot 2640}{ 6 \cdot 0 / 2640 + 7,6401 \cdot 10^5  +  7,6401 \cdot 10^5 - 6 \cdot 0 / 2640 } = 1320 \text{ мм}$ Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: $a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1320 / 3 = 880 \text{ мм}$ Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $B_0 = 2200 \text{ мм}$ Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: $y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 880 + 2200 / 2 = 1980 \text{ мм}$ Напряжение растяжения в анкерном болте: $\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{min} \cdot a_c}{0,5 \cdot n_b \cdot A_b \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(0 - 7,6401 \cdot 10^5 \cdot 880) / (0,5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1980); 0\} = 0 \text{ МПа}$ Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры без сейсмики: $R^s = \max\{ R_{сх}  - f_{тр} \cdot R_{сх}; 0\} = \max\{ 0  - 0,3 \cdot 7,6401 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}$ Напряжение среза в анкерном болте: $\tau_t = \frac{ R^s }{n_b \cdot A_b} =  0  / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$ 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 (условия гидроиспытаний): $\sigma_b = 184 \text{ МПа}$ Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг: $\sigma_b \leq [\sigma]_б$ $0 \text{ МПа} < 184 \text{ МПа}$ <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)</b> <b>Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):</b> Расчётная температура стенки обечайки, Т: 100 °С Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, р: 0,096479 МПа Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, М: 2,9811·10 <sup>5</sup> Н·м					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					38
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Опорное усилие, F:

$8,114 \cdot 10^5$  Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

$3,8034 \cdot 10^5$  Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]:  $0,29443$  МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]<sub>уст</sub>:  $1,2549 \cdot 10^7$  Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:  $1,6233 \cdot 10^7$  Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:  $3,9547 \cdot 10^6$  Н

### Опора с подкладным листом

#### Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной  $b_2$  с углом охвата  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 4,8) / 3000)^{1/2} = 0,086458$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1,0; (0,8 \cdot 0,086458^{1/2} + 6 \cdot 0,086458) / 2,4435 \} = 0,30857$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 2,7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-2,7305} \cdot \sin(2,7305) / 2,7305; 0,25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,070945 \cdot 0,30857 / (0,85144 \cdot 0,25) = (-0,023654)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мх}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 2,9811 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4,8)) = 3,7655 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мх}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3,7655 / (1,25 \cdot 177) = (-0,017019)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\text{мх}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4,8)) - 3,7655] / (1,25 \cdot 177) = 0,012181$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,1} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4959 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,4992 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,4959, 1,4992 \} = 1,4959$$

Взам. инв. №		Среднее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного угла:																	
		$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 * 2,9811 \cdot 10^5 / (3,1416 * 3000^2 * (16 - 4,8)) = 3,7655 \text{ МПа}$																	
Подп. и дата		$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3,7655 / (1,25 * 177) = (-0,017019)$																	
		$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 * 3000 / (4 * (16 - 4,8)) - 3,7655] / (1,25 * 177) = 0,012181$																	
Инв. № подл.		Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте $K_1$ знаки $\vartheta_1$ и $\vartheta_2$ меняют на противоположные																	
		$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4959 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 1,4992 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$																	
K1 = min{ 1,4959 , 1,4992 } = 1,4959																			
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">90651-20600-AM-02-225 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>39</td></tr></table>												90651-20600-AM-02-225 РР	Лист	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	39
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист													
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		39													

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4959 \cdot 1,25 \cdot 177 = 330,96 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 330,96 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 2,2344 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,7305} \cdot \cos(2,7305)) / 2,7305 = 0,38813$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.086458)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.6647$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0.36595$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.1178)$$

$$g_{21} = 0$$

$$g_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4,8)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,058401$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,40368 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{0.40368, 0.42695\} = 0.40368$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,40368 \cdot 1,25 \cdot 177 = 89,314 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_I]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 89,314 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,42494 \cdot 0,6647 \cdot 0,36595) = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (16 - 4,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4,8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ mm}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{\text{ef}} = 21,2$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0.3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Расчёт №2:					Лист	
			Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают b = 400 мм, $\delta_1 = 117^\circ$ (2,042 рад), s - c = s <sub>ef</sub> = 21,2 мм.						
				$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max(1,7 - 2,1 \cdot 2,042 / 3,1416; 0) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,3929$					
				Параметр, определяемый расстоянием до днища:					
				$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$					
				Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$ подставляют в радианах):					

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1,0; (0,8 \cdot 0,11895^{1/2} + 6 \cdot 0,11895) / 2,042 \} = 0,48462$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 1,0058$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0,91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} = 1,4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-1,4434} \cdot \sin(1,4434) / 1,4434; 0,25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,3929 \cdot 0,48462 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,17416)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,9811 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (21,2 - 0)) = 1,9893 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,9893 / (1,25 \cdot 177) = (-0,0089914)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21,2 - 0)) - 1,9893] / (1,25 \cdot 177) = 0,0064354$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4036 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,4138 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,4036, 1,4138 \} = 1,4036$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4036 \cdot 1,25 \cdot 177 = 310,56 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 310,56 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 4,6222 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,11895)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,69161$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,042)] = (-1,667)$$

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

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
										41
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (21,2 - 0)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,030854$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49179 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$
$$= 0,50666 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,49179, 0,50666\} = 0,49179$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,49179 \cdot 1,25 \cdot 177 = 108,81 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 108,81 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016) = 2,0894 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$8,114 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

### Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 8,114 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 0,30857 = 2,2832 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

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

$$\frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,29443 + 2,2832 \cdot 10^5 / 1,6233 \cdot 10^7 + 2,9811 \cdot 10^5 / 1,2549 \cdot 10^7 + (3,8034 \cdot 10^5 / 3,9547 \cdot 10^6)^2 = 0,047071$$

$$0,047071 \leq 1,0$$

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  $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$J_s = 1,3544 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

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

$$1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$$

$$W_s = 0,0049251 \text{ м}^3$$

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-02-225 РР	
Лист	
42	

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

$$A_s = 99804 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 6,7145 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 7,1159 \cdot 10^5 = 99602 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{99602 / 99804; 99602 / 0,0049251 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 25,333 \text{ МПа}$$

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

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

$$25,333 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 7,1159 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5 = 6,2102 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 2,2914 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0,0035906 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 2,2914 \cdot 10^5 / 0,0035906 = 63,817 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 6,2102 + 63,817 = 70,027 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

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

$$70,027 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{ит} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177 = 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{Е1} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9,87 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 6,7145 \cdot 10^8 / (1,4 \cdot 911,49^2) = 1,0883 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 911,49 \text{ мм}$$

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

$$l_p = 187 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$\sigma_{сж} + \sigma_{\pi} \leq [\sigma]_{опт}$ 70,027 МПа < 177 МПа <b>Условие прочности выполнено.</b> Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\pi} = A_{опт} \cdot [\sigma]_{опт} = 1,1458 \cdot 10^6 \cdot 177 = 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{Е1} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{опт}}{n_y \cdot h_2^3} = 9,87 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 6,7145 \cdot 10^8 / (1,4 \cdot 911,49^2) = 1,0883 \cdot 10^9 \text{ Н}$ Высота участка ребра: $h_p = 911,49 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p = 187 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра:					Лист		
			90651-20600-AM-02-225 РР						43	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187 = 4,8743$ Коэффициент k <sub>1</sub> : k <sub>1</sub> =28,642 Толщина участка ребра: s <sub>p</sub> =26 мм Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: $[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,642 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 1,4012 \cdot 10^{10} \text{Н}$ Ширина участка ребра: l <sub>p</sub> =624 мм Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: $\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624 = 1,4607$ Коэффициент k <sub>2</sub> : k <sub>2</sub> =13,775 Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): $[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,775 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 6,7389 \cdot 10^9 \text{Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: $[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2}, [F]_{E3} \} = \min \{ 1,0883 \cdot 10^9; 1,4012 \cdot 10^{10}; 6,7389 \cdot 10^9 \} = 1,0883 \cdot 10^9 \text{Н}$ Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору: $[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 1,0883 \cdot 10^9)^2)^{0,5} = 2,0278 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Условие прочности и устойчивости опоры: F ≤ [F] 7,1159·10 <sup>5</sup> Н < 2,0278·10 <sup>7</sup> Н <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> 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 <sub>ш</sub> ): A <sub>ш</sub> =63504 мм <sup>2</sup> 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 <sub>ш</sub> ): W <sub>ш</sub> =0,034063 м <sup>3</sup> Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: F <sub>min</sub> =7,379·10 <sup>5</sup> Н Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: M <sub>сх</sub> = 5195,7 Н·м Расчетное нормальное напряжение в сварном шве: $\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7,379 \cdot 10^5) / 63504 \pm 5195,7 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$ 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 <sub>z</sub> =2,1547·10 <sup>5</sup> Н Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:				
	90651-20600-AM-02-225 РР				
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
					Лист
					44



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP			
<p><math>Q_H=(-6533,8)Н</math></p> <p>Горизонтальная сила на опоре:</p> <p><math>Q_{опт} = \sqrt{F_x^2 + Q_H^2} = 2,1547 \cdot 10^{02} + (-6533,8)^2=2,1556 \cdot 10^5 \text{ Н}</math></p> <p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:</p> <p><math>\tau_{ш} = \frac{Q_{опт}}{A_{ш}} = 2,1556 \cdot 10^5 /63504= 3,3945МПа</math></p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p> <p><math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 3,3945^2)^{1/2}= 6,789МПа</math></p> <p>Коэффициент прочности угловых сварных швов:</p> <p><math>\varphi_{ш} = 0,65</math></p> <p><math>\varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{опт}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\}=115,05 \text{ МПа}</math></p> <p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:</p> <p><math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{опт}\}</math></p> <p><math>6,789 \text{ МПа} &lt; 115,05 \text{ МПа}</math></p> <p>Условие прочности выполнено.</p> <p><b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b></p> <p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p><math>A_0= 2640 \text{ мм}</math></p> <p>Длина сжатой зоны под опорой:</p> <p><math>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 93382 / 2640 + 7,2044 \cdot 10^5] \cdot 2640 / [6 \cdot 93382 / 2640 + 7,2044 \cdot 10^5] + [7,2044 \cdot 10^5 - 6 \cdot 93382 / 2640]}{1} = 1708,9 \text{ мм}</math></p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:</p> <p><math>a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1708,9 / 3= 750,38 \text{ мм}</math></p> <p>Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:</p> <p><math>d_6 = 25,706 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:</p> <p><math>A_6 = 518,99\text{мм}^2</math></p> <p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:</p> <p><math>B_0= 2200 \text{ мм}</math></p> <p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:</p> <p><math>y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 750,38 + 2200 / 2= 1850,4 \text{ мм}</math></p> <p>Напряжение растяжения в анкерном болте:</p> <p><math>\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\{(93382 - 7,2044 \cdot 10^5 \cdot 750,38) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1850,4); 0\}= 0 \text{ МПа}</math></p> <p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры для сейсмики:</p> <p><math>R^s = \max \{  F_{xX}  - f_{тр} \cdot F_{xY}; 0 \} = \max\{ 54516  - 0,3 \cdot 7,2044 \cdot 10^5; 0\}=0 \text{ Н}</math></p> <p>Напряжение среза в анкерном болте:</p> <p><math>\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} =  0  / (8 \cdot 518,99)= 0МПа</math></p> <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:</p> <p><math>\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2}= 0МПа</math></p>							
Взам. инв. №						90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
							45
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

90651-20600-AM-02-225 PP изм.0.docx

Формат А4

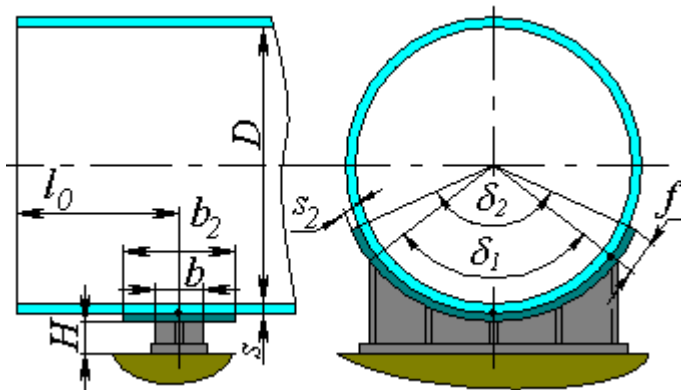
**Условие прочности выполнено.**

### 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	$(-7,1098 \cdot 10^5)$	$(-5196,7)$	$(-2,0043 \cdot 10^5)$	6539,2	$(-1,8803 \cdot 10^5)$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=(-0,083400)$
Условия испы- таний	$(-7,6401 \cdot 10^5)$	0	$(-913,91)$	0	8760,4	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия сей- смических воз- действий	$(-7,379 \cdot 10^5)$	$(-1,0378 \cdot 10^5)$	$(-2,2914 \cdot 10^5)$	$(-67595)$	$(-2,1547 \cdot 10^5)$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=(-0,056340)$

Формат А4

## Опора седловая подвижная 2



Эскиз элемента

### Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки, D:

3000 мм

Толщина стенки обечайки, s:

16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

4 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

0,8 мм

Прибавка технологическая, c3:

0 мм

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

4,8 мм

Ширина опоры, b:

400 мм

Угол охвата опоры, delta1:

117 °

Расстояние от края элемента, l0:

1440 мм

Расстояние до дна, a:

1500 мм

Высота опоры, H:

205 мм

Толщина листа, s2:

18 мм

Ширина листа, b2:

550 мм

Угол охвата листа, delta2:

140 °

Длина выступающей части листа, f:

307,89 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:

0,096479 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

2,1869·10<sup>5</sup> Н·м

Опорное усилие, F:

6,8599·10<sup>5</sup> Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

3,607·10<sup>5</sup> Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]:

0,17466 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]<sub>уст</sub>:

1,0623·10<sup>7</sup> Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

1,3315·10<sup>7</sup> Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

3,1775·10<sup>6</sup> Н

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 47
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 4,8) / 3000)^{1/2} = 0,086458$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0,086458^{1/2} + 6 \cdot 0,086458) / 2,4435 \} = 0,30857$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 2,7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.7305} \cdot \sin(2.7305) / 2.7305; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 * 0,070945 * 0,30857 / (0,85144 * 0,25) = (-0,23654)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,1869 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4,8)) = 2,7623 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_{21} \cdot [\sigma]} = -2,7623 / (1,25 \cdot 177) = (-0,012485)$$

$$S_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4,8)) - 2,7623] / (1,25 \cdot 177) = 0,016716$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4966 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1,4966, 1,4995\} = 1,4966$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4966 \cdot 1,25 \cdot 177 = 331,11 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 331,11 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 2,2355 \cdot 10^6 \text{ H}$$

[illegible]

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.7305} \cdot \cos(2.7305)) / 2.7305 = 0,38813$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.4435) / \sin(0.5 \cdot 2.4435) = 0,42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.086458)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0,6647$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0,36595$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2,1178)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0,058401$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,40368 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,42695 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,40368, 0,42695\} = 0,40368$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_E = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,40368 \cdot 1.25 \cdot 177 = 89,314 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 89,314 \cdot (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} \cdot (16 - 4.8) / (0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595) = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (16 - 4.8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4.8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 21,2$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0,3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.11895^{1/2} + 6 \cdot 0.11895) / 2.042\} = 0,48462$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 1,0058$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 49
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} = 1,4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1,4434} \cdot \sin(1,4434) / 1,4434; 0.25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,3929 \cdot 0,48462 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,17416)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,1869 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (21,2 - 0)) = 1,4593 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,4593 / (1,25 \cdot 177) = (-0,0065958)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21,2 - 0)) - 1,4593] / (1,25 \cdot 177) = 0,0088309$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4052 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,4153 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,4052, 1,4153 \} = 1,4052$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4052 \cdot 1,25 \cdot 177 = 310,91 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 310,91 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 4,6275 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2,042) / \sin(0.5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,11895)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,69161$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,667)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (21,2 - 0)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,030854$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49179 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,50666 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0,49179, 0,50666 \} = 0,49179$$

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

50

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,49179 \cdot 1,25 \cdot 177 = 108,81 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 108,81 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016) = 2,0894 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$6,8599 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,5965 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

### Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 6,8599 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 0,30857 = 1,9303 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

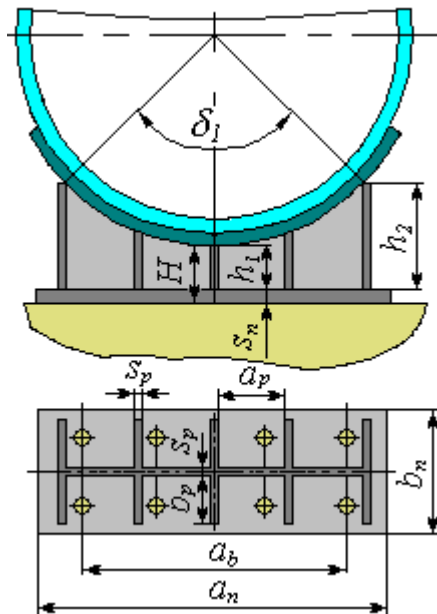
$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0,17466 + 1,9303 \cdot 10^5 / 1,3315 \cdot 10^7 + 2,1869 \cdot 10^5 / 1,0623 \cdot 10^7 + (3,607 \cdot 10^5 / 3,1775 \cdot 10^6)^2 = 0,047970$$

$$0,047970 \leq 1,0$$

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,  $s_p$ :

26 мм

Длина опорной плиты,  $a_n$ :

2640 мм

Ширина опорной плиты,  $b_n$ :

400 мм

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
										51
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Толщина опорной плиты, s <sub>п</sub> :			25 мм			
Закрепление:			Подвижная			
<b>Анкерные болты:</b>						
Материал:			09Г2С Крепеж			
Номинальный диаметр, d:			30 мм			
Количество, n:			8			
Расстояние между болтами, а <sub>б</sub> :			2200 мм			
<b>Свойства материала опоры:</b>						
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 <sup>5</sup> МПа			
<b>Свойства материала бетона:</b>						
Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):			[б] <sub>бет</sub> =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 <sub>с</sub> =1,3544·10 <sup>9</sup> мм <sup>4</sup>			
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 <sub>с</sub> =0,0049251 м <sup>3</sup>			
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 <sub>с</sub> =99830 мм <sup>2</sup>			
Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:			J <sub>оп</sub> = 6,7145·10 <sup>9</sup> мм <sup>4</sup>			
Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:			A <sub>оп</sub> = 1,1458·10 <sup>5</sup> мм <sup>2</sup>			
Распорная нагрузка:			$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 * \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 * 117 - \sin(117)) * 6,8599 \cdot 10^5 = 96018 \text{ Н}$			
$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{96018 / 99830; 96018 / 0,0049251 * 3000 * \sin(117/2) / (3,1416/180 * 117)\} = 24,421 \text{ МПа}$						
$\min \{ [\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}} \} = \min\{177; 177\} = 177 \text{ МПа}$						
Условие прочности при действии распорной нагрузки:			$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{ [\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}} \}$			
24,421 МПа < 177 МПа						
<b>Условие прочности выполнено.</b>						
Расчетное сжимающее напряжение в опоре:			$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 6,8599 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5 = 5,9868 \text{ МПа}$			
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
						Лист
						52



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<p>Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости: <math>M_{RX}=2,1716 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}</math> Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: <math>W=0,0035906 \text{ м}^3</math> Расчетное напряжение изгиба в опоре <math>\sigma_{\text{из}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 2,1716 \cdot 10^5 / 0,0035906=60,479 \text{ МПа}</math> Суммарное напряжение в опоре: <math>\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} = 5,9868 + 60,479=66,466 \text{ МПа}</math> Условие прочности опоры: <math>\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}</math> <math>66,466 \text{ МПа} &lt; 177 \text{ МПа}</math> <b>Условие прочности выполнено.</b> Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: <math>[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177= 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: <math>[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 6,7145 \cdot 10^{-8} / (2,4 \cdot 912,49^2)= 6,3343 \cdot 10^8 \text{ Н}</math> Высота участка ребра: <math>h_p=912,49 \text{ мм}</math> Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): <math>l_p=187 \text{ мм}</math> Отношение высоты ребра к ширине ребра: <math>\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 187= 4,8796</math> Коэффициент <math>k_1</math>: <math>k_1=28,7</math> Толщина участка ребра: <math>s_p=26 \text{ мм}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом: <math>[F]_{\text{Е2}} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 28,7 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5= 8,1723 \cdot 10^9 \text{ Н}</math> Ширина участка ребра: <math>l_p=624 \text{ мм}</math> Отношение высоты ребра к ширине участка ребра: <math>\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 624= 1,4623</math> Коэффициент <math>k_2</math>: <math>k_2=13,809</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребер (части ребра) опоры с двумя вертикальными швам (между двумя другими ребрами): <math>[F]_{\text{Е3}} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{\text{оп}} = 13,809 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5= 3,9321 \cdot 10^9 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры: <math>[F]_{\text{Е}} = \min \{ [F]_{\text{Е1}} ; [F]_{\text{Е2}} ; [F]_{\text{Е3}} \} = \min \{ 6,3343 \cdot 10^8 ; 8,1723 \cdot 10^9 ; 3,9321 \cdot 10^9 \} = 6,3343 \cdot 10^8 \text{ Н}</math> Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:</p>							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							53
			Изм.	Лист	№ док.		Подп.

90651-20600-AM-02-225 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.

$$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{е}}}\right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 6,3343 \cdot 10^8)^2)^{0,5} = 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:  
 $F \leq [F]$   
 $6,8599 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$   
**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  $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$ ):  
 $A_{\text{ш}} = 63504 \text{ мм}^2$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$ ):  
 $W_{\text{ш}} = 0,034063 \text{ м}^3$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:  
 $F_{\text{min}} = 6,8599 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:  
 $M_{\text{ок}} = 3601,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:  
$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{min}}}{A_{\text{ш}}} \pm \frac{M_{\text{ок}}}{W_{\text{ш}}} = (-6,8599 \cdot 10^5) / 63504 \pm 3601,2 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$$

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:  
 $F_z = 1,9742 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:  
 $Q_{\text{н}} = 1214,7 \text{ Н}$

Горизонтальная сила на опоре:  
$$Q_{\text{оп}} = \sqrt{F_z^2 + Q_{\text{н}}^2} = \sqrt{1,9742 \cdot 10^5^2 + 1214,7^2} = 1,9743 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:  
$$\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{A_{\text{ш}}} = 1,9743 \cdot 10^5 / 63504 = 3,1089 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:  
$$\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} = (0^2 + 4 \cdot 3,1089^2)^{1/2} = 6,2177 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности угловых сварных швов:  
 $\varphi_{\text{ш}} = 0,65$

$$\varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{\text{оп}}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\} = 115,05 \text{ МПа}$$

Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:  
$$\sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} \leq \varphi_{\text{ш}} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{\text{оп}}\}$$
  
 $6,2177 \text{ МПа} < 115,05 \text{ МПа}$   
**Условие прочности выполнено.**

**Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017**

Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:  
 $A_0 = 2640 \text{ мм}$

Длина сжатой зоны под опорой:

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

54

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP
<div><div><div><math display="block">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 3601,2 / 2640 + 6,8599 \cdot 10^5] \cdot 2640}{[6 \cdot 3601,2 / 2640 + 6,8599 \cdot 10^5] + [6,8599 \cdot 10^5 - 6 \cdot 3601,2 / 2640]} = 1335,7 \text{ мм}</math></div></div></div>				
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:				
$a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1335,7 / 3 = 874,75 \text{ мм}$				
Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:				
$d_6 = 25,706 \text{ мм}$				
Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:				
$A_6 = 518,99 \text{ мм}^2$				
Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:				
$B_0 = 2200 \text{ мм}$				
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:				
$y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 874,75 + 2200 / 2 = 1974,8 \text{ мм}$				
Напряжение растяжения в анкерном болте:				
$\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max \{ (3601,2 - 6,8599 \cdot 10^5 \cdot 874,75) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1974,8); 0 \} = 0 \text{ МПа}$				
Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры без сейсмики:				
$R^s = \max \{  R_{\Sigma X}  - f_{тр} \cdot R_{\Sigma Y}; 0 \} = \max \{  1214,7  - 0,3 \cdot 6,8599 \cdot 10^5; 0 \} = 0 \text{ Н}$				
Напряжение среза в анкерном болте:				
$\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} =  0  / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$				
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 (рабочие условия):				
$\sigma_B = 184 \text{ МПа}$				
Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг:				
$\sigma_6 \leq [\sigma]_6$				
0 МПа < 184 МПа				
Условие прочности выполнено.				
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)				
Условия нагружения при испытаниях (см. Эпюры сил и моментов):				
Взам. инв. №	Расчётная температура стенки обечайки, T:			20 °С
	Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:			0,14433 МПа
	Изгибающий момент над опорой, M:			2,4534·10 <sup>5</sup> Н·м
	Опорное усилие, F:			7,482·10 <sup>5</sup> Н
	Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:			4,1647·10 <sup>5</sup> Н
Подп. и дата	Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая”):			
	Допускаемое наружное давление, [p]:			0,51591 МПа
	Допускаемый изгибающий момент, [M] <sub>уст.</sub> :			2,5147·10 <sup>7</sup> Н·м
	Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:			3,2219·10 <sup>7</sup> Н
	Допускаемое поперечное усилие, [Q]:			7,3363·10 <sup>6</sup> Н
Инв. № подл.				
	90651-20600-AM-02-225 PP			Лист
				55
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат А4

## 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  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 0.8) / 3000)^{1/2} = 0.10072$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.10072^{1/2} + 6 \cdot 0.10072) / 2.4435 \} = 0.35123$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} = 2.3438$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.3438} \cdot \sin(2.3438) / 2.3438; 0.25 \} = 0.25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.35123 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.026924)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 2.4534 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 0.8)) = 2.2835 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.2835 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.0079741)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 0.8)) - 2.2835] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.016895$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4965 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4992 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4965, 1.4992 \} = 1.4965$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4965 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 428.54 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 428.54 \cdot (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} \cdot (16 - 0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 4.5743 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		<p>Примечание: при <math>\vartheta_{2,1} &lt; 0</math> в расчёте <math>K_1</math> знаки <math>\vartheta_1</math> и <math>\vartheta_2</math> меняют на противоположные</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + \left(1 - \vartheta_2^2\right) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4965 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 1,4992 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$ <p><math>K_1 = \min\{ 1,4965 , 1,4992 \} = 1,4965</math></p> <p>Расчёт в точке 2:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> $[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4965 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 428,54 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:</p> $[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 428,54 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} \cdot (16 - 0,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 4,5743 \cdot 10^6 \text{ Н}$					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							56

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,3438} \cdot \cos(2,3438)) / 2,3438 = 0,45525$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,4435) / \sin(0,5 \cdot 2,4435) = 0,42494$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,10072)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,4435)]^{1/2} = 0,68831$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (3000 / (16 - 0,8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2,4435] = 0,38988$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,45525 / [0,42494 \cdot 0,68831 \cdot 0,38988 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,4435)] = (-2,2517)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 0,8)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,049738$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,38321 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,40205 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,38321, 0,40205\} = 0,38321$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_E = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,38321 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 109,74 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 109,74 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} \cdot (16 - 0,8) / (0,42494 \cdot 0,68831 \cdot 0,38988) = 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (16 - 0,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 0,8))^2)^{1/2} = 23,559 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 23,559$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max\{1,7 - 2,1 \cdot 2,042 / 3,1416; 0\} / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((23,559 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,12539$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1,0; (0,8 \cdot 0,12539^{1/2} + 6 \cdot 0,12539) / 2,042\} = 0,50717$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 1,0058$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 57
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} = 1,3692$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1,3692} \cdot \sin(1,3692) / 1,3692; 0.25 \} = 0,25$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,3929 \cdot 0,50717 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,18227)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,4534 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (23,559 - 0)) = 1,4733 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,4733 / (1,05 \cdot 272,73) = (-0,0051447)$$

$$\varphi_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (23,559 - 0)) - 1,4733] / (1,05 \cdot 272,73) = 0,010900$$

Примечание: при  $\varphi_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1,3986 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1,4093 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1,3986, 1,4093 \} = 1,3986$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,3986 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 400,5 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 400,5 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 6,9831 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,3692} \cdot \cos(1,3692)) / 1,3692 = 0,69317$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2,042) / \sin(0.5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \psi)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,12539)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,70277$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (23,559 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54888$$

$$\varphi_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,69317 / [0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,6653)$$

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

$$\varphi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (23,559 - 0)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,032090$$

Примечание: при  $\varphi_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2 \right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 0,49222 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 0,50769 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 0,49222, 0,50769 \} = 0,49222$$

Взам. инв. №	$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (23,559 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54888$				
	$\vartheta_{17} = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,69317 / [0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,6653)$				
Подп. и дата	$\vartheta_{2,1} = 0$				
	$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (23,559 - 0)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,032090$				
Инв. № подл.	Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте $K_1$ знаки $\vartheta_1$ и $\vartheta_2$ меняют на противоположные				
	$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,49222_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}}$				
	$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,50769_{\text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}}$				
$K_1 = \min\{0,49222, 0,50769\} = 0,49222$					
90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
					58
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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР					
Расчёт в точке 3: Предельное напряжение изгиба: $[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,49222 \cdot 1,05 \cdot 272,73=140,95 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 140,95 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,67077 \cdot 0,70277 \cdot 0,54888)= 3,0708 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Условие прочности: $F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$ $[F] = 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $7,482 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 2,8112 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>  <b>Проверка условия устойчивости</b> Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений: $F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 7,482 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 0,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 0,35123= 2,0571 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают р=0. Условие устойчивости: $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$ $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,51591 + 2,0571 \cdot 10^5 / 3,2219 \cdot 10^7 + 2,4534 \cdot 10^5 / 2,5147 \cdot 10^7 + (4,1647 \cdot 10^5 / 7,3363 \cdot 10^6)^2= 0,019364$ $0,019364 \leq 1,0$ Заключение: <b>Условие устойчивости выполнено.</b>  <b>Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017</b> <b>Свойства материала опоры:</b> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидротестирования): $[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1,1= 272,73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре Т = 20 °С: $E^{20}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <b>Свойства материала бетона:</b> Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350): $[\sigma]_{бет}=14 \text{ МПа}$ Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $J_s=1,3607 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$ Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $W_s=0,0049482 \text{ м}^3$ Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s=1,0036 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп}= 6,9714 \cdot 10^8 \text{ мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп}= 1,1835 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$ Распорная нагрузка:															
										90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
															59
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата											

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 7,482 \cdot 10^5 = 1,0473 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,0473 \cdot 10^5 / 1,0036 \cdot 10^5; 1,0473 \cdot 10^5 / 0,0049482 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 26,512 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma]; [\sigma]_{\text{оп}}\} = \min\{272,73; 272,73\} = 272,73 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

$$26,512 \text{ МПа} < 272,73 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F}{A_{\text{оп}}} = 7,482 \cdot 10^5 / 1,1835 \cdot 10^5 = 6,3222 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 2503,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0,0037280 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{RX}}{W_{\text{оп}}} = 2503,7 / 0,0037280 = 0,67158 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{н}} = 6,3222 + 0,67158 = 6,9937 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

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

$$6,9937 \text{ МПа} < 272,73 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{\text{оп}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1835 \cdot 10^5 \cdot 272,73 = 3,2276 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{\text{Е1}} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{\text{оп}}}{n_y \cdot h_2^2} = 9,87 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 6,9714 \cdot 10^6 / (1,8 \cdot 912,49^2) = 9,1362 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 912,49 \text{ мм}$$

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

$$l_p = 187 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 187 = 4,8796$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,7$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
<div>Изм. Лист № док. Подп. Дата</div>						
<div>Взам. инв. №</div> <div>Подп. и дата</div> <div>Инв. № подл.</div>						
<div><math display="block">\frac{F_{\text{ш}}}{E} = \frac{F_{\text{ш}}}{E} \cdot \frac{1}{A} = \frac{9,87 \cdot 10^8}{1,99 \cdot 10^8} \cdot \frac{6,974 \cdot 10^{-6}}{(1,8 \cdot 912,49)^2} = 9,1362 \cdot 10^{-8} \text{Н}</math></div> <div>Высота участка ребра: h<sub>p</sub>=912,49 мм</div> <div>Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): l<sub>p</sub>=187 мм</div> <div>Отношение высоты ребра к ширине ребра: <math>\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 187 = 4,8796</math></div> <div>Коэффициент k<sub>1</sub>: k<sub>1</sub>=28,7</div> <div>Толщина участка ребра: s<sub>p</sub>=26 мм</div> <div>Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости ребра опоры с одним вертикальным швом:</div>						



$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,7 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1835 \cdot 10^5 = 1,1726 \cdot 10^{10} \text{Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 624 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 624 = 1,4623$$

Коэффициент  $k_2$ :

$$k_2 = 13,809$$

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

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,809 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1835 \cdot 10^5 = 5,6417 \cdot 10^9 \text{Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 9,1362 \cdot 10^8; 1,1726 \cdot 10^{10}; 5,6417 \cdot 10^9 \} = 9,1362 \cdot 10^8 \text{Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 3,2276 \cdot 10^7 / (1 + (3,2276 \cdot 10^7 / 9,1362 \cdot 10^8)^2)^{0,5} = 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$7,482 \cdot 10^5 \text{ Н} < 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**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  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{\min} = 7,482 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$M_{сх} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{\min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7,482 \cdot 10^5) / 63504 \pm 0 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$$

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:

$$F_z = 11434 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

$$Q_H = 0 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила на опоре:

$$Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 11434^2 + 0^2 = 11434 \text{ Н}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:

$$\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 11434 / 63504 = 0,18004 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
<div>Взам. инв. №</div> <div>Подп. и дата</div> <div>Изм. № подл.</div>						
<div><math display="block">\sigma_{ш} = \frac{F_{шш}}{A_{шш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{шш}} = (-7,482 \cdot 10^6) / 63504 \pm 0 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}</math><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: <math>F_z = 11434 \text{ Н}</math></p><p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: <math>Q_H = 0 \text{ Н}</math></p><p>Горизонтальная сила на опоре: <math>Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 11434^2 + 0^2 = 11434 \text{ Н}</math></p><p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: <math>\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{шш}} = 11434 / 63504 = 0,18004 \text{ МПа}</math></p><p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:</p></div>						

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
<div><div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div><div><math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0,18004^2)^{1/2} = 0,36009 \text{ МПа}</math><p>Коэффициент прочности угловых сварных швов: <math>\varphi_{ш} = 0,65</math> <math>\varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{оп}\} = 0,65 \cdot \min\{272,73; 272,73\} = 177,27 \text{ МПа}</math><p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: <math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma], [\sigma]_{оп}\}</math> <math>0,36009 \text{ МПа} &lt; 177,27 \text{ МПа}</math> <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b> Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: <math>A_0 = 2640 \text{ мм}</math> Длина сжатой зоны под опорой: <math display="block">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 0 / 2640 + 7,482 \cdot 10^5  \cdot 2640 / [ 6 \cdot 0 / 2640 + 7,482 \cdot 10^5  +  7,482 \cdot 10^5 - 6 \cdot 0 / 2640 ]}{=} = 1320 \text{ мм}</math> Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: <math>a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1320 / 3 = 880 \text{ мм}</math> Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: <math>B_0 = 2200 \text{ мм}</math> Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: <math>y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 880 + 2200 / 2 = 1980 \text{ мм}</math> Напряжение растяжения в анкерном болте: <math display="block">\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\{(0 - 7,482 \cdot 10^5 \cdot 880) / (0,5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1980); 0\} = 0 \text{ МПа}</math> Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры без сейсмики: <math>R^s = \max\{ R_{sx}  - f_{тр} \cdot R_{sy}; 0\} = \max\{ 0  - 0,3 \cdot 7,482 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}</math> Напряжение среза в анкерном болте: <math display="block">\tau_t = \frac{ R^s }{n_b \cdot A_b} =  0  / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}</math> Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте: <math>\sigma_b = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}</math> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Крепеж (условия гидроиспытаний): <math>\sigma_b = 184 \text{ МПа}</math> Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг: <math>\sigma_b \leq [\sigma]_б</math> <math>0 \text{ МПа} &lt; 184 \text{ МПа}</math> <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)</b> <b>Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):</b> Расчётная температура стенки обечайки, T: 100 °C Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p: 0,096479 МПа Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M: 2,5796·10<sup>5</sup> Н·м</p></p></div></div>				
Взам. инв. №		Подп. и дата		
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
				62

Опорное усилие, F: 7,7433·10<sup>5</sup> Н  
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q: 3,7138·10<sup>5</sup> Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]: 0,29443 МПа  
Допускаемый изгибающий момент, [M]<sub>уст</sub>: 1,2549·10<sup>7</sup> Н·м  
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]: 1,6233·10<sup>7</sup> Н  
Допускаемое поперечное усилие, [Q]: 3,9547·10<sup>6</sup> Н

### Опора с подкладным листом

#### Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b<sub>2</sub> с углом охвата δ<sub>2</sub>. Во всех формулах принимают b = b<sub>2</sub> = 550 мм, δ<sub>1</sub> = δ<sub>2</sub> = 140 ° (2,4435 рад)

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

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((16 - 4.8) / 3000)^{1/2} = 0.086458$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ<sub>1</sub> подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.086458^{1/2} + 6 \cdot 0.086458) / 2.4435 \} = 0.30857$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ<sub>1</sub> 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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} = 2.7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ<sub>1</sub> подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.7305} \cdot \sin(2.7305) / 2.7305; 0.25 \} = 0.25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.070945 \cdot 0.30857 / (0.85144 \cdot 0.25) = (-0.023654)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 2.5796 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4.8)) = 3.2584 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3.2584 / (1.25 \cdot 177) = (-0.014727)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4.8)) - 3.2584] / (1.25 \cdot 177) = 0.014473$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,1} < 0$  в расчёте K<sub>1</sub> знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4962 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4993 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min \{ 1.4962, 1.4993 \} = 1.4962$$

Взам. инв. №		Общие условия измерения напряжения изгиба в области опорного угла:				
		$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,5796 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4,8)) = 3,2584 \text{ МПа}$				
Подп. и дата		$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3,2584 / (1,25 \cdot 177) = (-0,014727)$				
		$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4,8)) - 3,2584] / (1,25 \cdot 177) = 0,014473$				
Инв. № подл.		Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте $K_1$ знаки $\vartheta_1$ и $\vartheta_2$ меняют на противоположные				
		$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4962 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$				
		$K_1 = \min\{1,4962, 1,4993\} = 1,4962$				
		90651-20600-AM-02-225 РР				
		Лист 63				
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4962 \cdot 1,25 \cdot 177 = 331,04 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 331,04 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 2,235 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,7305} \cdot \cos(2,7305)) / 2,7305 = 0,38813$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.086458)^2) \cdot [3.1416 / (3 \cdot 2.4435)]^{1/2} = 0.6647$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0.36595$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 0.6647 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-2.1178)$$

$$g_{21} = 0$$

$$g_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4,8)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,058401$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,40368 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,42695 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.40368, 0.42695\} = 0.40368$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,40368 \cdot 1,25 \cdot 177 = 89,314 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_I]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 89,314 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,42494 \cdot 0,6647 \cdot 0,36595) = 1,5965 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (16 - 4,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4,8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ mm}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 21,2$  мм.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0.3929$$

Параметр, определяемый расстоянием до дна:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до дна ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

Взам. инв. №	Подп. и дата	<p><b>Расчёт №2:</b></p> <p>Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают <math>b = 400</math> мм, <math>\delta_1 = 117^\circ</math> (2,042 рад), <math>s - c = s_{ef} = 21,2</math> мм.</p> $K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max\{1,7 - 2,1 \cdot 2,042 / 3,1416; 0\} / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,3929$ <p>Параметр, определяемый расстоянием до днища:</p> $\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s - c}{D}} = 2,83 \cdot 1500 / 3000 \cdot ((21,2 - 0) / 3000)^{1/2} = 0,11895$ <p>Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (<math>\delta_1</math> подставляют в радианах):</p>				
		<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Изм.Лист№ док.Подп.Дата</div> <div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист64</div>				

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0.11895^{1/2} + 6 \cdot 0.11895) / 2.042 \} = 0.48462$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляются в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2,042) / \sin(0.5 \cdot 2,042) = 1,0058$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} = 1,4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1.4434} \cdot \sin(1.4434) / 1.4434; 0.25 \} = 0.25$$

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.3929 \cdot 0.48462 / (1.0058 \cdot 0.25) = (-0.17416)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,5796 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (21,2 - 0)) = 1,7214 \text{ МПа}$$

$$g_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,7214 / (1,25 \cdot 177) = (-0,0077805)$$

$$S_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot |\sigma|} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21,2 - 0)) - 1,7214] / (1,25 \cdot 177) = 0,0076462$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4045 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,4145 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1,4045, 1,4145\} = 1,4045$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4045 \cdot 1,25 \cdot 177 = 310,73 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 310,73 \cdot (3000 \cdot (21,2-0))^{1/2} \cdot (21,2-0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 4,6249 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0.67077$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,11895)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,69161$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.67204 / [0.67077 \cdot 0.69161 \cdot 0.54016 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.042)] = (-1.667)$$

$$g_{21} = 0$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0,67077$ $K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,11895)^2) \cdot [3,1416 / (3 \cdot 2,042)]^{1/2} = 0,69161$ $K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$ $\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 0,69161 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,667)$ $\vartheta_{21} = 0$				
Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	65



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					PP				
ки аппарата общей длиной $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ $A_s=99830 \text{ мм}^2$ Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры: $J_{оп}= 6,7145 \cdot 10^8 \text{мм}^4$ Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры: $A_{оп}= 1,1458 \cdot 10^5 \text{мм}^2$ Распорная нагрузка: $F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 7,7106 \cdot 10^5=1,0793 \cdot 10^5 \text{ Н}$ $\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,0793 \cdot 10^5 / 99830; 1,0793 \cdot 10^5 / 0,0049251 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\}=27,45 \text{ МПа}$ $\min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\} = \min\{177; 177\}=177 \text{ МПа}$ Условие прочности при действии распорной нагрузки: $\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} \leq \min \{[\sigma]; [\sigma]_{оп}\}$ 27,45 МПа < 177 МПа <b>Условие прочности выполнено.</b> Расчетное сжимающее напряжение в опоре: $\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 7,7106 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5=6,7292 \text{ МПа}$ Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости: $M_{RX}=2,2735 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: $W=0,0035906 \text{ м}^3$ Расчетное напряжение изгиба в опоре $\sigma_{и} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 2,2735 \cdot 10^5 / 0,0035906=63,318 \text{ МПа}$ Суммарное напряжение в опоре: $\sigma_{сж} + \sigma_{и} = 6,7292 + 63,318=70,047 \text{ МПа}$ Условие прочности опоры: $\sigma_{сж} + \sigma_{и} \leq [\sigma]_{оп}$ 70,047 МПа < 177 МПа <b>Условие прочности выполнено.</b> Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{ит} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177= 2,0281 \cdot 10^7 \text{Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом: $[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 6,7145 \cdot 10^8 / (1,4 \cdot 912,49^2)= 1,0859 \cdot 10^9 \text{Н}$ Высота участка ребра: $h_p=912,49 \text{ мм}$ Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра): $l_p=187 \text{ мм}$ Отношение высоты ребра к ширине ребра:														
Взам. инв. №														
Подп. и дата														
Инв. № подл.														
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP									
					Лист									
					67									

90651-20600-AM-02-225 PP изм.0.docx

Формат А4

$$\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 187 = 4,8796$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,7$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,7 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 1,401 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 624 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 912,49 / 624 = 1,4623$$

Коэффициент  $k_2$ :

$$k_2 = 13,809$$

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

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,809 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 912,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 6,7407 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 1,0859 \cdot 10^9; 1,401 \cdot 10^{10}; 6,7407 \cdot 10^9 \} = 1,0859 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 1,0859 \cdot 10^9)^2)^{0,5} = 2,0278 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$7,7106 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2,0278 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**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  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{\min} = 7,1326 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$M_{сх} = 3600,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{\min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-7,1326 \cdot 10^5) / 63504 \pm 3600,2 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$$

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:

$$F_z = 2,0778 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

Взам. инв. №	падают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна $0.7 \cdot \Delta_{\text{ш}}$ ): $W_{\text{ш}}=0,034063 \text{ м}^3$ Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: $F_{\text{min}}=7,1326 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: $M_{\text{сх}}= 3600,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Расчетное нормальное напряжение в сварном шве: $\sigma_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{min}}}{A_{\text{ш}}} \pm \frac{M_{\text{сх}}}{W_{\text{ш}}} = (-7,1326 \cdot 10^5) / 63504 \pm 3600,2 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$ 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: $F_z=2,0778 \cdot 10^5 \text{ Н}$ Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:					
	Подп. и дата					
Инв. № подл.						
						90651-20600-AM-02-225 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	68	



$$Q_H = 1220,3H$$

Горизонтальная сила на опоре:

$$Q_{\text{оп}} = \sqrt{F_{\text{т}}^2 + Q_{\text{н}}^2} = 2,0778 \cdot 10^{52} + 1220,3^2 = 2,0778 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{A_{\text{ш}}} = 2,0778 \cdot 10^5 / 63504 = 3,272 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:

$$\sqrt{\sigma_{III}^2 + 4 \cdot \tau_{III}^2} = (0^2 + 4 \cdot 3,272^2)^{1/2} = 6,544 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности угловых сварных швов:

$$\varphi_{\text{тл}} = 0,65$$

$$\varphi_{\text{тн}} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{\text{оп}}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\} = 115,05 \text{ МПа}$$

Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:

$$\sqrt{\sigma_{\text{III}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{III}}^2} \leq \varphi_{\text{III}} \cdot \min \{ [\sigma], [\sigma]_{\text{off}} \}$$

$$6.544 \text{ МПа} < 115.05 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

## Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017

Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:

$$A_0 = 2640 \text{ mm}$$

Длина сжатой зоны под опорой:

$$C_c = \frac{\left| \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} + F_{\min} \right| \cdot A_0}{\left| \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} + F_{\min} \right| + \left| F_{\min} - \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} \right|} = \frac{[6 \cdot 94353 / 2640 + 6,9546 \cdot 10^5] \cdot 2640 / [6 \cdot 94353 / 2640 + 6,9546 \cdot 10^5 + |6,9546 \cdot 10^5 - 6 \cdot 94353 / 2640|]}{1727} = 1727 \text{ mm}$$

Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:

$$a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640/2 - 1727/3 = 744,33 \text{ mm}$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$$d_6 = 25.706 \text{ mm}$$

Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:

$$A_6 = 518.99 \text{ mm}^2$$

Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:

$$B_0 = 2200 \text{ mm}$$

Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:

$$y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 744,33 + 2200 / 2 = 1844,3 \text{ мм}$$

Напряжение растяжения в анкерном болте:

$$\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{\alpha} - F_{\min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(94353 - 6,9546 \cdot 10^5 \cdot 744,33) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1844,3); 0\} = 0 \text{ МПа}$$

Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры для сейсмики:

$$R^s = \max\{F_{\Sigma X} - f_{\text{top}} \cdot F_{\Sigma Y}, 0\} = \max\{58615 - 0,3 \cdot 6,9546 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ H}$$

Напряжение среза в анкерном болте:

$$\tau_t = \frac{|R^s|}{n_s \cdot A_s} = |0| / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:

$$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	<div><div><div><math display="block">y_c = a_c + \frac{1744,33 + 2200}{2} - 1644,5 \text{ мм}</math><p>Напряжение растяжения в анкерном болте:</p><math display="block">\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ox} - F_{min} \cdot a_c}{0,5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(94353 - 6,9546 \cdot 10^5 \cdot 744,33) / (0,5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1844,3); 0\} = 0 \text{ МПа}</math><p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты подвижной опоры для сейсмоки:</p><math display="block">R^s = \max \{  F_{sx}  - f_{tp} \cdot F_{sy}; 0 \} = \max\{ 58615  - 0,3 \cdot 6,9546 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}</math><p>Напряжение среза в анкерном болте:</p><math display="block">\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} = 0 / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}</math><p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:</p><math display="block">\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}</math></div></div></div>					Лист	
			90651-20600-AM-02-225 PP					69	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

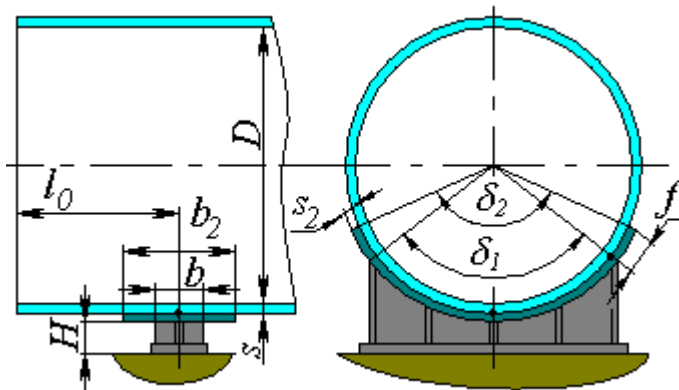
**Условие прочности выполнено.**

### Значения нагрузок

Состояние	Вертикальная сила, Н	Изгибающий момент в поперечной плоскости, Н·м	Изгибающий момент в продольной плоскости, Н·м	Поперечная сила, Н	Продольная сила, Н	Перемещения закрепленного узла, мм
Рабочие условия	$(-6,8599 \cdot 10^5)$	$(-3601,2)$	$2,1716 \cdot 10^5$	$(-1214,7)$	$1,9742 \cdot 10^5$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0,079927$
Условия испытаний	$(-7,482 \cdot 10^5)$	0	2503,7	0	$(-11434)$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0$
Условия сейсмических воздействий	$(-7,1326 \cdot 10^5)$	$(-1,0156 \cdot 10^5)$	$(-2,2735 \cdot 10^5)$	$(-58615)$	$(-2,0778 \cdot 10^5)$	$\delta_x=0$ $\delta_y=0$ $\delta_z=0,10714$

Формат А4

## Опора седловая неподвижная



Эскиз элемента

### Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:

Обечайка цилиндрическая

Внутренний диаметр обечайки, D:

3000 мм

Толщина стенки обечайки, s:

16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:

4 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:

0,8 мм

Прибавка технологическая, c3:

0 мм

Сумма прибавок к стенке обечайки, c:

4,8 мм

Ширина опоры, b:

400 мм

Угол охвата опоры,  $\delta_1$ :

117 °

Расстояние от края элемента, l0:

5440 мм

Расстояние до дна, a:

- мм

Высота опоры, H:

205 мм

Толщина листа, s2:

18 мм

Ширина листа, b2:

550 мм

Угол охвата листа,  $\delta_2$ :

140 °

Длина выступающей части листа, f:

307,89 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:

0,096479 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:

$3,0356 \cdot 10^5$  Н·м

Опорное усилие, F:

$9,2401 \cdot 10^5$  Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:

$4,5937 \cdot 10^5$  Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]:

0,17466 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]уст:

$1,0623 \cdot 10^7$  Н·м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:

$1,3315 \cdot 10^7$  Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:

$3,1775 \cdot 10^6$  Н

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 71
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

# 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  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550$  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 ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} = 2.7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-2.7305} \cdot \sin(2.7305) / 2.7305; 0.25\} = 0.25$$

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

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 3.0356 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4.8)) = 3.8344 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3.8344 / (1.25 \cdot 177) = (-0.017330)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4.8)) - 3.8344] / (1.25 \cdot 177) = 0.011870$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4745 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4844 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4745, 1.4844\} = 1.4745$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4745 \cdot 1.25 \cdot 177 = 326.23 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 326.23 \cdot (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} \cdot (16 - 4.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 2.2025 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.7305} \cdot \cos(2.7305)) / 2.7305 = 0.38813$$

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

$$K_{16} = 1.0$$

Взам. инв. №	$K_1 = \min\{ 1,4745 , 1,4844 \} = 1,4745$ Расчёт в точке 2: Предельное напряжение изгиба: $[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4745 * 1,25 * 177 = 326,23$ МПа Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:							
	Подп. и дата	$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 * 326,23 * (3000 * (16 - 4,8))^{1/2} * (16 - 4,8) / (0,25 * 0,85144) = 2,2025 \cdot 10^6$ Н $K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,7305} * \cos(2,7305)) / 2,7305 = 0,38813$ $K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 * 2,4435) / \sin(0.5 * 2,4435) = 0,42494$ $K_{16} = 1.0$						
Инв. № подл.							Лист	
	90651-20600-AM-02-225 PP					72		
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0.36595$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 1 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-1.4077)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c) \cdot K_2 \cdot [\sigma]} = 0.096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4.8)) \cdot 1 / (1.25 \cdot 177) = 0.058401$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.56181 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.59367 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.56181, 0.59367\} = 0.56181$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.56181 \cdot 1.25 \cdot 177 = 124.3 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 124.3 \cdot (3000 \cdot (16 - 4.8))^{1/2} \cdot (16 - 4.8) / (0.42494 \cdot 1 \cdot 0.36595) = 1.4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (16 - 4.8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4.8))^2)^{1/2} = 21.2 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400 \text{ мм}$ ,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 21.2 \text{ мм}$ .

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0.3929$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 1.0058$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21.2 - 0))^{1/2} = 1.4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-1.4434} \cdot \sin(1.4434) / 1.4434; 0.25\} = 0.25$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.3929 \cdot 1 / (1.0058 \cdot 0.25) = (-0.35938)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{мк} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 3.0356 \cdot 10^6 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (21.2 - 0)) = 2.0257 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{мк} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.0257 / (1.25 \cdot 177) = (-0.0091557)$$

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

73

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21,2 - 0)) - 2,0257] / (1,25 \cdot 177) = 0,0062710$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,2061 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1,2199 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1,2061, 1,2199\} = 1,2061$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,2061 \cdot 1,25 \cdot 177 = 266,86 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 266,86 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 3,9718 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1,0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,042)] = (-1,1529)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (21,2 - 0)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,030854$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,65211 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,6714 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,65211, 0,6714\} = 0,65211$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,65211 \cdot 1,25 \cdot 177 = 144,28 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 144,28 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54016) = 1,9161 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$9,2401 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

**Проверка условия устойчивости**

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 9,2401 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 1 = 8,4264 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$[\sigma]_{1B} = K_{11} \cdot K_{22} \cdot [\sigma] = 0,65211 \cdot 1,25 \cdot 177 = 144,28 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 144,28 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54016) = 1,9161 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Условие прочности: $F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$ $[F] = 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $9,2401 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> <b>Проверка условия устойчивости</b> Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений: $F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 9,2401 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 1 = 8,4264 \cdot 10^5 \text{ Н}$				
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист74

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

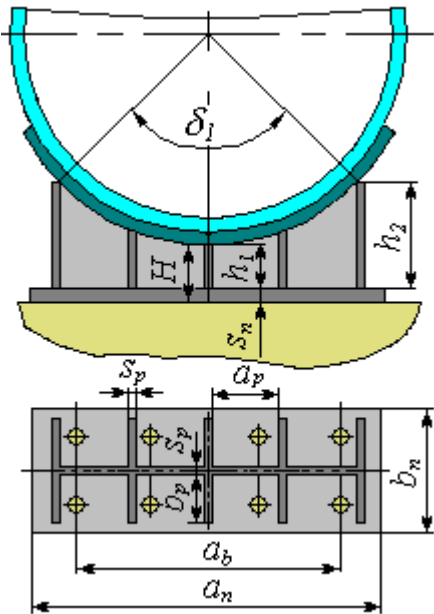
Условие устойчивости:  $\frac{[p]}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$

$\frac{[p]}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,17466 + 8,4264 \cdot 10^5 / 1,3315 \cdot 10^7 + 3,0356 \cdot 10^5 / 1,0623 \cdot 10^7 + (4,5937 \cdot 10^5 / 3,1775 \cdot 10^6)^2 = 0,11276$

$0,11276 \leq 1.0$

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, $h_1$ :	179 мм
Толщина поперечных ребер, $s_p$ :	26 мм
Длина опорной плиты, $a_n$ :	2640 мм
Ширина опорной плиты, $b_n$ :	400 мм
Толщина опорной плиты, $s_n$ :	26 мм
Закрепление:	Неподвижная

Анкерные болты:

Материал:	09Г2С Крепеж
Номинальный диаметр, $d$ :	30 мм
Количество, $n$ :	8
Расстояние между болтами, $a_b$ :	2200 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 B25 (M350):
$[\sigma]_{бет} = 14 \text{ МПа}$
Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось ап-

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						75

парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной  $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$   
 $J_s = 1,3544 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$

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

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

$$W_s = 0,0049251 \text{ м}^3$$

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

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

$$A_s = 99804 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 6,7145 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 9,2401 \cdot 10^5 = 1,2933 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}, \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,2933 \cdot 10^5 / 99804; 1,2933 \cdot 10^5 / 0,0049251 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 32,895 \text{ МПа}$$

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

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

$$32,895 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 9,2401 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5 = 8,0641 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 5717,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0,0035906 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 5717,7 / 0,0035906 = 1,5924 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 8,0641 + 1,5924 = 9,6565 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

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

$$9,6565 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{из} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177 = 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

Взам. инв. №		Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: $W = 0,0035906 \text{ м}^3$					
		Расчетное напряжение изгиба в опоре $\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{РХ}}}{W_{\text{оп}}} = 5717,7 / 0,0035906 = 1,5924 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		Суммарное напряжение в опоре: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{и}} = 8,0641 + 1,5924 = 9,6565 \text{ МПа}$					
		Условие прочности опоры: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{и}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$ 9,6565 МПа < 177 МПа <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Инв. № подл.		Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\text{и}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177 = 2,0281 \cdot 10^7 \text{ Н}$					
		Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:					
						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							76
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			



$$[F]_{E1} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9,87 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 6,7145 \cdot 10^8 / (2,4 \cdot 911,49^2) = 6,3482 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 911,49 \text{ мм}$$

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

$$l_p = 187 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187 = 4,8743$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,642$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,642 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 8,1737 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 624 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624 = 1,4607$$

Коэффициент  $k_2$ :

$$k_2 = 13,775$$

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

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,775 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (2,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 3,931 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 6,3482 \cdot 10^9; 8,1737 \cdot 10^9; 3,931 \cdot 10^9 \} = 3,931 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{п}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{п}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 3,931 \cdot 10^9)^2)^{0,5} = 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$9,2401 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2,0271 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**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  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{min} = 9,2401 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$M_{сх} = 3823 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

Взам. инв. №	<p>9,2401·10<sup>5</sup> Н &lt; 2,0271·10<sup>7</sup> 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·Δш):</p> <p>A<sub>ш</sub>=63504 мм<sup>2</sup></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·Δш):</p> <p>W<sub>ш</sub>=0,034063 м<sup>3</sup></p> <p>Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:</p> <p>F<sub>min</sub>=9,2401·10<sup>5</sup> Н</p> <p>Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости:</p> <p>M<sub>сх</sub>= 3823 Н·м</p> <p>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:</p>				
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					77
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><math display="block">\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ок}}{W_{ш}} = (-9,2401 \cdot 10^5) / 63504 \pm 3823 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}</math><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: <math>F_z=4991 \text{ Н}</math></p><p>Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: <math>Q_H=924,5 \text{ Н}</math></p><p>Горизонтальная сила на опоре: <math>Q_{опт} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 4991^2 + 924,5^2=5075,9 \text{ Н}</math></p><p>Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: <math>\tau_{ш} = \frac{Q_{опт}}{A_{ш}} = 5075,9 / 63504= 0,079930 \text{ МПа}</math></p><p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: <math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0,079930^2)^{1/2}= 0,15986 \text{ МПа}</math></p><p>Коэффициент прочности угловых сварных швов: <math>\varphi_{ш} = 0,65</math></p><p><math>\varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{опт}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\}=115,05 \text{ МПа}</math></p><p>Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: <math>\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{[\sigma]; [\sigma]_{опт}\}</math> <math>0,15986 \text{ МПа} &lt; 115,05 \text{ МПа}</math></p><p><b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b></p><p>Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: <math>A_0= 2640 \text{ мм}</math></p><p>Длина сжатой зоны под опорой: <math display="block">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 3823 / 2640 + 9,2401 \cdot 10^5  \cdot 2640}{ 6 \cdot 3823 / 2640 + 9,2401 \cdot 10^5  +  9,2401 \cdot 10^5 - 6 \cdot 3823 / 2640 } = 1332,4 \text{ мм}</math></p><p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: <math>a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1332,4 / 3 = 875,86 \text{ мм}</math></p><p>Внутренний диаметр резьбы анкерного болта: <math>d_6 = 25,706 \text{ мм}</math></p><p>Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы: <math>A_6 = 518,99 \text{ мм}^2</math></p><p>Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: <math>B_0= 2200 \text{ мм}</math></p><p>Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: <math>y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 875,86 + 2200 / 2 = 1975,9 \text{ мм}</math></p><p>Напряжение растяжения в анкерном болте: <math display="block">\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\{(3823 - 9,2401 \cdot 10^5 \cdot 875,86) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1975,9); 0\} = 0 \text{ МПа}</math></p><p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры без сейсмики: <math display="block">R^s = \max \left\{ \sqrt{R_{\Sigma X}^2 + R_{\Sigma Z}^2} - f_{тр} \cdot R_{\Sigma Y}; 0 \right\} = \max\{((4991^2 + 924,5^2)^{0.5} - 0,3 \cdot 9,2401 \cdot 10^5); 0\} = 0 \text{ Н}</math></p></div>							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		
						Лист	78

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

Напряжение среза в анкерном болте:

$$\tau_t = \frac{|R_s|}{n_s \cdot A_s} = |0| / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Крепеж (рабочие условия):

$\sigma_B = 184 \text{ МПа}$

Проверка анкерных болтов на растяжение и сдвиг:

$$\sigma_s \leq [\sigma]_s$$

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, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, р: 0,14433 МПа

Изгибающий момент над опорой, М:  $2,7303 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Опорное усилие, F:  $8,5949 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:  $4,2575 \cdot 10^5 \text{ Н}$

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

Допускаемое наружное давление, [р]: 0,51591 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [М]<sub>уст</sub>:  $2,5147 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:  $3,2219 \cdot 10^7 \text{ Н}$

Допускаемое поперечное усилие, [Q]:  $7,3363 \cdot 10^6 \text{ Н}$

#### 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 охвата  $\delta_2$ . Во всех формулах принимают  $b = b_2 = 550 \text{ мм}$ ,  $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$  (2,4435 рад)

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{\max \{ 1,7 - 2,1 \cdot 2,4435 / 3,1416; 0 \}}{\sin(0,5 \cdot 2,4435)} = 0,070945$$

$K_{15} = 1,0$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  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:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0,91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 2,3438$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-2,3438} \cdot \sin(2,3438) / 2,3438; 0,25 \} = 0,25$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	$K_{13} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)}$ $K_{15} = 1.0$ <p>Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (<math>\delta_1</math> подставляют в радианах):</p> $K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 * 2.4435) / \sin(0.5 * 2.4435) = 0,85144$ <p>Параметр, определяемый шириной пояса опоры:</p> $\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 * 550 / (3000 * (16 - 0,8))^{1/2} = 2,3438$ <p>Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (<math>\delta_1</math> подставляют в радианах):</p> $K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.3438} * \sin(2.3438) / 2.3438; 0.25 \} = 0,25$					
		<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Изм. Лист № док. Подп. Дата</div>					
		90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
							79

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

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2.7303 \cdot 10^6 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 0.8)) = 2.5412 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -2.5412 / (1.05 \cdot 272.73) = (-0.0088739)$$

$$\vartheta_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 0.8)) - 2.5412] / (1.05 \cdot 272.73) = 0.015995$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1.4776 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 1.4856 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.4776, 1.4856\} = 1.4776$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.4776 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 423.14 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 423.14 \cdot (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} \cdot (16 - 0.8) / (0.25 \cdot 0.85144) = 4.5166 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.3438} \cdot \cos(2.3438)) / 2.3438 = 0.45525$$

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

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 0.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0.38988$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.45525 / [0.42494 \cdot 1 \cdot 0.38988 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-1.5498)$$

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

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0.14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 0.8)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 272.73) = 0.049738$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0.52121 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0.54652 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0.52121, 0.54652\} = 0.52121$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.52121 \cdot 1.05 \cdot 272.73 = 149.26 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 149.26 \cdot (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} \cdot (16 - 0.8) / (0.42494 \cdot 1 \cdot 0.38988) = 2.6318 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №	Примечание: при $\sigma_{21}^2 < 0$ в расчёте $K_1$ знаки $\sigma_1$ и $\sigma_2$ меняют на противоположные				
	$K_1 = \frac{1 - \sigma_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \sigma_1 \cdot \sigma_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \sigma_1 \cdot \sigma_2\right)^2 + (1 - \sigma_2^2) \cdot \sigma_1^2}} = 0,52121 \text{ при } \sigma_2 = \sigma_{2,1}$ $= 0,54652 \text{ при } \sigma_2 = \sigma_{2,2}$ $K_1 = \min\{0,52121, 0,54652\} = 0,52121$ <p>Расчёт в точке 3:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> $[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,52121 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 149,26 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:</p> $[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 149,26 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} \cdot (16 - 0,8) / (0,42494 \cdot 1 \cdot 0,38988) = 2,6318 \cdot 10^6 \text{ Н}$				
Подп. и дата					
Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					80

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (16 - 0,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 0,8))^2)^{1/2} = 23,559 \text{ мм}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400 \text{ мм}$ ,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 23,559 \text{ мм}$ .

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max\{1,7 - 2,1 \cdot 2,042 / 3,1416; 0\} / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,3929$$

$$K_{15} = 1,0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 1,0058$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0,91 \cdot 400 / (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} = 1,3692$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25\right\} = \max\{e^{-1,3692} \cdot \sin(1,3692) / 1,3692; 0,25\} = 0,25$$

$$\varphi_1 = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,3929 \cdot 1 / (1,0058 \cdot 0,25) = (-0,35938)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,7303 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (23,559 - 0)) = 1,6395 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1,6395 / (1,05 \cdot 272,73) = (-0,0057253)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0,14433 \cdot 3000 / (4 \cdot (23,559 - 0)) - 1,6395] / (1,05 \cdot 272,73) = 0,010320$$

Примечание: при  $\varphi_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1,2092 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1,2235 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1,2092, 1,2235\} = 1,2092$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,2092 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 346,27 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 346,27 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,25 \cdot 1,0058) = 6,0377 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,3692} \cdot \cos(1,3692)) / 1,3692 = 0,69317$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,67077$$

$$K_{16} = 1,0$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 81
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			
$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (23,559 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54888$ $\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,69317 / [0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54888 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,042)] = (-1,1703)$ $\vartheta_{2,1} = 0$ $\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,14433 \cdot 3000 / (2 \cdot (23,559 - 0)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 272,73) = 0,032090$ <p>Примечание: при <math>\vartheta_{2,i} &lt; 0</math> в расчёте <math>K_1</math> знаки <math>\vartheta_1</math> и <math>\vartheta_2</math> меняют на противоположные</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,64509 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$ $= 0,66497 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$ $K_1 = \min\{0,64509, 0,66497\} = 0,64509$ <p>Расчёт в точке 3:</p> <p>Предельное напряжение изгиба:</p> $[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,64509 \cdot 1,05 \cdot 272,73 = 184,73 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:</p> $[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 184,73 \cdot (3000 \cdot (23,559 - 0))^{1/2} \cdot (23,559 - 0) / (0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54888) = 2,8283 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Условие прочности:</p> $F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$ $[F] = 2,6318 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $8,5949 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 2,6318 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p><b>Проверка условия устойчивости</b></p> <p>Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:</p> $F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 8,5949 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 0,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 1 = 6,7281 \cdot 10^5 \text{ Н}$ <p>Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают <math>p=0</math>.</p> <p>Условие устойчивости: <math>\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1</math></p> $\frac{ p }{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,51591 + 6,7281 \cdot 10^5 / 3,2219 \cdot 10^7 + 2,7303 \cdot 10^5 / 2,5147 \cdot 10^7 + (4,2575 \cdot 10^5 / 7,3363 \cdot 10^6)^2 = 0,035107$ $0,035107 \leq 1.0$ <p>Заключение: <b>Условие устойчивости выполнено.</b></p> <p><b>Расчёт на прочность седловой опоры по ГОСТ 34233.5-2017</b></p> <p><b>Свойства материала опоры:</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидротестирования):</p> $[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 20 °С:</p> $E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <p><b>Свойства материала бетона:</b></p> <p>Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350):</p> $[b]_{бет} = 14 \text{ МПа}$ <p>Момент инерции поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось ап-</p>						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 PP			Лист
						82
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

парата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной  $1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$   
 $J_s = 1,3607 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$

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

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

$$W_s = 0,0049482 \text{ м}^3$$

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

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

$$A_s = 1,0034 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:

$$J_{оп} = 6,9714 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:

$$A_{оп} = 1,1834 \cdot 10^5 \text{ мм}^2$$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 8,5949 \cdot 10^5 = 1,203 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}, \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,203 \cdot 10^5 / 1,0034 \cdot 10^5; 1,203 \cdot 10^5 / 0,0049482 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 30,455 \text{ МПа}$$

$$\min \{[\sigma], [\sigma]_{оп}\} = \min\{272,73; 272,73\} = 272,73 \text{ МПа}$$

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

$$30,455 \text{ МПа} < 272,73 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 8,5949 \cdot 10^5 / 1,1834 \cdot 10^5 = 7,2626 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:

$$M_{RX} = 2216,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:

$$W = 0,0037280 \text{ м}^3$$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{из} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 2216,1 / 0,0037280 = 0,59444 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} + \sigma_{из} = 7,2626 + 0,59444 = 7,857 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры:

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

$$7,857 \text{ МПа} < 272,73 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:

$$[F]_{оп} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1,1834 \cdot 10^5 \cdot 272,73 = 3,2276 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм. № подл.	Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры: $W=0,0037280\text{ м}^3$ Расчетное напряжение изгиба в опоре $\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{РХ}}}{W_{\text{оп}}} = 2216,1 / 0,0037280=0,59444\text{ МПа}$ Суммарное напряжение в опоре: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{и}} = 7,2626 + 0,59444=7,857\text{ МПа}$ Условие прочности опоры: $\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{и}} \leq [\sigma]_{\text{оп}}$ 7,857 МПа < 272,73 МПа <b>Условие прочности выполнено.</b> Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры: $[F]_{\text{и}} = A_{\text{оп}} \cdot [\sigma]_{\text{оп}} = 1,1834 \cdot 10^5 \cdot 272,73= 3,2276 \cdot 10^7\text{ Н}$ Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:				
			90651-20600-AM-02-225 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист		
					83		

$$[F]_{E1} = 9,87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9,87 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 6,9714 \cdot 10^8 / (1,8 \cdot 911,49^2) = 9,1563 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Высота участка ребра:

$$h_p = 911,49 \text{ мм}$$

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

$$l_p = 187 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187 = 4,8743$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,642$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_p^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,642 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1834 \cdot 10^5 = 1,1728 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 624 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624 = 1,4607$$

Коэффициент  $k_2$ :

$$k_2 = 13,775$$

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

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_p^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,775 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,8 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1834 \cdot 10^5 = 5,6402 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2}; [F]_{E3} \} = \min \{ 9,1563 \cdot 10^8; 1,1728 \cdot 10^{10}; 5,6402 \cdot 10^9 \} = 9,1563 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{ш}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{ш}}{[F]_E} \right)^2}} = 3,2276 \cdot 10^7 / (1 + (3,2276 \cdot 10^7 / 9,1563 \cdot 10^8)^2)^{0,5} = 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$8,5949 \cdot 10^5 \text{ Н} < 3,2256 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**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  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{min} = 8,5949 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$M_{сх} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

Взам. инв. №	8,5949·10 <sup>5</sup> Н < 3,2256·10 <sup>7</sup> Н <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> 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 <sub>ш</sub> ): A <sub>ш</sub> =63504 мм <sup>2</sup> 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 <sub>ш</sub> ): W <sub>ш</sub> =0,034063 м <sup>3</sup> Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору: F <sub>min</sub> =8,5949·10 <sup>5</sup> Н Изгибающий момент, действующий на нижнюю часть опоры в поперечной плоскости: M <sub>сх</sub> = 0 Н·м Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:				
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					84
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	



Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
	$\sigma_{ш} = \frac{F_{min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{ок}}{W_{ш}} = (-8,5949 \cdot 10^5) / 63504 \pm 0,034063 = 0 \text{ МПа}$							
	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: $F_z=2673,1 \text{ Н}$							
	Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата: $Q_H=0 \text{ Н}$							
	Горизонтальная сила на опоре: $Q_{оп} = \sqrt{F_z^2 + Q_H^2} = 2673,1^2 + 0^2 = 2673,1 \text{ Н}$							
	Расчетное напряжение сдвига в сварном шве: $\tau_{ш} = \frac{Q_{оп}}{A_{ш}} = 2673,1 / 63504 = 0,042094 \text{ МПа}$							
	Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} = (0^2 + 4 \cdot 0,042094^2)^{1/2} = 0,084188 \text{ МПа}$							
	Коэффициент прочности угловых сварных швов: $\varphi_{ш} = 0,65$ $\varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\} = 0,65 \cdot \min\{272,73; 272,73\} = 177,27 \text{ МПа}$							
	Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу: $\sqrt{\sigma_{ш}^2 + 4 \cdot \tau_{ш}^2} \leq \varphi_{ш} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{оп}\}$ $0,084188 \text{ МПа} < 177,27 \text{ МПа}$ <b>Условие прочности выполнено.</b>							
<b>Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017</b>								
Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $A_0= 2640 \text{ мм}$								
Длина сжатой зоны под опорой: $C_c = \frac{\left  \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right  \cdot A_0}{\left  \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} + F_{min} \right  + \left  F_{min} - \frac{6 \cdot M_{ок}}{A_0} \right } = \frac{ 6 \cdot 0 / 2640 + 8,5949 \cdot 10^5  \cdot 2640}{ 6 \cdot 0 / 2640 + 8,5949 \cdot 10^5  +  8,5949 \cdot 10^5 - 6 \cdot 0 / 2640 } = 1320 \text{ мм}$								
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата: $a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640 / 2 - 1320 / 3 = 880 \text{ мм}$								
Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда: $B_0= 2200 \text{ мм}$								
Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта: $y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 880 + 2200 / 2 = 1980 \text{ мм}$								
Напряжение растяжения в анкерном болте: $\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ок} - F_{min} \cdot a_c}{0,5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(0 - 8,5949 \cdot 10^5 \cdot 880) / (0,5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1980); 0\} = 0 \text{ МПа}$								
Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры без сейсмики: $R^s = \max \left\{ \sqrt{R_{zx}^2 + R_{zy}^2} - f_{тр} \cdot R_{xy}; 0 \right\} = \max\{((-2673,1)^2 + 0^2)^{0,5} - 0,3 \cdot 8,5949 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}$								
Напряжение среза в анкерном болте: $\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} =  0  / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$								
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист	
							85	

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:  
 $\sigma_6 \leq [\sigma]_6$   
 $0 \text{ МПа} < 184 \text{ МПа}$

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:	0,096479 МПа
Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, М:	2,958·10 <sup>5</sup> Н·м
Опорное усилие, F:	9,7958·10 <sup>5</sup> Н
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	4,5079·10 <sup>5</sup> Н

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

Допускаемое наружное давление, [р]:	0,29443 МПа
Допускаемый изгибающий момент, [M] <sub>уст.</sub> :	1,2549·10 <sup>7</sup> Н·м
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:	1,6233·10 <sup>7</sup> Н
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:	3,9547·10 <sup>6</sup> Н

Опора с подкладным листом

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b<sub>2</sub> с углом охвата δ<sub>2</sub>. Во всех формулах принимают b = b<sub>2</sub> = 550 мм, δ<sub>1</sub> = δ<sub>2</sub> = 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<sub>15</sub> = 1.0

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ<sub>1</sub> 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:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 550 / (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 2,7305$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ<sub>1</sub> подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2.7305} \cdot \sin(2,7305) / 2,7305; 0.25 \} = 0,25$$
$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,070945 \cdot 1 / (0,85144 \cdot 0,25) = (-0,076657)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2,958 \cdot 10^5 / (3,1416 \cdot 3000^2 \cdot (16 - 4,8)) = 3,7364 \text{ МПа}$$
$$\vartheta_{21} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -3,7364 / (1,25 \cdot 177) = (-0,016887)$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инов. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист  
86

$$g_{2,2} = \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma} = [0,096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (16 - 4,8)) - 3,7364] / (1,25 \cdot 177) = 0,012313$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 1,4747 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{1,4747, 1,4846\} = 1,4747$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,4747 \cdot 1,25 \cdot 177 = 326,27 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_1]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{13}} = 0.7 \cdot 326,27 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,25 \cdot 0,85144) = 2,2028 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2.7305} \cdot \cos(2.7305)) / 2.7305 = 0.38813$$

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

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (16 - 4.8))^{1/3} \cdot 550 / 3000 \cdot 2.4435] = 0.36595$$

$$g_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.38813 / [0.42494 \cdot 1 \cdot 0.36595 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.4435)] = (-1.4077)$$

$$g_{21} = 0$$

$$g_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot |\sigma|} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (16 - 4,8)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,058401$$

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

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,56181 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$K_1 = \min\{0,56181, 0,59367\} = 0,56181$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,56181 \cdot 1,25 \cdot 177 = 124,3 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_1]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 124,3 \cdot (3000 \cdot (16-4,8))^{1/2} \cdot (16-4,8) / (0,42494 \cdot 1 \cdot 0,36595) = 1,4769 \cdot 10^6 \text{ H}$$

$$s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} = (16 - 4,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4,8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ mm}$$

### Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают  $b = 400$  мм,  $\delta_1 = 117^\circ$  (2,042 рад),  $s - c = s_{ef} = 21,2$  мм.

Взам. инв. №	Подп. и дата	$[\sigma_i]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,56181 \cdot 1,25 \cdot 177 = 124,3 \text{ МПа}$ Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении: $[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c) \cdot (s - c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 124,3 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} \cdot (16 - 4,8) / (0,42494 \cdot 1 \cdot 0,36595) = 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$ $s_{ef} = (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{s_2}{s - c} \right)^2} = (16 - 4,8) \cdot (1 + (18 / (16 - 4,8))^2)^{1/2} = 21,2 \text{ мм}$ <b>Расчёт №2:</b> Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают b = 400 мм, $\delta_1 = 117^\circ$ (2,042 рад), s - c = s <sub>ef</sub> = 21,2 мм.					
		90651-20600-AM-02-225 PP					
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
							87

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \frac{\max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.042 / 3.1416; 0\}}{\sin(0.5 \cdot 2.042)} = 0.3929$$

$$K_{15} = 1.0$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 1.0058$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 400 / (3000 \cdot (21.2 - 0))^{1/2} = 1.4434$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры ( $\delta_1$  подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25\right\} = \max\{e^{-1.4434} \cdot \sin(1.4434) / 1.4434; 0.25\} = 0.25$$

$$\varphi_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0.3929 \cdot 1 / (1.0058 \cdot 0.25) = (-0.35938)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 2.958 \cdot 10^5 / (3.1416 \cdot 3000^2 \cdot (21.2 - 0)) = 1.9739 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -1.9739 / (1.25 \cdot 177) = (-0.0089217)$$

$$\varphi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [0.096479 \cdot 3000 / (4 \cdot (21.2 - 0)) - 1.9739] / (1.25 \cdot 177) = 0.0065051$$

Примечание: при  $\varphi_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \varphi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \varphi_1 \cdot \varphi_2\right)^2 + (1 - \varphi_2^2) \cdot \varphi_1^2}} = 1.2063 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,1}$$

$$= 1.2201 \text{ при } \varphi_2 = \varphi_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1.2063, 1.2201\} = 1.2063$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma_i]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1.2063 \cdot 1.25 \cdot 177 = 266.9 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma_i]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 266.9 \cdot (3000 \cdot (21.2 - 0))^{1/2} \cdot (21.2 - 0) / (0.25 \cdot 1.0058) = 3.9725 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1.4434} \cdot \cos(1.4434)) / 1.4434 = 0.67204$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2.042) / \sin(0.5 \cdot 2.042) = 0.67077$$

$$K_{16} = 1.0$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (3000 / (21.2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2.042] = 0.54016$$

$$\varphi_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.67204 / [0.67077 \cdot 1 \cdot 0.54016 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.042)] = (-1.1529)$$

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

Взам. инв. №		$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,4434} \cdot \cos(1,4434)) / 1,4434 = 0,67204$				
		$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,042) / \sin(0,5 \cdot 2,042) = 0,67077$				
Подп. и дата		$K_{16} = 1,0$				
		$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (3000 / (21,2 - 0))^{1/3} \cdot 400 / 3000 \cdot 2,042] = 0,54016$				
		$\vartheta_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,67204 / [0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54016 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,042)] = (-1,1529)$				
		$\vartheta_{21} = 0$				
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						88

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 0,096479 \cdot 3000 / (2 \cdot (21,2 - 0)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 177) = 0,030854$$

Примечание: при  $\vartheta_{2,i} < 0$  в расчёте  $K_1$  знаки  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1^2}} = 0,65211 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1}$$

$$= 0,6714 \text{ при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,65211, 0,6714\} = 0,65211$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,65211 \cdot 1,25 \cdot 177 = 144,28 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 144,28 \cdot (3000 \cdot (21,2 - 0))^{1/2} \cdot (21,2 - 0) / (0,67077 \cdot 1 \cdot 0,54016) = 1,9161 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$9,7958 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,4769 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

### Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений:

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 9,7958 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 / 4 \cdot (3000 / (16 - 4,8))^{1/2} \cdot 0,070945 \cdot 1 = 8,9331 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

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

$$\frac{|P|}{[P]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,29443 + 8,9331 \cdot 10^5 / 1,6233 \cdot 10^7 + 2,958 \cdot 10^5 / 1,2549 \cdot 10^7 + (4,5079 \cdot 10^5 / 3,9547 \cdot 10^6)^2 = 0,091598$$

$$0,091598 \leq 1,0$$

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  $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$J_s = 1,3544 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления поперечного сечения седловой опоры вертикальной плоскостью, проходящей через ось аппарата, с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечайки аппарата общей длиной  $1,1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$

$$W_s = 0,0049251 \text{ м}^3$$

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 °С: E=1,91·10 <sup>5</sup> МПа				
Подп. и дата	<b>Свойства материала бетона:</b>				
	Допускаемые напряжения для бетона класса В25 (М350): [σ] <sub>бет</sub> =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 <sub>s</sub> =1,3544·10 <sup>9</sup> мм <sup>4</sup>				
Инв. № подл.	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 <sub>s</sub> =0,0049251 м <sup>3</sup>				
	Площадь поперечного сечения седловой опоры с учетом подкладного листа и примыкающего участка обечай-				
	90651-20600-AM-02-225 РР				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					89

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

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

$A_s=99804 \text{ мм}^2$

Минимальный момент инерции горизонтального сечения у основания опоры:  
 $J_{оп}= 6,7145 \cdot 10^8 \text{мм}^4$

Минимальная площадь горизонтального сечения у основания опоры:  
 $A_{оп}= 1,1458 \cdot 10^5 \text{мм}^2$

Распорная нагрузка:

$$F_s = \frac{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) - \sin^2 \delta_1}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1 - \sin \delta_1} \cdot F = (2 - 2 \cdot \cos(117/2) - \sin^2(117)) / (3,1416/180 \cdot 117 - \sin(117)) \cdot 9,0619 \cdot 10^5 = 1,2684 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\max \left\{ \frac{F_s}{A_s}; \frac{F_s}{W_s} \cdot \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\frac{\pi}{180} \cdot \delta_1} \right\} = \max\{1,2684 \cdot 10^5 / 99804; 1,2684 \cdot 10^5 / 0,0049251 \cdot 3000 \cdot \sin(117/2) / (3,1416/180 \cdot 117)\} = 32,26 \text{ МПа}$$

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

Условие прочности при действии распорной нагрузки:

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

$32,26 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$

Условие прочности выполнено.

Расчетное сжимающее напряжение в опоре:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A_{оп}} = 9,0619 \cdot 10^5 / 1,1458 \cdot 10^5 = 7,9086 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент, действующий на седловую опору в продольной плоскости:  
 $M_{RX}=2,0535 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Момент сопротивления изгибу горизонтального сечения по ребрам у основания опоры:  
 $W=0,0035906 \text{ м}^3$

Расчетное напряжение изгиба в опоре

$$\sigma_{н} = \frac{M_{RX}}{W_{оп}} = 2,0535 \cdot 10^5 / 0,0035906 = 57,191 \text{ МПа}$$

Суммарное напряжение в опоре:  
 $\sigma_{сж} + \sigma_{н} = 7,9086 + 57,191 = 65,099 \text{ МПа}$

Условие прочности опоры:

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

$65,099 \text{ МПа} < 177 \text{ МПа}$

Условие прочности выполнено.

Допускаемое сжимающее усилие из условия прочности опоры:  
 $[F]_{оп} = A_{оп} \cdot [\sigma]_{оп} = 1,1458 \cdot 10^5 \cdot 177 = 2,0281 \cdot 10^7 \text{Н}$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры в целом:

$$[F]_{Е1} = 9.87 \cdot \frac{E \cdot J_{оп}}{n_y \cdot h_2^2} = 9.87 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 6,7145 \cdot 10^8 / (1,4 \cdot 911,49^2) = 1,0883 \cdot 10^9 \text{Н}$$

Высота участка ребра:  
 $h_p=911,49 \text{ мм}$

Расстояние от свободного края ребра до шва (ширина участка ребра):  
 $l_p=187 \text{ мм}$

Отношение высоты ребра к ширине ребра:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

</

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 187 = 4,8743$$

Коэффициент  $k_1$ :

$$k_1 = 28,642$$

Толщина участка ребра:

$$s_p = 26 \text{ мм}$$

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

$$[F]_{E2} = k_1 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 28,642 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 1,4012 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Ширина участка ребра:

$$l_p = 624 \text{ мм}$$

Отношение высоты ребра к ширине участка ребра:

$$\frac{h_p}{l_p} = 911,49 / 624 = 1,4607$$

Коэффициент  $k_2$ :

$$k_2 = 13,775$$

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

$$[F]_{E3} = k_2 \cdot \frac{E \cdot s_3^2}{n_y \cdot h_p^2} \cdot A_{оп} = 13,775 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 26^2 / (1,4 \cdot 911,49^2) \cdot 1,1458 \cdot 10^5 = 6,7389 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие из условия упругой устойчивости опоры:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2}, [F]_{E3} \} = \min \{ 1,0883 \cdot 10^9; 1,4012 \cdot 10^{10}; 6,7389 \cdot 10^9 \} = 1,0883 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое сжимающее усилие, действующее на опору:

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,0281 \cdot 10^7 / (1 + (2,0281 \cdot 10^7 / 1,0883 \cdot 10^9)^2)^{0,5} = 2,0278 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Условие прочности и устойчивости опоры:

$$F \leq [F]$$

$$9,0619 \cdot 10^5 \text{ Н} < 2,0278 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**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  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$A_{ш} = 63504 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения сварного шва (рассчитывается для сечения, форма и размеры которого совпадают с формой и размерами периметра сварного шва, а ширина равна  $0,7 \cdot \Delta_{ш}$ ):

$$W_{ш} = 0,034063 \text{ м}^3$$

Минимальная расчетная вертикальная сила, действующая на седловую опору:

$$F_{\min} = 9,0641 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

$$M_{сх} = 3822,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетное нормальное напряжение в сварном шве:

$$\sigma_{ш} = \frac{F_{\min}}{A_{ш}} \pm \frac{M_{сх}}{W_{ш}} = (-9,0641 \cdot 10^5) / 63504 \pm 3822,9 / 0,034063 = 0 \text{ МПа}$$

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:

$$F_z = 2,1458 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Горизонтальная сила, перпендикулярная оси аппарата:

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 91
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

$$Q_H = 924.74H$$

Горизонтальная сила на опоре:

$$Q_{\text{оп}} = \sqrt{F_{\text{т}}^2 + Q_{\text{н}}^2} = 2,1458 \cdot 10^{52} + 924,74^2 = 2,1458 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Расчетное напряжение сдвига в сварном шве:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{A_{\text{ш}}} = 2,1458 \cdot 10^5 / 63504 = 3,379 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в сварном шве:

$$\sqrt{\sigma_{\text{III}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{III}}^2} = (0^2 + 4 \cdot 3,379^2)^{1/2} = 6,7581 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности угловых сварных швов:

$$\varphi_{\text{тл}} = 0,65$$

$$\varphi_{\text{тв}} \cdot \min\{\sigma; [\sigma]_{\text{сп}}\} = 0,65 \cdot \min\{177; 177\} = 115,05 \text{ МПа}$$

Проверка прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу:

$$\sqrt{\sigma_{\text{III}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{III}}^2} \leq \varphi_{\text{III}} \cdot \min \{ [\sigma], [\sigma]_{\text{off}} \}$$

$$6.7581 \text{ МПа} < 115.05 \text{ МПа}$$

**Условие прочности выполнено.**

## Расчёт на прочность анкерных болтов по ГОСТ 34233.5-2017

Длина опорной плиты седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:

$$A_0 = 2640 \text{ mm}$$

Длина сжатой зоны под опорой:

$$C_c = \frac{\left| \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} + F_{\min} \right| \cdot A_0}{\left| \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} + F_{\min} \right| + \left| F_{\min} - \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{A_0} \right|} = \frac{|6 \cdot 93696 / 2640 + 9,0509 \cdot 10^5| \cdot 2640}{|6 \cdot 93696 / 2640 + 9,0509 \cdot 10^5| + |9,0509 \cdot 10^5 - 6 \cdot 93696 / 2640|} = 1630,6 \text{ mm}$$

Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси аппарата:

$$a_c = \frac{A_0}{2} - \frac{C_c}{3} = 2640/2 - 1630,6/3 = 776,48 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$$d_6 = 25.706 \text{ mm}$$

Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:

$$A_6 = 518.99 \text{ mm}^2$$

Расстояние между фундаментными болтами неподвижной седловой опоры в поперечном направлении горизонтального сосуда:

$$B_0 = 2200 \text{ mm}$$

Расстояние от центра тяжести сжатой зоны до оси фундаментного болта:

$$y_c = a_c + \frac{B_0}{2} = 776,48 + 2200 / 2 = 1876,5 \text{ mm}$$

Напряжение растяжения в анкерном болте:

$$\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{\alpha} - F_{\min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_b \cdot A_b \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(93696 - 9,0509 \cdot 10^5 \cdot 776,48) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1876,5); 0\} = 0 \text{ МПа}$$

Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры для сейсмики:

$$R^s = \max \{ \max \{ |F_{ZZ}|, |F_{XX}| \} - f_{TP} \cdot F_{YY}; 0 \} = \max \{ \max \{ 5105,7; |55356| \} - 0,3 \cdot 9,0509 \cdot 10^5; 0 \} = 0 \text{ H}$$

Напряжение среза в анкерном болте:

$$\tau_t = \frac{|R^s|}{n_s \cdot A_s} = |0| / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$$

Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:

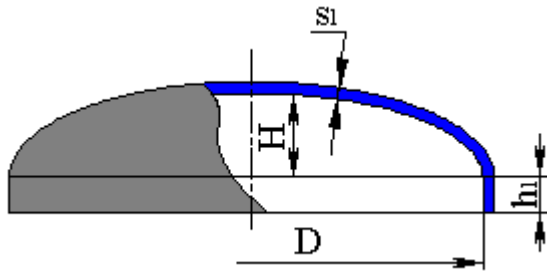
$$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	$y_c = a_c + \frac{170,46 + 2200 / 2 - 1676,5}{2} \text{ мм}$ <p>Напряжение растяжения в анкерном болте:</p> $\sigma_s = \max \left\{ \frac{M_{ox} - F_{min} \cdot a_c}{0.5 \cdot n_6 \cdot A_6 \cdot y_c}; 0 \right\} = \max\{(93696 - 9,0509 \cdot 10^5 \cdot 776,48) / (0.5 \cdot 8 \cdot 518,99 \cdot 1876,5); 0\} = 0 \text{ МПа}$ <p>Сдвигающая сила, действующая на анкерные болты неподвижной опоры для сейсмики:</p> $R^s = \max \{ \max \{  F_{xz} ,  F_{yx}  \} - f_{up} \cdot F_{xy}; 0 \} = \max\{\max\{ 5105,7 ;  55356 \} - 0,3 \cdot 9,0509 \cdot 10^5; 0\} = 0 \text{ Н}$ <p>Напряжение среза в анкерном болте:</p> $\tau_t = \frac{ R^s }{n_6 \cdot A_6} = 0 / (8 \cdot 518,99) = 0 \text{ МПа}$ <p>Совместное напряжение растяжения и сдвига в анкерном болте:</p> $\sigma_6 = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = (0^2 + 4 \cdot 0^2)^{1/2} = 0 \text{ МПа}$													
	Подп. и дата													
Инв. № подл.														
	<table><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-02-225 PP					Лист 92									



Формат А4

## Днище эллиптическое левое, правое



Эскиз элемента

### Исходные данные

Материал:	09Г2С Лист
Внутр. диаметр, D:	3000 мм
Толщина стенки днища, s <sub>1</sub> :	16 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	4 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c:	4,8 мм
Высота днища, H:	750 мм
Длина отбортовки, h <sub>1</sub> :	60 мм
Коэффициент прочности сварного шва:	
φ = 1	

### Расчёт в рабочих условиях

#### Условия нагружения: внутреннее давление

Расчётная температура, T:	100	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,096479	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

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

E = 1,91 · 10<sup>5</sup> МПа

#### Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{3000^2}{4 \cdot 750} = 3000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = \frac{0,096479 \cdot 3000}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 0.5 \cdot 0,096479} + 4,8 = 5,6177 \text{ мм}$$

$$5,6177 \text{ мм} \leq 16 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8)}{3000 + 0.5 \cdot (16 - 4,8)} = 1,3191 \text{ МПа}$$

$$1,3191 \text{ МПа} \geq 0,096479 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

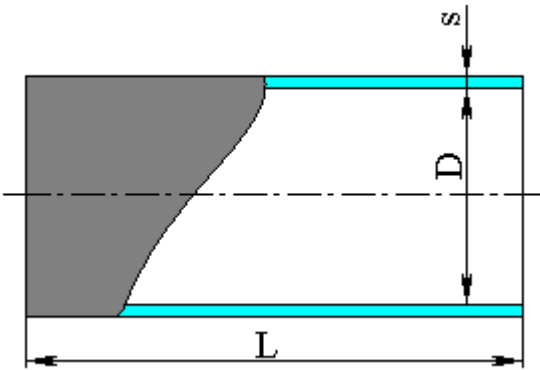
Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
										94
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						



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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				РР	
Допускаемое давление: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 0.5 \cdot (16 - 4,8)) = 1,3191 \text{ МПа}$ 1,3191 МПа ≥ 0,096479 МПа Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>									
Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,096479 \cdot 196 / 177 = 0,13354 \text{ МПа}$									
Расчёт в условиях пропарки Условия нагружения: наружное давление Расчётная температура, T: 200 °C Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,045000 МПа									
Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017 Допускаемые напряжения: Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 200 °C (рабочие условия): [σ] = 165 МПа Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 200 °C: E = 1,81·10 <sup>5</sup> МПа									
Днища, нагруженные наружным давлением. Радиус кривизны в вершине днища: $R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3000^2 / (4 \cdot 750) = 3000 \text{ мм}$ $x = 10 \cdot \frac{s_1 - c}{D} \cdot \left[ \frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right] = 10 \cdot (16 - 4,8) / 3000 \cdot (3000 / (2 \cdot 750) - 2 \cdot 750 / 3000) = 0,056000$ $K_3 = \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3.0 + 10 \cdot x) \cdot x} = (1 + (2.4 + 8 \cdot 0,056000) \cdot 0,056000) / (1 + (3.0 + 10 \cdot 0,056000) \cdot 0,056000) = 0,96676$ Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (при давлении p = 0,045000 МПа): $s_{\text{пр}} + c = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} + c = \max \{ 0,96676 \cdot 3000 / 161 \cdot (2,4 \cdot 0,045000 / (10^{-5} \cdot 1,81 \cdot 10^5))^{1/2}; 1.2 \cdot 0,045000 \cdot 3000 / (2 \cdot 165) \} + 4,8 = 9,2003 \text{ мм}$ 9,2003 мм ≤ 16 мм Заключение: <b>Условие работоспособности выполнено.</b> Допускаемое наружное давление из условия прочности: $[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 165 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 0.5 \cdot (16 - 4,8)) = 1,2297 \text{ МПа}$ Допускаемое наружное давление из условия устойчивости: $[p]_{\text{Е}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c)}{K_3 \cdot R} \right]^2 = 26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,81 \cdot 10^5 / 2,4 \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / (0,96676 \cdot 3000))^2 = 0,29242 \text{ МПа}$ $[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 1,2297 / (1 + (1,2297 / 0,29242)^2)^{1/2} = 0,28448 \text{ МПа}$ 0,28448 МПа ≥ 0,045000 МПа Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>									
								90651-20600-AM-02-225 РР	
								Лист	
								96	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					

Обечайка цилиндрическая



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал: 09Г2С Лист  
Внутр. диаметр, D: 3000 мм  
Толщина стенки, s: 16 мм  
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c<sub>1</sub>: 4 мм  
Прибавка для компенсации минусового допуска, c<sub>2</sub>: 0,8 мм  
Прибавка технологическая, c<sub>3</sub>: 0 мм  
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c: 4,8 мм  
Длина обечайки, L: 10880 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 <sub>i</sub> , мм	Ширина, t <sub>i</sub> , мм	Площадь сечения, A <sub>ki</sub> , мм <sup>2</sup>	Момент инерции, I <sub>ki</sub> , мм <sup>4</sup>	Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом, k
Кольцо жёсткости 1	1940	16	1600	1,3333·10 <sup>6</sup>	3,9459
Кольцо жёсткости 2	4240	16	1600	1,3333·10 <sup>6</sup>	3,8682
Кольцо жёсткости 3	6640	16	1600	1,3333·10 <sup>6</sup>	3,8682
Кольцо жёсткости 4	8940	16	1600	1,3333·10 <sup>6</sup>	3,9459

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения: внутреннее давление

Расчётная температура, T: 100 °C  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,096479 МПа  
Расчётный изгибающий момент, M: 3,036·10<sup>5</sup> Н·м  
Расчётное поперечное усилие, Q: 4,4921·10<sup>5</sup> Н  
Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 8,945·10<sup>5</sup> Н  
Расчётный крутящий момент, M<sub>t</sub>: 10958 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 = 1,91·10<sup>5</sup> МПа

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						97

### Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,096479 \cdot 3000) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,096479) + 4,8 = 5,6178 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l = 2400 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c) + \frac{A_{K1}}{1} \cdot [\sigma]_{K1} \cdot \varphi_{K1} + \frac{A_{K2}}{1} \cdot [\sigma]_{K2} \cdot \varphi_{K2}}{D + (s - c)} = \frac{[2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) + 1600 \cdot 177 \cdot 1 / 2400 + 1600 \cdot 177 \cdot 1 / 2400] / (3000 + 16 - 4,8)}{2400 / (3000 + 16 - 4,8)} = 1,3951 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

$$b = 2384 \text{ мм}$$

$$\lambda_{II}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 2384^2 / (3000 \cdot (16 - 4,8)) = 169,15$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{II}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{II}^2}{\varphi_p}} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 16 - 4,8) \cdot [2 + 169,15] / [1 + (1 \cdot 169,15) / 1] = 1,3244 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 1,3951; 1,3244 \} = 1,3244 \text{ МПа}$$

$$1,3244 \text{ МПа} \geq 0,096479 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot \sqrt{3000 \cdot (16 - 4,8)} = 366,61 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 11500 \text{ мм}$$

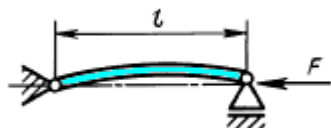
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{II} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 177 = 1,8753 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5} = 1,8909 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

$$\text{Приведённая длина: } l_{пр} = 11500 \text{ мм}$$

Гибкость:


$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 11500 / (3000 + 16 - 4,8) = 10,808$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 1,91 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,1416 / 10,808)^2 = 7,1243 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 1,8909 \cdot 10^7, 7,1243 \cdot 10^8 \} = 1,8909 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		<div></div> <p>Определение приведенной длины Приведённая длина: <math>l_{пр} = 11500</math> мм Гибкость: <math display="block">\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2.83 \cdot 11500 / (3000 + 16 - 4,8) = 10,808</math> Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости: <math display="block">[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 (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 1,91 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,1416 / 10,808)^2 = 7,1243 \cdot 10^8 \text{ Н}</math> Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости: <math display="block">[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 1,8909 \cdot 10^7, 7,1243 \cdot 10^8 \} = 1,8909 \cdot 10^7 \text{ Н}</math></p>					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							98



Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3000 / 4 \cdot 1,8753 \cdot 10^7 = 1,4065 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-8,945 \cdot 10^5 + 0,096479 \cdot 3,1416 \cdot 3000^2 / 4) / 1,8753 \cdot 10^7 + 3,036 \cdot 10^5 / 1,4065 \cdot 10^7 = 0,010252 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

**Для расчёта обечайки от действия седловых опор:**

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 3000 / 2400 \cdot (3000 / (100 \cdot (16 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_{\text{е}} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s-c)}{D} \right]^{2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 3000 / (2,4 \cdot 1 \cdot 2400) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5} = 0,17621 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s-c)}{D + (s-c)} = 2 \cdot 177 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 16 - 4,8) = 1,3167 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_{\text{е}}} \right)^2}} = 1,3167 / (1 + (1,3167 / 0,17621)^2)^{1/2} = 0,17466 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 0,17466 \text{ МПа}$

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием**

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 1,8753 \cdot 10^7 / (1 + (1,8753 \cdot 10^7 / 1,8909 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,3315 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{уст}} = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 1,4065 \cdot 10^7 / (1 + (1,4065 \cdot 10^7 / 1,6208 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,0623 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}}, [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 1,4065 \cdot 10^7, 1,0623 \cdot 10^7 \} = 1,0623 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 10880 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{\text{е}} = \frac{2,4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{D(s-c)}{l_s^2} \right] = 2,4 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (16 - 4,8)^2 / 2,4 \cdot (0,18 + 3,3 \cdot 3000 \cdot (16 - 4,8) / 10880^2) = 4,3351 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = 4,6709 \cdot 10^6 / (1 + (4,6709 \cdot 10^6 / 4,3351 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 3,1775 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		Допускаемый изгибающий момент: $[M] = \min \{M_{\text{гпр}}, M_{\text{уст}}\} = \min \{1,4065 \cdot 10^7, 1,0623 \cdot 10^7\} = 1,0623 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Расчётная длина для расчёта седловых опор: $l_s = 10880 \text{ мм}$ Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости: $[Q]_{\text{Е}} = \frac{2,4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2,4 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (16 - 4,8)^2 / 2,4 \cdot (0,18 + 3,3 \cdot 3000 \cdot (16 - 4,8) / 10880^2) = 4,3351 \cdot 10^6 \text{ Н}$ Допускаемое поперечное усилие: $[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 4,6709 \cdot 10^6 / (1 + (4,6709 \cdot 10^6 / 4,3351 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 3,1775 \cdot 10^6 \text{ Н}$					
Подп. и дата							
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 100
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		



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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP																						
<div>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</div> <div>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</div> <div><math display="block">P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,096479 \cdot 196 / 177 = 0,13354 \text{ МПа}</math></div> <div>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</div> <div>Условия нагружения при испытаниях:</div> <div><div>Расчётная температура, T:</div><div>20 °C</div><div>Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p:0,14433 МПа</div><div>Расчётный изгибающий момент, M:</div><div><math>2,7303 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}</math></div><div>Расчётное поперечное усилие, Q:</div><div><math>4,1541 \cdot 10^5 \text{ Н}</math></div><div>Расчётное осевое сжимающее усилие, F:</div><div>11434 Н</div><div>Расчётный крутящий момент, M<sub>t</sub>:</div><div>0 Н·м</div></div> <div>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):</div> <div><math display="block">[\sigma]^{20} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}</math><div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 20 °C:</div><div><math>E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></div></div> <div>Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением</div> <div>Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):</div> <div><math display="block">s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,14433 \cdot 3000) / (2 \cdot 272,73 \cdot 1 - 0,14433) + 0,8 = 1,594 \text{ мм}</math><div>Расчётная длина для расчёта от действия давления:</div><div><math>l = 2400 \text{ мм}</math></div><div>Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:</div><div><math display="block">[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 272,73 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) + 1600 \cdot 272,73 \cdot 1 / 2400 + 1600 \cdot 272,73]}{2 \cdot 1 / 2400 / (3000 + 16 - 0,8)} = 2,8703 \text{ МПа}</math><div>Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:</div><div><math>b = 2384 \text{ мм}</math></div><div><math display="block">\lambda_{\Pi}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 2384^2 / (3000 \cdot (16 - 0,8)) = 124,64</math><div>Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:</div><div><math display="block">[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 272,73 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) / (3000 + 16 - 0,8) \cdot [2 + 124,64] / [1 + (1 \cdot 124,64) / 1] = 2,7716 \text{ МПа}</math></div><div>Допускаемое внутреннее давление:</div><div><math>[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 2,8703; 2,7716 \} = 2,7716 \text{ МПа}</math><div><math>2,7716 \text{ МПа} \geq 0,14433 \text{ МПа}</math></div><div>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></div><div>Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:</div><div><math>b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ мм}</math></div><div>Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:</div><div><math>l_F = 11500 \text{ мм}</math></div></div><div>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием</div><div>Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:</div><div><math display="block">[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 0,8) \cdot (16 - 0,8) \cdot 272,73 = 3,9268 \cdot 10^7 \text{ Н}</math></div></div><table><tr><td rowspan="2">Взам. инв. №</td><td rowspan="2">Подп. и дата</td><td rowspan="2">Инв. № подл.</td><td colspan="4">90651-20600-AM-02-225 PP</td><td>Лист</td></tr><tr><td colspan="4"></td><td>101</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td colspan="2"></td><td></td></tr></table><div>90651-20600-AM-02-225 PP_изм.0.docx</div><div>Формат А4</div></div></div>						Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 PP				Лист					101	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 PP						Лист																	
							101																			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																						



Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}}\right)^2}} = 9,7675 \cdot 10^6 / (1 + (9,7675 \cdot 10^6 / 1,2636 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 7,7279 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$7,7279 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 4,1541 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 11434/3,2219 \cdot 10^7 + 2,7303 \cdot 10^5/2,5147 \cdot 10^7 + (4,1541 \cdot 10^5/7,7279 \cdot 10^6)^2 = 0,014102 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 0,8) \cdot (16 - 0,8) \cdot 272,73 \cdot 1 = 3,9268 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3000/4 \cdot 3,9268 \cdot 10^7 = 2,9451 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-11434 + 0,14433 \cdot 3,1416 \cdot 3000^2/4)/3,9268 \cdot 10^7 + 2,7303 \cdot 10^5/2,9451 \cdot 10^7 = 0,034960 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 3000/2400 \cdot (3000/(100 \cdot (16 - 0,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_{\text{е}} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 3000/(1,8 \cdot 1 \cdot 2400) \cdot (100 \cdot (16 - 0,8)/3000)^{2,5} = 0,52524 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272,73 \cdot (16 - 0,8)/(3000 + 16 - 0,8) = 2,7497 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_{\text{е}}}\right)^2}} = 2,7497/(1 + (2,7497/0,52524)^2)^{1/2} = 0,51591 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 0,51591 \text{ МПа}$

Взам. инв. №		$[p]_{\text{е}} = \frac{2 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ Е} \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 20{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}99 \cdot 10^5 \cdot 3000 / (1{,}8 \cdot 1 \cdot 2400) \cdot (100 \cdot (16 - 0{,}8) / 3000)^{2{,}5} = 0{,}52524 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое наружное давление из условия прочности:</p> $[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272{,}73 \cdot (16 - 0{,}8) / (3000 + 16 - 0{,}8) = 2{,}7497 \text{ МПа}$ $[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_{\text{е}}} \right)^2}} = 2{,}7497 / (1 + (2{,}7497 / 0{,}52524)^2)^{1/2} = 0{,}51591 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое наружное давление: [p] = 0,51591 МПа</p>				
		Подп. и дата				
Инв. № подл.						
						90651-20600-AM-02-225 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	103	

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{E1}}\right)^2}} = 3,9268 \cdot 10^7 / (1 + (3,9268 \cdot 10^7 / 5,6363 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 3,2219 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{E}}\right)^2}} = 2,9451 \cdot 10^7 / (1 + (2,9451 \cdot 10^7 / 4,8311 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,5147 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min\{[M]_{\Pi}, [M]_{уст}\} = \min\{2,9451 \cdot 10^7, 2,5147 \cdot 10^7\} = 2,5147 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 10880 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{E} = \frac{2,4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2,4 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot (16 - 0,8)^2 / 1,8 \cdot (0,18 + 3,3 \cdot 3000 \cdot (16 - 0,8) / 10880^2) = 1,1112 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{E}}\right)^2}} = 9,7675 \cdot 10^6 / (1 + (9,7675 \cdot 10^6 / 1,1112 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 7,3363 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

### Расчёт от сейсмических воздействий (выводится наихудший случай)

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,096479 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 6,2997 · 10<sup>5</sup> Н·м

Расчётное поперечное усилие, Q: 9,0776 · 10<sup>5</sup> Н

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 9,2047 · 10<sup>5</sup> Н

Расчётный крутящий момент, M<sub>t</sub>: 10950 Н·м

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

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:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,096479 \cdot 3000) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,096479) + 4,8 = 5,6178 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l = 2400 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c) + \frac{A_{k1}}{1} \cdot [\sigma]_{k1} \cdot \varphi_{k1} + \frac{A_{k2}}{1} \cdot [\sigma]_{k2} \cdot \varphi_{k2}}{D + (s - c)} = \frac{[2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) + 1600 \cdot 177 \cdot 1 / 2400 + 1600 \cdot 177 \cdot 1 / 2400] / (3000 + 16 - 4,8)}{2400} = 1,3951 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

$$b = 2384 \text{ мм}$$

$$\lambda_{\Pi}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = 2384^2 / (3000 \cdot (16 - 4,8)) = 169,15$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								104
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda \frac{2}{\Pi}}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda \frac{2}{\Pi}}{\varphi_P}} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 16 - 4,8) \cdot [2 + 169,15] / [1 + (1 \cdot 169,15) / 1] = 1,3244 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее давление:

$$[p] = \min \{ [p]_1; [p]_2 \} = \min \{ 1,3951; 1,3244 \} = 1,3244 \text{ МПа}$$

$$1,3244 \text{ МПа} \geq 0,096479 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot \sqrt{3000 \cdot (16 - 4,8)} = 366,61 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 11500 \text{ мм}$$

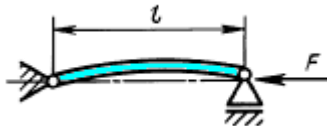
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 177 = 1,8753 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (1,4) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5} = 3,2415 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

$$\text{Приведённая длина: } l_{пр} = 11500 \text{ мм}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 11500 / (3000 + 16 - 4,8) = 10,808$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 1,91 \cdot 10^5 / (1,4) \cdot (3,1416 / 10,808)^2 = 1,2213 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 3,2415 \cdot 10^7, 1,2213 \cdot 10^9 \} = 3,2415 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 1,8753 \cdot 10^7 / \sqrt{1 + (1,8753 \cdot 10^7 / 3,2415 \cdot 10^7)^2} = 1,6233 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$1,6233 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 9,2047 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 1,8753 \cdot 10^7 = 1,4065 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3,5 \cdot 3,2415 \cdot 10^7 = 2,7785 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								105
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				



**Для расчёта обечайки от действия седловых опор:**

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3000 / 2400 \cdot (3000 / (100 \cdot (16 - 4.8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_E = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s-c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot 3000 / (1.4 \cdot 1 \cdot 2400) \cdot (100 \cdot (16 - 4.8) / 3000)^{2.5} = 0.30208 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_П = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s-c)}{D + (s-c)} = 2 \cdot 177 \cdot (16 - 4.8) / (3000 + 16 - 4.8) = 1.3167 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_П}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_П}{[p]_E} \right)^2}} = 1.3167 / (1 + (1.3167 / 0.30208)^2)^{1/2} = 0.29443 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 0.29443 \text{ МПа}$

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием**

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_П}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_П}{[F]_{E1}} \right)^2}} = 1.8753 \cdot 10^7 / (1 + (1.8753 \cdot 10^7 / 3.2415 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.6233 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_П}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_П}{[M]_E} \right)^2}} = 1.4065 \cdot 10^7 / (1 + (1.4065 \cdot 10^7 / 2.7785 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1.2549 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{пр}, [M]_{уст} \} = \min \{ 1.4065 \cdot 10^7, 1.2549 \cdot 10^7 \} = 1.2549 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 10880 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \frac{D(s-c)}{l_s^2} \right] = 2.4 \cdot 1.91 \cdot 10^5 \cdot (16 - 4.8)^2 / 1.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3000 \cdot (16 - 4.8) / 10880^2) = 7.4315 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_П}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_П}{[Q]_E} \right)^2}} = 4.6709 \cdot 10^6 / (1 + (4.6709 \cdot 10^6 / 7.4315 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 3.9547 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

**Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро**

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{пр} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1.25 \cdot 0.096479 \cdot 196 / 177 = 0.13354 \text{ МПа}$$

**Расчёт в условиях пропарки**

**Условия нагружения: наружное давление**

Расчётная температура, Т: 200 °С  
 Расчётное наружное избыточное давление, р: 0.045000 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, М:  $2.2882 \cdot 10^5 \text{ Н·м}$   
 Расчётное поперечное усилие, Q:  $3.2894 \cdot 10^5 \text{ Н}$   
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F:  $8.945 \cdot 10^5 \text{ Н}$   
 Расчётный крутящий момент, М<sub>к</sub>: 10995 Н·м

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
								107
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 200 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 165 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Лист при температуре T = 200 °С:

$$E = 1,81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная наружным избыточным давлением

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 2400 \text{ мм}$$

$$B = \max \left\{ 1; 0,47 \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0,067} \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^{0,4} \right\} = \max \{ 1; 0,47 \cdot (0,045000 / (10^{-5} \cdot 1,81 \cdot 10^5))^{0,067} \cdot (2400 / 3000)^{0,4} \} = 1$$

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок:

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 3000 / 1 \cdot (0,045000 / (10^{-5} \cdot 1,81 \cdot 10^5)) \cdot 2400 / 3000^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,045000 \cdot 3000}{(2 \cdot 165 - 0,045000)} \right\} = 11,436 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта устойчивости всей обечайки:

$$L = 11500 \text{ мм}$$

$$B_2 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 3000 / 11500 \cdot (3000 / (100 \cdot 3,8682 \cdot (16 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{1E} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{k \cdot n_y \cdot B_2} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[ \frac{100 \cdot k \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 3000}{(3,8682 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 11500) \cdot (100 \cdot 3,8682 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5}} = 0,26513 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l = 2400 \text{ мм}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{1П} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c) + \frac{A_{K1}}{1} \cdot [\sigma]_{K1} + \frac{A_{K2}}{1} \cdot [\sigma]_{K2}}{D + (s - c)} = [2 \cdot 165 \cdot (16 - 4,8) + 1600 \cdot 165 / 2400 + 1600 \cdot 165 / 2400] / (3000 + 16 - 4,8) = 1,3005 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{[p]_{1П}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{1П}}{[p]_{1E}} \right)^2}} = 1,3005 / (1 + (1,3005 / 0,26513)^2)^{1/2} = 0,25979 \text{ МПа}$$

Расстояние между кольцами для расчёта от действия давления:

$$l = 2384 \text{ мм}$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 3000 / 2384 \cdot (3000 / (100 \cdot (16 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[p]_{2E} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 3000}{(2,4 \cdot 1 \cdot 2384) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5}} = 0,16811 \text{ МПа}$$

$$\lambda_{II}^2 = \frac{b^2}{D \cdot (s - c)} = \frac{2384^2}{3000 \cdot (16 - 4,8)} = 169,15$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_{2П} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \cdot \frac{2 + \lambda_{II}^2}{1 + \frac{\varphi_T \cdot \lambda_{II}^2}{\varphi_P}} = 2 \cdot 165 \cdot (16 - 4,8) / (3000 + 16 - 4,8) \cdot [2 + 169,15] / [1 + (1,0 \cdot 169,15) / 1] = 1,2346 \text{ МПа}$$

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

108



Допускаемое наружное давление из условия устойчивости обечайки между кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{[p]_{2П}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{2П}}{[p]_{2Е}}\right)^2}} = 1,2346 / (1 + (1,2346 / 0,16811)^2)^{1/2} = 0,16657 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$[p] = \min\{[p]_1; [p]_2\} = \min\{0,25979; 0,16657\} = 0,16657 \text{ МПа}$$

$$0,16657 \text{ МПа} \geq 0,045000 \text{ МПа}$$

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

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 366,61 \text{ мм}$$

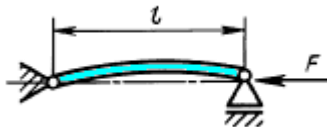
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 165 = 1,7482 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{Е1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D}\right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2,5} = 1,7919 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

Приведённая длина:  $l_{пр} = 11500 \text{ мм}$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 11500 / (3000 + 16 - 4,8) = 10,808$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{Е2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 1,81 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,1416 / 10,808)^2 = 6,7513 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_{Е} = \min\{[F]_{Е1}, [F]_{Е2}\} = \min\{1,7919 \cdot 10^7, 6,7513 \cdot 10^8\} = 1,7919 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{Е}}\right)^2}} = 1,7482 \cdot 10^7 / (1 + (1,7482 \cdot 10^7 / 1,7919 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,2513 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$1,2513 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 8,945 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 1,7482 \cdot 10^7 = 1,3112 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{Е} = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{Е1} = 3000 / 3,5 \cdot 1,7919 \cdot 10^7 = 1,5359 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{Е}}\right)^2}} = 1,3112 \cdot 10^7 / (1 + (1,3112 \cdot 10^7 / 1,5359 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 9,9721 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

Взам. инв. №	1,2513·10 <sup>7</sup> Н ≥ 8,945·10 <sup>5</sup> Н					
	Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>					
Подп. и дата	<b>Обечайка, нагруженная изгибающим моментом</b>					
	Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:					
Инв. № подл.	$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 1,7482 \cdot 10^7 = 1,3112 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$					
	Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:					
	$[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 3000 / 3,5 \cdot 1,7919 \cdot 10^7 = 1,5359 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{м}$					
	Допускаемый изгибающий момент:					
	$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,3112 \cdot 10^7 / (1 + (1,3112 \cdot 10^7 / 1,5359 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 9,9721 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$					
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						109
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$9,9721 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 2,2882 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

### Обечайка, нагруженная поперечным усилием

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\text{п}} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3,1416 \cdot 3000 \cdot (16 - 4,8) \cdot 165 = 4,3542 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$$l_Q = 2400 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{\text{е}} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = 2.4 \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot (16 - 4,8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3000 \cdot (16 - 4,8) / 2400^2) = 4,5239 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = 4,3542 \cdot 10^6 / (1 + (4,3542 \cdot 10^6 / 4,5239 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 3,1372 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$3,1372 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 3,2894 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left\{ \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right\}$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,045000 / 0,16657 + 8,945 \cdot 10^5 / 1,2513 \cdot 10^7 + 2,2882 \cdot 10^5 / 9,9721 \cdot 10^6 + (3,2894 \cdot 10^5 / 3,1372 \cdot 10^6)^2 = 0,37558 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (3000 + 16 - 4,8) \cdot (16 - 4,8) \cdot 165 \cdot 1 = 1,7482 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 3000 / 4 \cdot 1,7482 \cdot 10^7 = 1,3112 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-8,945 \cdot 10^5 + 0 \cdot 3,1416 \cdot 3000^2 / 4) / 1,7482 \cdot 10^7 + 2,2882 \cdot 10^5 / 1,3112 \cdot 10^7 = -0,033715 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 3000 / 2400 \cdot (3000 / (100 \cdot (16 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_{\text{е}} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 3000 / (2.4 \cdot 1 \cdot 2400) \cdot (100 \cdot (16 - 4,8) / 3000)^{2.5} = 0,16699 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
										110
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

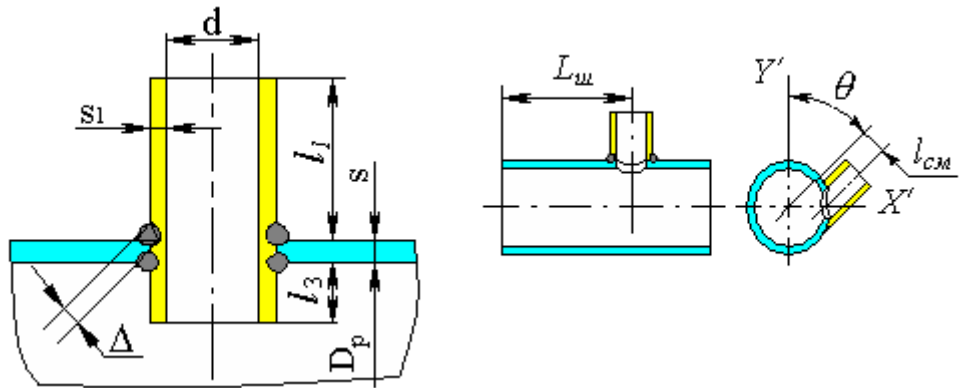


Вход теплоносителя (Н11), Выход теплоносителя (НО1)

Расчет представлен для штуцера Н11.

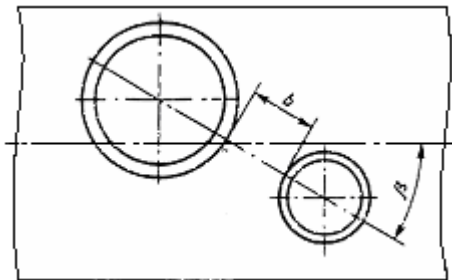
Исходные данные

Элемент:	Вход теплоносителя (Н11)
Условное обозначение (метка)	Н11
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:	16 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	4,8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	25 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	4 мм
Длина штуцера, l1:	1440 мм
Смещение штуцера, Lш:	10140 мм
Смещение штуцера, lсм:	-300 мм
Полученный угол поворота штуцера, θ:	-11,414 °
Полученный угол наклона штуцера, γ:	-11,414 °
Полученный угол наклона штуцера, ω:	-90 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	100 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	10 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Выход теплоносителя (НО1)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	558,15 мм

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

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

112

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР			
<p>Угол β: 90 °</p> <p>Коэффициенты прочности сварных швов:</p> <p>Продольный шов штуцера:</p> <p>φ<sub>1</sub>= 1</p> <p>Шов обечайки в зоне врезки штуцера:</p> <p>φ= 1</p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p>D<sub>р</sub> = D =3000 мм</p> <p>Нагрузки, примененные к патрубку, <b>не передаются</b> на соседние элементы аппарата</p> <p><b>Расчёт в рабочих условиях</b></p> <p><b>Условия нагружения:</b></p> <p>Расчётная температура, Т: 325 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0,070000МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):</p> <p>[σ]= 177 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 325 °С:</p> <p>E=1,675·10<sup>5</sup> МПа</p> <p><b>Свойства материала штуцера</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 325 °С (рабочие условия):</p> <p>[σ]<sub>1</sub>= 128,5 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 325 °С:</p> <p>E<sub>1</sub>=1,675·10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> $s_{ш} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,070000 \cdot (25 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 128,5 \cdot 1 - 0,070000) + 4 = 4,009 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 128,5 \cdot 1 \cdot (10 - 4) / (25 + 10 + 4) = 39,538 \text{ МПа}$ <p>39,538 МПа ≥ 0,070000 МПа</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p>D<sub>р</sub> = D =3000 мм</p> <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> <p>s<sub>р</sub>= 0,59334 мм</p> <p>Длина дуги отверстия, вырезаемого штуцером:</p> <p>t=45,91 мм</p> <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера лежит в плоскости поперечного сечения обечайки):</p> $d_p = \max\{d; 0.5 \cdot t\} + 2 \cdot c_s = (\max\{25; 0.5 \cdot 45,91\} + 2 \cdot 4) = 33 \text{ мм}$ <p>Максимальный диаметр отверстия:</p> $d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0.6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$ <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:</p> <p>s<sub>рн</sub> = s<sub>р</sub> = 0,59334мм</p> <p>Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при</p>								
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист		
			90651-20600-AM-02-225 РР					
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	113

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16-4.8) / 0.59334 - 0.8) \cdot (3000 \cdot (16-4.8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4 \} = 3008 \text{ mm}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 183,3 \text{ mm}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 777.5 \text{ mm}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 183,3 \text{ mm}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{1440; 1.25 \cdot ((25 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4))^{1/2}\} = 17,589 \text{ mm}$$

## Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1, 0, 128,5 / 177 \} = 0,72599$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{100; 0.5 \cdot ((25 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2}\} = 7,0356 \text{ mm}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

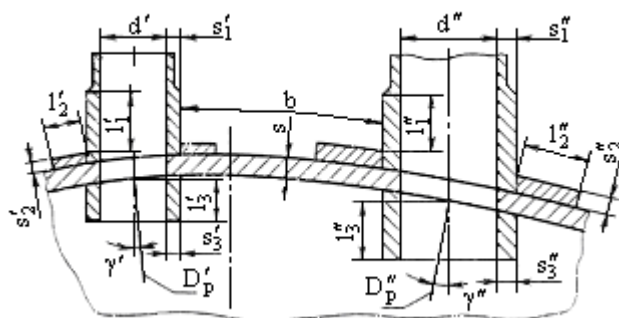
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 73,321 \text{ mm}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{1_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (17,589 * (10 - 4) * 0,72599 + 0 * 0 * 0 + 7,0356 * (10 - 4 - 0) * 0,72599) / (183,3 * (16 - 4,8))] / [1 + 0,5 * (33 - 73,321) / 183,3 + 1 * (25 + 2 * 4) / 3000 * 1/1 * 17,589 / 183,3] \} = \mathbf{1,1809}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_n + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 1 / [3000 + (16 - 4,8) \cdot 1] = 1,3167 \text{ МПа}$$



## Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход теплоносителя (НО1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_D \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_D \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 366,61 \text{ mm}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 1,3167 \text{ МПа}$

Взам. инв. №				
Подп. и дата	<p align="center"><b>Взаимное влияние отверстий</b></p> <p>Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход теплоносителя (НО1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:</p> $b > \sqrt{D_p^I \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p^{II} \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 366,61 \text{ мм}$ <p>Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.</p> <p>Допускаемое давление [p] = 1,3167 МПа</p>			
Инв. № подл.	<div> <div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист 114</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		PP			
<p>1,3167 МПа ≥ 0,070000 МПа</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Площадь, необходимая для укрепления отверстия:</p> <p><math>A_T = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (33 - 73,321) \cdot 0,59334 = (-11,962) \text{ мм}^2</math></p> <p>Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:</p> <p><math>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</math></p> <p><math>= 17,589 \cdot (10 - 0,0089908 - 4) \cdot 0,72599 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 7,0356 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,72599 + 183,3 \cdot (16 - 0,59334 - 4,8) \cdot 1</math></p> <p><math>= 2051,4 \text{ мм}^2</math></p> <p><math>A_T = (-11,962) \text{ мм}^2 \leq 2051,4 \text{ мм}^2</math></p> <p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b></p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> <p><math>P_{\text{гп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_T} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 183 / 128,5 = 0,12461 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения при испытаниях:</b></p> <p>Расчётная температура, T: 20 °C</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,11523 МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):</p> <p><math>[\sigma]^{20} = \frac{R_{eT20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:</p> <p>E = 1,99 · 10<sup>5</sup> МПа</p> <p><b>Свойства материала штуцера</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):</p> <p><math>[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{eT20}}{n_T} = 280 / 1,1 = 254,55 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:</p> <p>E<sub>1</sub> = 1,99 · 10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> <p><math>s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0,11523 \cdot (25 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 254,55 \cdot 1 - 0,11523) + 4 = 4,0075 \text{ мм}</math></p> <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> <p><math>[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 - 4) / (25 + 10 + 4) = 78,322 \text{ МПа}</math></p> <p>78,322 МПа ≥ 0,11523 МПа</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p>D<sub>p</sub> = D = 3000 мм</p> <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> <p>s<sub>p</sub> = 0,63391 мм</p> <p>Длина дуги отверстия, вырезаемого штуцером:</p> <p>t = 45,91 мм</p> <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера лежит в плоскости поперечного сечения обечайки):</p> <p>d<sub>p</sub> = max{d; 0.5 · t} + 2 · c<sub>s</sub> = (max{25; 0.5 · 45,91} + 2 · 4) = 33 мм</p> <p>Максимальный диаметр отверстия:</p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
							115
			Изм.	Лист	№ док.		Подп.

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат A4

$$d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0,63391 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16 - 0,8) / 0,63391 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4 \} = 3008 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 213,54 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 777,5 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 213,54 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 1440; 1,25 \cdot ((25 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4))^{1/2} \} = 17,589 \text{ мм}$$

### 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:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 100; 0,5 \cdot ((25 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2} \} = 7,0356 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 85,417 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (17,589 \cdot (10 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 + 7,0356 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333) / (213,54 \cdot (16 - 0,8))] / [1 + 0,5 \cdot (33 - 85,417) / 213,54 + 1 \cdot (25 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 17,589 / 213,54] \} = 1,1871$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 1 / [3000 + (16 - 0,8) \cdot 1] = 2,7497 \text{ МПа}$$

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

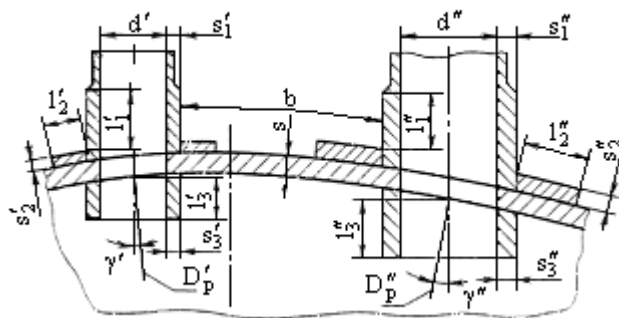
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

116





### Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход теплоносителя (НО1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 2,7497 \text{ МПа}$

$2,7497 \text{ МПа} \geq 0,11523 \text{ МПа}$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (33 - 85,417) \cdot 0,63391 = (-16,614) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 17,589 \cdot (10 - 0,0074712 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 7,0356 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 213,54 \cdot (16 - 0,63391 - 0,8) \cdot 1$$

$$= 3248,2 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-16,614) \text{ мм}^2 \leq 3248,2 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								117
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

### Вход продукта (I1)

## Исходные данные

Элемент:

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штучер:

Тип элемента, несущего штуцер:

Тип штуцера:

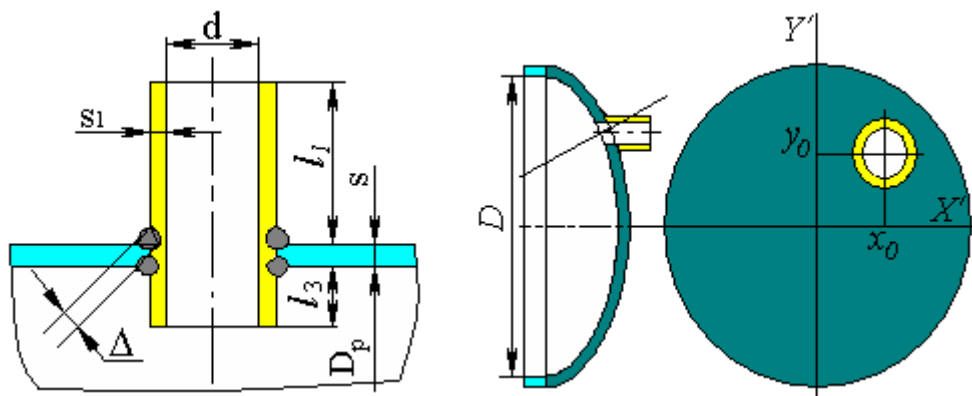
Вход продукта (I1)

11

Днище эллиптическое левое

Днище эллиптическое

Проходящий без укрепления



### Эскиз элемента

Материал несущего элемента:

Толщина стенки несущего элемента, s:

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:

Материал штуцера:

Внутренний диаметр штуцера, d:

Толщина стенки штуцера,  $s_1$ :

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию),  $c_s$ :

Длина штуцера,  $l_1$ :

Смещение штуцера,  $X_0$ :

Смещение штуцера,  $Y_0$ :

Смещение штуцера,  $R_{ш}$ :

Угол поворота штуцера, 9:

Полученный угол наклона штуцера,  $\gamma$ :

Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ :

Прибавка на коррозию,  $C_{s1}$ :

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ :

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

 $\varphi_i = 1$ 

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

 $\varphi = 1$ 

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1100^2 / 3000^4)^{1/2} = 4634,7 \text{ мм}$$

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:0,071956МПа

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

118

## 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 °С:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### Свойства материала штуцера

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

$$[\sigma]_1 = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,071956 \cdot (199 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,071956) + 4 = 4,0466 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (10 - 4) / (199 + 10 + 4) = 9,0141 \text{ МПа}$$

$$9,0141 \text{ МПа} \geq 0,071956 \text{ МПа}$$

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

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища :

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1100^2 / 3000^4)^{1/2} = 4634,7 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 0,47108 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{\text{ш}}}{D_p} \right)^2}} = (199 + 2 \cdot 4) / \sqrt{1 - (2 \cdot 1100 / 4634,7)^2} = 235,19 \text{ мм}$$

Максимальный диаметр отверстия:

$$d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 1800 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{\text{pn}} = s_p = 0,47108 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_{\text{pn}}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\text{max}} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16 - 4,8) / 0,47108 - 0,8) \cdot (4634,7 \cdot (16 - 4,8))^{1/2}; 1800 + 2 \cdot 4 \} = 1808 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4634,7 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 227,83 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 227,83 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 289; 1,25 \cdot ((199 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4))^{1/2} \} = 44,053 \text{ мм}$$

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

119

### 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:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 200; 0,5 \cdot ((199 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2} \} = 17,621 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (4634,7 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 91,133 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + ((44,053 \cdot (10 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 17,621 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,90395) / (227,83 \cdot (16 - 4,8))) / [1 + 0,5 \cdot (235,19 - 91,133) / 227,83 + 2 \cdot (199 + 2 \cdot 4) / 4634,7 \cdot 1 / 1 \cdot 44,053 / 227,83] \} = 0,84827$$

$$= 0,84827$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (16 - 4,8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 0,84827 / [4634,7 + (16 - 4,8) \cdot 0,84827] = 1,4484 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = 1,4484 \text{ МПа}$

$$1,4484 \text{ МПа} \geq 0,071956 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (235,19 - 91,133) \cdot 0,47108 = 33,93 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 44,053 \cdot (10 - 0,046557 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 17,621 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,90395 + 227,83 \cdot (16 - 0,47108 - 4,8) \cdot 1$$

$$= 2777,1 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 33,93 \text{ мм}^2 \leq 2777,1 \text{ мм}^2$$


Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_h} = 1,25 \cdot 0,071956 \cdot 183 / 160 = 0,10288 \text{ МПа}$$

Нарушено условие применимости методики расчёта:

 Ввиду ограничений ГОСТ 34233.3-2017 для штуцеров с нагрузками со смещением, расположенных на днище, расчет выполнен методом конечных элементов в программе Штуцер-МКЭ 3.4, см. расчет 90651-20600-AM-02-225 PP.1.

### Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

#### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,11981 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):

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		<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:0,11981МПа</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> <p>E=1,99·10<sup>5</sup> МПа</p>															
		<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">90651-20600-AM-02-225 PP</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>120</td></tr></table>										90651-20600-AM-02-225 PP	Лист	Изм.	Лист	№ док.	Подп.
					90651-20600-AM-02-225 PP	Лист											
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		120											



Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 200; 0.5 \cdot ((199 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2} \} = 17,621 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (4634,7 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 106,17 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (44,053 \cdot (10 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 17,621 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333) / (265,42 \cdot (16 - 0,8))] / [1 + 0.5 \cdot (235,19 - 106,17) / 265,42 + 2 \cdot (199 + 2 \cdot 4) / 4634,7 \cdot 1 / 1 \cdot 44,053 / 265,42] \} = 0,86305$$

$$= 0,86305$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 0,86305 / [4634,7 + (16 - 0,8) \cdot 0,86305] = 3,0791 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = 3,0791 \text{ МПа}$

$$3,0791 \text{ МПа} \geq 0,11981 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (235,19 - 106,17) \cdot 0,50905 = 32,838 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 44,053 \cdot (10 - 0,048726 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 17,621 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 265,42 \cdot (16 - 0,50905 - 0,8) \cdot 1$$

$$= 4242,6 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 32,838 \text{ мм}^2 \leq 4242,6 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист	
						122	

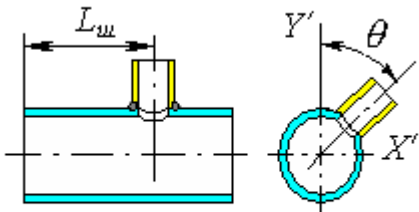
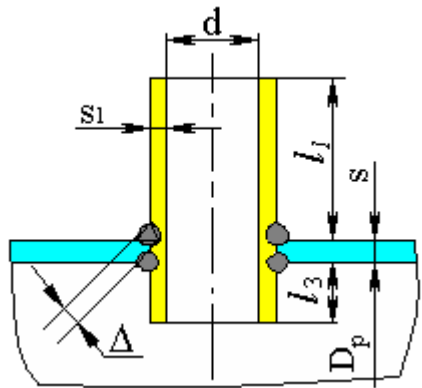
90651-20600-AM-02-225 РР

Измерение уровня (L1), Измерение уровня (L2)

Расчет представлен для штуцера L1.

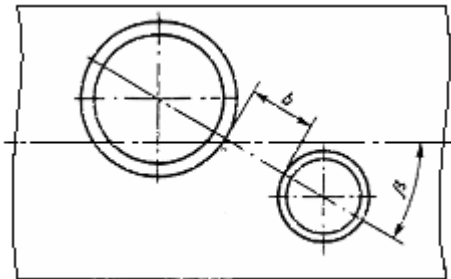
Исходные данные

Элемент:	Измерение уровня (L1)
Условное обозначение (метка)	L1
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:	16мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	4,8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	97 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	12 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	4 мм
Длина штуцера, l1:	1420 мм
Смещение штуцера, Lш:	4440 мм
Угол поворота штуцера, ̸:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	2800 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	12 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Измерение температуры (T1)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	405,5 мм
Угол β:	0 °

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

123







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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (105 - 73,321) \cdot 0,59334 = 9,3981 \text{ мм}^2$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$

$= 36,228 \cdot (12 - 0,022974 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 14,491 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,90395 + 183,3 \cdot (16 - 0,59334 - 4,8) \cdot 1$

$= 2310,3 \text{ мм}^2$

$A_r = 9,3981 \text{ мм}^2 \leq 2310,3 \text{ мм}^2$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

**Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро**

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$P_{гг} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 183 / 160 = 0,10008 \text{ МПа}$

**Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)**

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётная температура, T: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,11492 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):

$[\sigma]^{20} = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

E = 1,99 · 10<sup>5</sup> МПа

**Свойства материала штуцера**

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{eL20}}{n_T} = 280 / 1,1 = 254,55 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

E<sub>1</sub> = 1,99 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки штуцера:

$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,11492 \cdot (97 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 254,55 \cdot 1 - 0,11492) + 4 = 4,0237 \text{ мм}$

Допускаемое давление для патрубков штуцера:

$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254,55 \cdot 1 \cdot (12 - 4) / (97 + 12 + 4) = 36,042 \text{ МПа}$

36,042 МПа ≥ 0,11492 МПа

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

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

D<sub>p</sub> = D = 3000 мм

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

s<sub>p</sub> = 0,63218 мм

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

d<sub>p</sub> = d + 2 · c<sub>s</sub> = 97 + 2 · 4 = 105 мм

Максимальный диаметр отверстия:

$d_{max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

126

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{pn} = s_p = 0,63218 \text{ мм}$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16-0,8) / 0,63218 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (16-0,8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4 \} = 3008 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3000 \cdot (16-0,8))^{1/2} = 213,54 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 4439,5 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 213,54 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1-c_s)} \} = \min \{ 1420; 1,25 \cdot ((97+2 \cdot 4) \cdot (12-4))^{1/2} \} = 36,228 \text{ мм}$$

### 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:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3-c_s-c_{s1})} \right\} = \min \{ 2800; 0,5 \cdot ((97+2 \cdot 4) \cdot (12-4-0))^{1/2} \} = 14,491 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

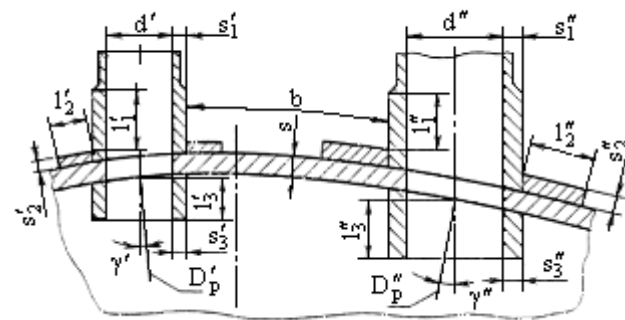
$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (16-0,8))^{1/2} = 85,417 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1-c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3-c_s-c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (36,228 \cdot (12-4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 + 14,491 \cdot (12-4-0) \cdot 0,93333) / (213,54 \cdot (16-0,8))] / [1 + 0,5 \cdot (105-85,417) / 213,54 + 1 \cdot (97+2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 36,228 / 213,54] \} = 1,0617$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (16-0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 1 / [3000 + (16-0,8) \cdot 1] = 2,7497 \text{ МПа}$$



### 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 удовле-

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 127
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

творяет условие:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(0)] / 2 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_p' \cdot (s_1' - c_s') \cdot \chi_1' + 1_{2p}' \cdot s_2' \cdot \chi_2' + 1_{3p}' \cdot (s_3' - c_{s1}') \cdot \chi_3' + 1_p'' \cdot (s_1'' - c_s'') \cdot \chi_1'' + 1_{2p}'' \cdot s_2'' \cdot \chi_2'' + 1_{3p}'' \cdot (s_3'' - c_{s1}'') \cdot \chi_3''}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d_p' + d_p''}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c_s'}{D_p'} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi_1'} \cdot \frac{1_p'}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s''}{D_p''} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi_1''} \cdot \frac{1_p''}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(36,228 \cdot (12 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 14,491 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 22,913 \cdot (10 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 9,1652 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333) / (405,5 \cdot (0,8 - 0,8))]) / (1 \cdot (0,8 + (105 + 56) / (2 \cdot 405,5)) + 1 \cdot [(97 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 36,228 / 405,5 + [(48 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 22,913 / 405,5])]) = 1,0876 \}$$

= 1

$$[p]_{\text{в}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D_p' + D_p'') + (s - c) \cdot V_1} = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 / [0,5 \cdot (3000 + 3000) + (16 - 0,8) \cdot 1] \cdot 1 = 2,7497 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,7497; 2,7497 \}$  МПа

2,7497 МПа  $\geq$  0,11492 МПа

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (105 - 85,417) \cdot 0,63218 = 6,1901 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 36,228 \cdot (12 - 0,023707 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 14,491 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 213,54 \cdot (16 - 0,63218 - 0,8) \cdot 1$$

$$= 3488,7 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 6,1901 \text{ мм}^2 \leq 3488,7 \text{ мм}^2$$

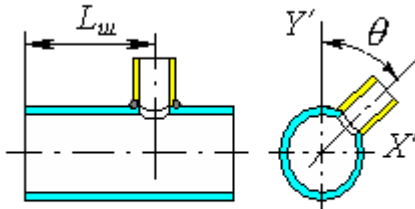
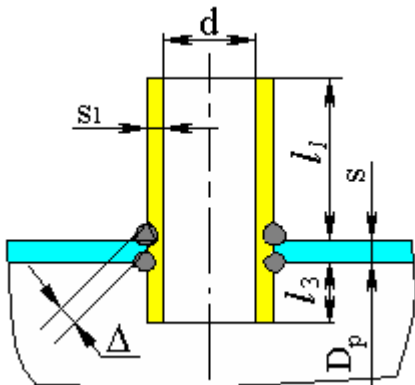
Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.						Подп. и дата		Взам. инв. №	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP				Лист
									128

Люк-лаз (МН1)

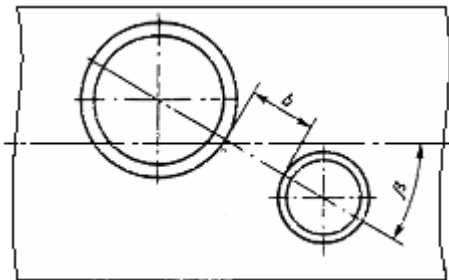
Исходные данные

Элемент:	Люк-лаз (МН1)
Условное обозначение (метка)	МН1
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:	16мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	4,8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Лист
Внутренний диаметр штуцера, d:	800 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	24 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	4,8 мм
Длина штуцера, l1:	200 мм
Смещение штуцера, Lш:	2740 мм
Угол поворота штуцера, θ:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	18 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Измерение уровня (L2)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	1115,5 мм
Угол β:	180 °
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов штуцера:	
φ=	1

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

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

129

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:</p> <p><math>\varphi=1</math></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p><math>D_p = D = 3000 \text{ мм}</math></p> <p>Нагрузки, приложенные к патрубку, <b>не передаются</b> на соседние элементы аппарата</p> <p><b>Расчёт в рабочих условиях</b></p> <p><b>Условия нагружения:</b></p> <p>Расчётная температура, Т: 100 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,070000 МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):</p> <p><math>[\sigma]=177 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p><math>E=1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Свойства материала штуцера</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):</p> <p><math>[\sigma]_1=177 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p><math>E_1=1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> <p><math>s_{ш} + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,070000 \cdot (800 + 2 \cdot 4,8) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,070000) + 4,8 = 4,9601 \text{ мм}</math></p> <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> <p><math>[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 (24 - 4,8) / (800 + 24 + 4,8) = 8,2008 \text{ МПа}</math></p> <p>8,2008 МПа <math>\geq</math> 0,070000 МПа</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p><math>D_p = D = 3000 \text{ мм}</math></p> <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> <p><math>s_p = 0,59334 \text{ мм}</math></p> <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):</p> <p><math>d_p = d + 2 \cdot c_s = 800 + 2 \cdot 4,8 = 809,6 \text{ мм}</math></p> <p>Максимальный диаметр отверстия:</p> <p><math>d_{max} = \begin{cases} D &amp; \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k &amp; \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D &amp; \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}</math></p> <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:</p> <p><math>s_{pn} = s_p = 0,59334 \text{ мм}</math></p> <p>Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:</p> <p><math>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 ((16 - 4,8) / 0,59334 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4,8 \} = 3009,6 \text{ мм}</math></p> <p><math>d_p &lt; d_0</math>: <b>Условие прочности выполнено.</b></p>																					
		<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">90651-20600-AM-02-225 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>130</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>										90651-20600-AM-02-225 РР	Лист						130	Изм.	Лист	№ док.	Подп.
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист																	
						130																	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																			

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 183,3 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 2376 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 183,3 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{200; 1,25 \cdot ((800 + 2 \cdot 4,8) \cdot (24 - 4,8))^{1/2}\} = 155,85 \text{ мм}$$

### 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:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{0; 0,5 \cdot ((800 + 2 \cdot 4,8) \cdot (24 - 4,8 - 0))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

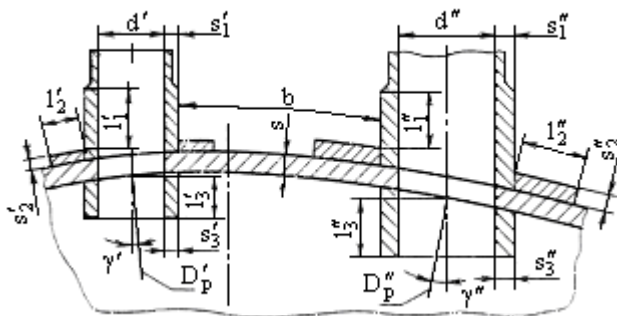
Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 73,321 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (155,85 \cdot (24 - 4,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot (24 - 4,8 - 0) \cdot 1) / (183,3 \cdot (16 - 4,8))] / [1 + 0,5 \cdot (809,6 - 73,321) / 183,3 + 1 \cdot (800 + 2 \cdot 4,8) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 155,85 / 183,3]\} = 0,759$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 0,759 / [3000 + (16 - 4,8) \cdot 0,759] = 1,0003 \text{ МПа}$$



### Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 366,61 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 1,0003 \text{ МПа}$

$$1,0003 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (809,6 - 73,321) \cdot 0,59334 = 218,43 \text{ мм}^2$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

131



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

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot \{s_1 - s_p - c_s\} \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot \{s_3 - c_s - c_{s1}\} \cdot \chi_3 + 1_p \cdot \{s - s_p - c\} \cdot \chi_4$$

$$= 155,85 \cdot (24 - 0,16012 - 4,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (24 - 4,8 - 0) \cdot 1 + 183,3 \cdot (16 - 0,59334 - 4,8) \cdot 1$$

$$= 4911,5 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 218,43 \text{ мм}^2 \leq 4911,5 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 196 / 177 = 0,096893 \text{ МПа}$$

### Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

#### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,11544 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 Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0,11544 \cdot (800 + 2 \cdot 4,8) / (2 \cdot 272,73 \cdot 1 - 0,11544) + 4,8 = 4,9714 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 272,73 \cdot 1 \cdot (24 - 4,8) / (800 + 24 + 4,8) = 12,636 \text{ МПа}$$

$$12,636 \text{ МПа} \geq 0,11544 \text{ МПа}$$

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

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 0,63506 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 800 + 2 \cdot 4,8 = 809,6 \text{ мм}$$

Максимальный диаметр отверстия:

$$d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$s_{px} = s_p = 0,63506 \text{ мм}$$



Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16-0.8) / 0.63506 - 0.8) \cdot (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4.8 \} = 3009,6 \text{ mm}$$

$d_b < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 213,54 \text{ mm}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 2376 \text{ mm}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 213,54 \text{ mm}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{10} = \min[l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}] = \min\{200; 1,25 \cdot ((800 + 2 \cdot 4,8) \cdot (24 - 4,8))^{1/2}\} = 155,85 \text{ мм}$$

## Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 272.73 / 272.73 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((800 + 2 \cdot 4,8) \cdot (24 - 4,8 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ mm}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

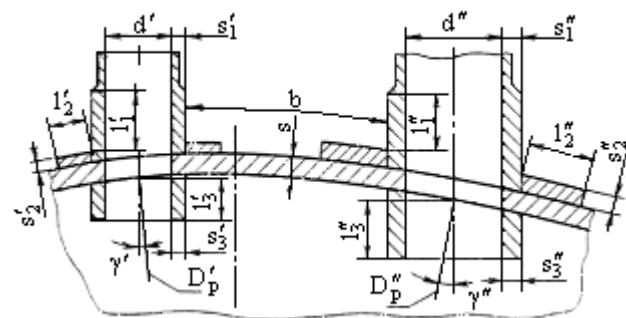
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3000 \cdot (16 - 0.8))^{1/2} = 85,417 \text{ mm}$$

$$V = \min \left\{ 1, \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{1_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (155,85 * (24 - 4,8) * 1 + 0 * 0 * 0 + 0 * (24 - 4,8 - 0) * 1) / (213,54 * (16 - 0,8))] / [1 + 0,5 * (809,6 - 85,417) / 213,54 + 1 * (800 + 2 * 4,8) / 3000 * 1 / 1 * 155,85 / 213,54]\} = \mathbf{0,66441}$$

$$= 0,66441$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 0,66441 / [3000 + (16 - 0,8) \cdot 0,66441] = 1,83 \text{ МПа}$$



## Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

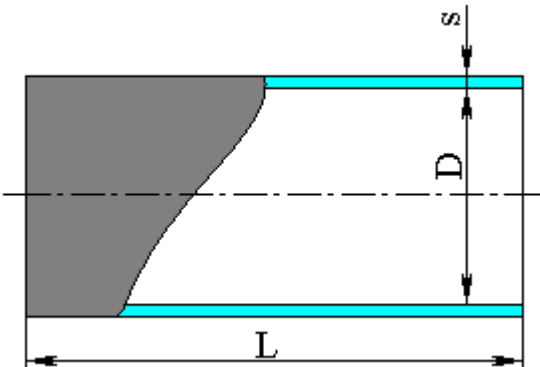
$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ mm}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Взам. инв. №				
Подп. и дата	<p align="center"><b>Взаимное влияние отверстий</b></p> <p>Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L2) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:</p> $b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ мм}$ <p>Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.</p>			
Инв. № подл.	<div> <div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист 133</div> </div>			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Обечайка МН1



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал: 09Г2С Лист  
 Внутр. диаметр,D: 800 мм  
 Толщина стенки, s: 14 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с<sub>1</sub>: 4,8 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска, с<sub>2</sub>:0 мм  
 Прибавка технологическая, с<sub>3</sub>: 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: 4,8 мм  
 Длина обечайки, L: 1210 мм  
 Коэффициенты прочности сварных швов:  
 Продольный шов:  
 φ<sub>Р</sub> = 1  
 Окружной шов:  
 φ<sub>Т</sub> = 1

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 100 °С  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0,070000 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, М: 113,88 Н·м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0 Н  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 6843,1 Н  
 Расчётный крутящий момент, М<sub>к</sub>: 0 Н·м

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

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<sup>5</sup> МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,070000 \cdot 800) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,070000) + 4,8=4,9582 \text{ мм}$$

$$4,9582 \text{ мм} \leq 14 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						135

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (14 - 4,8) / (800 + 14 - 4,8) = 4,0247 \text{ МПа}$$

$$4,0247 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot \sqrt{800 \cdot (14 - 4,8)} = 171,58 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 1210 \text{ мм}$$

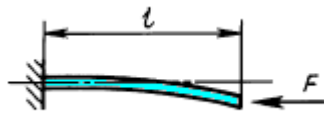
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 4,8) \cdot (14 - 4,8) \cdot 177 = 4,1397 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 800^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (14 - 4,8) / 800)^{2,5} = 2,2393 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

$$\text{Приведённая длина: } l_{пр} = 2420 \text{ мм}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 2420 / (800 + 14 - 4,8) = 8,4634$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 4,8) \cdot (14 - 4,8) \cdot 1,91 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,1416 / 8,4634)^2 = 2,5646 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 2,2393 \cdot 10^7, 2,5646 \cdot 10^8 \} = 2,2393 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 4,1397 \cdot 10^6 / (1 + (4,1397 \cdot 10^6 / 2,2393 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 4,0707 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$4,0707 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 6843,1 \text{ Н}$$

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

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 800 / 4 \cdot 4,1397 \cdot 10^6 = 8,2794 \cdot 10^5 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 800 / 3,5 \cdot 2,2393 \cdot 10^7 = 5,1184 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 8,2794 \cdot 10^5 / (1 + (8,2794 \cdot 10^5 / 5,1184 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 8,1731 \cdot 10^5 \text{ Н·м}$$

$$8,1731 \cdot 10^5 \text{ Н·м} \geq 113,88 \text{ Н·м}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>				
		<b>Обечайка, нагруженная изгибающим моментом</b> Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия: $[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 800 / 4 \cdot 4,1397 \cdot 10^6 = 8,2794 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости: $[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 800 / 3.5 \cdot 2,2393 \cdot 10^7 = 5,1184 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$ Допускаемый изгибающий момент: $[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 8,2794 \cdot 10^5 / (1 + (8,2794 \cdot 10^5 / 5,1184 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 8,1731 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ $8,1731 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м} \geq 113,88 \text{ Н}\cdot\text{м}$				
Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	136

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: 
$$\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 6843,1/4,0707 \cdot 10^6 + 113,88/8,1731 \cdot 10^5 + (0/0)^2 = 0,0018204 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 4,8) \cdot (14 - 4,8) \cdot 177 \cdot 1 = 4,1397 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 800/4 \cdot 4,1397 \cdot 10^6 = 8,2794 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: 
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-6843,1 + 0,070000 \cdot 3,1416 \cdot 800^2/4) / 4,1397 \cdot 10^6 + 113,88/8,2794 \cdot 10^5 = 0,0069841 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 800/1210 \cdot (800/(100 \cdot (14 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \text{ Е} \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{-2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 800 / (2,4 \cdot 1 \cdot 1210) \cdot (100 \cdot (14 - 4,8) / 800)^{2,5} = 1,5522 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (14 - 4,8) / (800 + 14 - 4,8) = 4,0247 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 4,0247 / (1 + (4,0247/1,5522)^2)^{1/2} = 1,4482 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 1,4482 \text{ МПа}$

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{Е1}}} \right)^2}} = 4,1397 \cdot 10^6 / (1 + (4,1397 \cdot 10^6 / 2,2393 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 4,0707 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$[p] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{Б}}}\right)^2}} = 4,0247 / (1 + (4,0247 / 1,5522)^2)^{1/2} = 1,4482 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое наружное давление: <math>[p] = 1,4482 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием</b></p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие:</p> $[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{Б1}}}\right)^2}} = 4,1397 \cdot 10^6 / (1 + (4,1397 \cdot 10^6 / 2,2393 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 4,0707 \cdot 10^6 \text{ Н}$						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
								137



Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (800 \cdot (14 - 0))^{1/2} = 211,66 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 1210 \text{ мм}$$

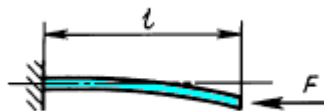
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 272,73 = 9,7641 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 800^2 / (1,8) \cdot (100 \cdot (14 - 0) / 800)^{2,5} = 8,8862 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

Приведённая длина:  $l_{пр} = 2420 \text{ мм}$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 2420 / (800 + 14 - 0) = 8,4135$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 1,99 \cdot 10^5 / (1,8) \cdot (\pi / 8,4135)^2 = 5,5186 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 8,8862 \cdot 10^7, 5,5186 \cdot 10^8 \} = 8,8862 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 9,7641 \cdot 10^6 / (1 + (9,7641 \cdot 10^6 / 8,8862 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 9,7057 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$9,7057 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 13041 \text{ Н}$$

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

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 800 / 4 \cdot 9,7641 \cdot 10^6 = 1,9528 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 800 / 3,5 \cdot 8,8862 \cdot 10^7 = 2,0311 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 1,9528 \cdot 10^6 / (1 + (1,9528 \cdot 10^6 / 2,0311 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,9439 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

$$1,9439 \cdot 10^6 \text{ Н·м} \geq 124,2 \text{ Н·м}$$

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.

Взам. инв. №		Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости.				
		$[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 800 / 3.5 \cdot 8,8862 \cdot 10^7 = 2,0311 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
Подп. и дата		Допускаемый изгибающий момент:				
		$[M] = \frac{[M]_{\text{П}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{П}}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,9528 \cdot 10^6 / (1 + (1,9528 \cdot 10^6 / 2,0311 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,9439 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
Инв. № подл.		1,9439 · 10 <sup>6</sup> Н·м ≥ 124,2 Н·м				
		Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>				
<b>Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок</b>						
Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.						
						90651-20600-AM-02-225 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
					Лист 139	

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 13041/9,7057 \cdot 10^6 + 124,2/1,9439 \cdot 10^6 + (0/0)^2 = 0,0014076 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (800 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 272,73 \cdot 1 = 9,7641 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 800/4 \cdot 9,7641 \cdot 10^6 = 1,9528 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-13041 + 0,11279 \cdot 3,1416 \cdot 800^2/4)/9,7641 \cdot 10^6 + 124,2/1,9528 \cdot 10^6 = 0,0045344 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 800/1210 \cdot (800/(100 \cdot (14 - 0)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 800/(1,8 \cdot 1 \cdot 1210) \cdot (100 \cdot (14 - 0)/800)^{2,5} = 6,1595 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272,73 \cdot (14 - 0)/(800 + 14 - 0) = 9,3813 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 9,3813 / (1 + (9,3813/6,1595)^2)^{1/2} = 5,1489 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 5,1489 \text{ МПа}$

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{Е1}}} \right)^2}} = 9,7641 \cdot 10^6 / (1 + (9,7641 \cdot 10^6 / 8,8862 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 9,7057 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{уст}} = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 1,9528 \cdot 10^6 / (1 + (1,9528 \cdot 10^6 / 2,0311 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,9439 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ M_{\text{пр}}, M_{\text{уст}} \} = \min \{ 1,9528 \cdot 10^6, 1,9439 \cdot 10^6 \} = 1,9439 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								140
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				





## Измерение температуры (T1)

### Исходные данные

Элемент:

Измерение температуры  
(T1)

Условное обозначение (метка)

T1

Элемент, несущий штуцер:

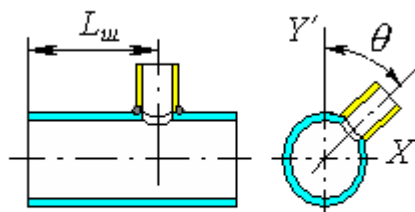
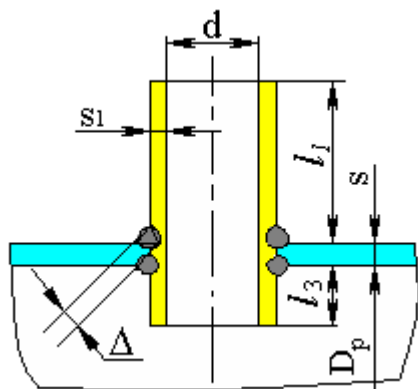
Обечайка цилиндрическая

Тип элемента, несущего штуцер:

Обечайка цилиндрическая

Тип штуцера:

Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:

09Г2С Лист

Толщина стенки несущего элемента, s:

16 мм

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c:

4,8 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:

4 мм

Длина штуцера, l1:

1430 мм

Смещение штуцера, Lш:

4940 мм

Угол поворота штуцера, θ:

0 °

Длина внутр. части штуцера, l3:

2800 мм

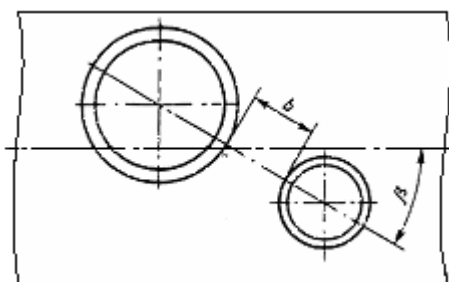
Прибавка на коррозию, cс1:

0 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ:

10 мм

Расчётные параметры размещения штуцера:



Ближайший штуцер

Название штуцера:

Измерение уровня (L1)

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:

405,5 мм

Угол β:

180 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

φ<sub>т</sub> = 1

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

142



Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 183,3 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$$L_k = 4966 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 183,3 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{1430; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4))^{1/2}\} = 22,913 \text{ мм}$$

### 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:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{2800; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2}\} = 9,1652 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

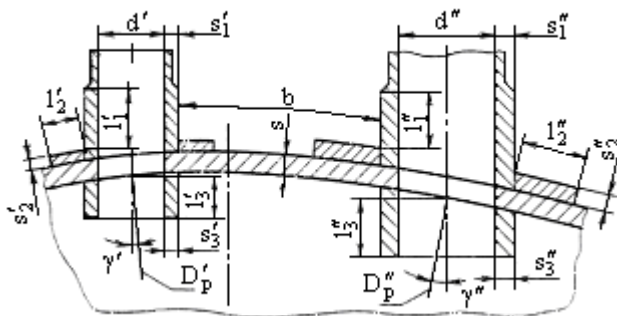
$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 73,321 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (22,913 \cdot (10 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 9,1652 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,90395) / (183,3 \cdot (16 - 4,8))] / [1 + 0,5 \cdot (56 - 73,321) / 183,3 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 22,913 / 183,3]\} = 1,1358\}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 4,8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 1 / [3000 + (16 - 4,8) \cdot 1] = 1,3167 \text{ МПа}$$



### Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} = 366,61 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 1,3167 \text{ МПа}$

$$1,3167 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (56 - 73,321) \cdot 0,59334 = (-5,1387) \text{ мм}^2$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

144

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p>Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:</p> $A_a = 1_p \cdot \{s_1 - s_p - c_s\} \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot \{s_3 - c_s - c_{s1}\} \cdot \chi_3 + 1_p \cdot \{s - s_p - c\} \cdot \chi_4$ $= 22,913 \cdot (10 - 0,012253 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 9,1652 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,90395 + 183,3 \cdot (16 - 0,59334 - 4,8) \cdot 1$ $= 2118 \text{ мм}^2$ <p><math>A_r = (-5,1387) \text{ мм}^2 \leq 2118 \text{ мм}^2</math></p> <p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b></p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 183 / 160 = 0,10008 \text{ МПа}$ <p><b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения при испытаниях:</b></p> <p>Расчётная температура, Т: 20 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,11491 МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b></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> <p><math>E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Свойства материала штуцера</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1,1 = 254,55 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:</p> <p><math>E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> $s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0,11491 \cdot (48 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 254,55 \cdot 1 - 0,11491) + 4 = 4,0126 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254,55 \cdot 1 \cdot (10 - 4) / (48 + 10 + 4) = 49,267 \text{ МПа}$ <p><math>49,267 \text{ МПа} \geq 0,11491 \text{ МПа}</math></p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> <p><math>D_p = D = 3000 \text{ мм}</math></p> <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> <p><math>s_p = 0,63214 \text{ мм}</math></p> <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):</p> <p><math>d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 4 = 56 \text{ мм}</math></p> <p>Максимальный диаметр отверстия:</p> $d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$ <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:</p> <p><math>s_{px} = s_p = 0,63214 \text{ мм}</math></p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
							145
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16-0.8) / 0.63214 - 0.8) \cdot (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4 \} = 3008 \text{ mm}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 213,54 \text{ mm}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое правое):

$L_k = 4966 \text{ mm}$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_p = 213,54 \text{ mm}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1D} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 1430; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4))^{1/2} \} = 22,913 \text{ mm}$$

## 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:

$$l_{30} = \min\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{2800; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 4) \cdot (10 - 4 - 0))^{1/2}\} = 9,1652 \text{ mm}$$

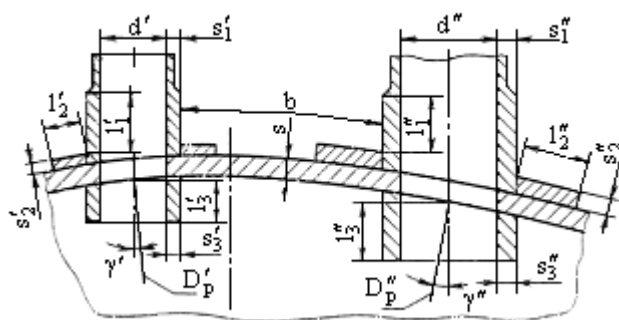
Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 85,417 \text{ mm}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{1_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{1_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (22,913 * (10 - 4) * 0,93333 + 0 * 0 * 0 + 9,1652 * (10 - 4 - 0) * 0,93333) / (213,54 * (16 - 0,8))] / [1 + 0.5 * (56 - 85,417) / 213,54 + 1 * (48 + 2 * 4) / 3000 * 1/1 * 22,913 / 213,54] = \mathbf{1,131}\}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 1 / [3000 + (16 - 0,8) \cdot 1] = 2,7497 \text{ МПа}$$



## Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ mm}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

Взам. инв. №				
Подп. и дата	<p align="center"><b>Взаимное влияние отверстий</b></p> <p>Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Измерение уровня (L1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:</p> $b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} + (3000 \cdot (16 - 0,8))^{1/2} = 427,08 \text{ мм}$ <p>Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.</p>			
Инв. № подл.	<div> <div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист 146</div> </div>			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(180)] / 2 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi''_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(22,913 \cdot (10 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 9,1652 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 36,228 \cdot (12 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 14,491 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,93333) / (405,5 \cdot (0,8 - 0,8))]) / (1 \cdot (0,8 + (56 + 105) / (2 \cdot 405,5)) + 1 \cdot [(48 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 22,913 / 405,5 + [(97 + 2 \cdot 4) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 36,228 / 405,5] \cdot 1]) = 1,0876 \}$$
$$= 1$$

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 0,8) \cdot 1 \cdot 272,73 / [0,5 \cdot (3000 + 3000) + (16 - 0,8) \cdot 1] \cdot 1 = 2,7497 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,7497; 2,7497 \}$  МПа

2,7497 МПа  $\geq$  0,11491 МПа

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (56 - 85,417) \cdot 0,63214 = (-9,2978) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$
$$= 22,913 \cdot (10 - 0,012643 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 9,1652 \cdot (10 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 213,54 \cdot (16 - 0,63214 - 0,8) \cdot 1$$
$$= 3290,2 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-9,2978) \text{ мм}^2 \leq 3290,2 \text{ мм}^2$$

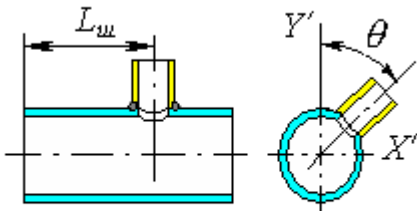
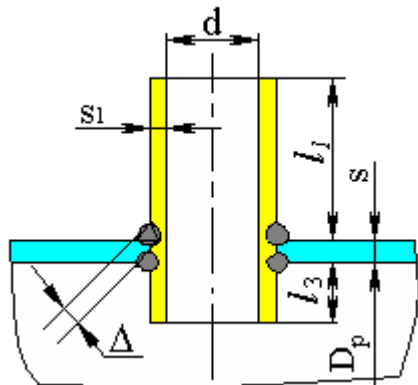
Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								147
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Штуцер для насоса (U1)

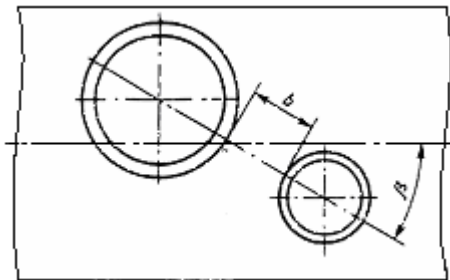
Исходные данные

Элемент:	Штуцер для насоса (U1)
Условное обозначение (метка)	U1
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:	16 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	4,8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Лист
Внутренний диаметр штуцера, d:	700 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	24 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	4,8 мм
Длина штуцера, l1:	200 мм
Смещение штуцера, Lш:	8140 мм
Угол поворота штуцера, θ:	0 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	18 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:	



Ближайший штуцер

Название штуцера:	Выход теплоносителя (НО1)
Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b:	1626,2 мм
Угол β:	8,5308 °
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов штуцера:	
φ=	1

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

148



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<p>Шов обечайки в зоне врезки штуцера: φ= 1 Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D<sub>р</sub> = D =3000 мм Нагрузки, приложенные к патрубку, <b>не передаются</b> на соседние элементы аппарата</p> <p><b>Расчёт в рабочих условиях</b></p> <p><b>Условия нагружения:</b> Расчётная температура, Т: 100 °С Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0,070000МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b> 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<sup>5</sup> МПа</p> <p><b>Свойства материала штуцера</b> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]<sub>1</sub>= 177 МПа Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: E<sub>1</sub>=1,91·10<sup>5</sup> МПа Расчётная толщина стенки штуцера: <math display="block">s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,070000 \cdot (700 + 2 \cdot 4,8) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,070000) + 4,8 = 4,9403 \text{ мм}</math> Допускаемое давление для патрубка штуцера: <math display="block">[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 (24 - 4,8) / (700 + 24 + 4,8) = 9,326 \text{ МПа}</math> 9,326 МПа ≥ 0,070000 МПа Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D<sub>р</sub> = D =3000 мм Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера: s<sub>р</sub>= 0,59334 мм Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): d<sub>р</sub> = d + 2 · c<sub>s</sub> =700 + 2 · 4,8=709,6 мм Максимальный диаметр отверстия: <math display="block">d_{\max} = \begin{cases} D &amp; \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k &amp; \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D &amp; \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}</math> Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления: s<sub>pn</sub> = s<sub>р</sub> = 0,59334мм Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: <math display="block">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 ((16 - 4,8) / 0,59334 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4,8 \} = 3009,6 \text{ мм}</math> d<sub>р</sub> &lt; d<sub>0</sub>: <b>Условие прочности выполнено.</b></p>					
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					149
			Изм.	Лист	№ док.

90651-20600-AM-02-225 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>Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:</p> $A_a = 1_p \cdot \{s_1 - s_p - c_s\} \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot \{s_3 - c_s - c_{s1}\} \cdot \chi_3 + 1_p \cdot \{s - s_p - c\} \cdot \chi_4$ $= 145,9 \cdot (24 - 0,14034 - 4,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot (24 - 4,8 - 0) \cdot 1 + 183,3 \cdot (16 - 0,59334 - 4,8) \cdot 1$ $= 4725,1 \text{ мм}^2$ $A_r = 188,76 \text{ мм}^2 \leq 4725,1 \text{ мм}^2$ <p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b></p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> $P_{\text{гп}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_k} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 196 / 177 = 0,096893 \text{ МПа}$ <p><b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения при испытаниях:</b></p> <p>Расчётная температура, Т: 20 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,11532 МПа</p> <p><b>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 34233.3-2017</b></p> <p><b>Свойства материала элемента, несущего штуцер</b></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><b>Свойства материала штуцера</b></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> $s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} + c_s = 0,11532 \cdot (700 + 2 \cdot 4,8) / (2 \cdot 272,73 \cdot 1 - 0,11532) + 4,8 = 4,95 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 272,73 \cdot 1 \cdot (24 - 4,8) / (700 + 24 + 4,8) = 14,37 \text{ МПа}$ $14,37 \text{ МПа} \geq 0,11532 \text{ МПа}$ <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b></p> <p>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</p> $D_p = D = 3000 \text{ мм}$ <p>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</p> $s_p = 0,63437 \text{ мм}$ <p>Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):</p> $d_p = d + 2 \cdot c_s = 700 + 2 \cdot 4,8 = 709,6 \text{ мм}$ <p>Максимальный диаметр отверстия:</p> $d_{\text{max}} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 3000 \text{ мм}$ <p>Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления:</p> $s_{px} = s_p = 0,63437 \text{ мм}$							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист	
			90651-20600-AM-02-225 РР				151
			Изм.	Лист	№ док.		

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_{pn}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}; d_{max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((16-0.8) / 0.63437 - 0.8) \cdot (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2}; 3000 + 2 \cdot 4.8 \} = 3009.6 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$ : **Условие прочности выполнено.**

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2} = 213.54 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое левое):

$$L_k = 2426 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 213.54 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 200; 1.25 \cdot ((700+2 \cdot 4.8) \cdot (24-4.8))^{1/2} \} = 145.9 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 272.73 / 272.73 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((700+2 \cdot 4.8) \cdot (24-4.8-0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

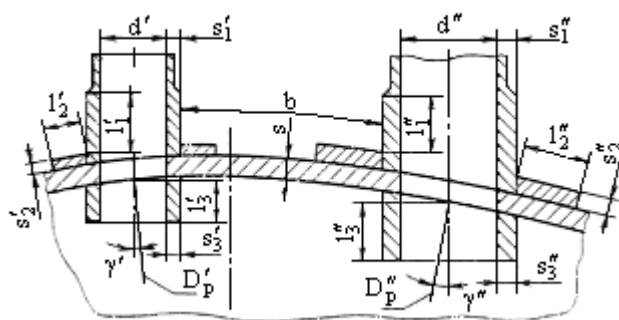
$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0.4 \cdot (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2} = 85.417 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (145.9 \cdot (24-4.8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot (24-4.8-0) \cdot 1) / (213.54 \cdot (16-0.8))] / [1 + 0.5 \cdot (709.6 - 85.417) / 213.54 + 1 \cdot (700+2 \cdot 4.8) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 145.9 / 213.54] \} = 0.71025$$

$$= 0.71025$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (16-0.8) \cdot 1 \cdot 272.73 \cdot 0.71025 / [3000 + (16-0.8) \cdot 0.71025] = 1.9558 \text{ МПа}$$



### Взаимное влияние отверстий

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Выход теплоносителя (НО1) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s-c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s-c)} = (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2} + (3000 \cdot (16-0.8))^{1/2} = 427.08 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

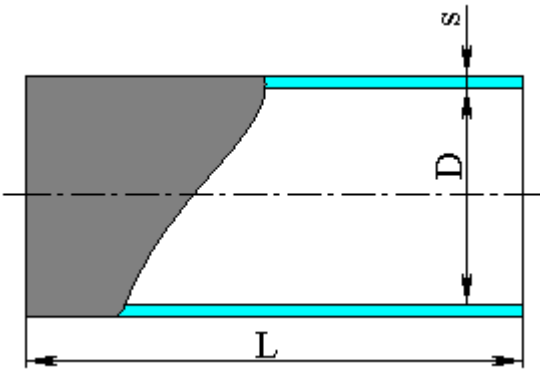
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						152
						Формат А4

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] = 1,9558 МПа 1,9558 МПа ≥ 0,11532 МПа Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> Площадь, необходимая для укрепления отверстия: <math>A_T = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (709,6 - 85,417) \cdot 0,63437 = 197,98 \text{ мм}^2</math> Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия: <math>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</math> <math>= 145,9 \cdot (24 - 0,15005 - 4,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (24 - 4,8 - 0) \cdot 1 + 213,54 \cdot (16 - 0,63437 - 0,8) \cdot 1</math> <math>= 5889,8 \text{ мм}^2</math> <math>A_r = 197,98 \text{ мм}^2 \leq 5889,8 \text{ мм}^2</math> Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p>											
					90651-20600-AM-02-225 РР					Лист	
										153	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							

Обечайка U1



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал: 09Г2С Лист  
 Внутр. диаметр,D: 700 мм  
 Толщина стенки, s: 14 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c<sub>1</sub>: 4,8 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска, c<sub>2</sub>:0 мм  
 Прибавка технологическая, c<sub>3</sub>: 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c: 4,8 мм  
 Длина обечайки, L: 1210 мм  
 Коэффициенты прочности сварных швов:  
 Продольный шов:  
 φ<sub>Р</sub> = 1  
 Окружной шов:  
 φ<sub>Т</sub> = 1

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 100 °С  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, р:0,070000 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, М: 105,06 Н·м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0 Н  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 5286,1 Н  
 Расчётный крутящий момент, М<sub>к</sub>: 0 Н·м

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

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<sup>5</sup> МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,070000 \cdot 700) / (2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,070000) + 4,8=4,9384 \text{ мм}$$

$$4,9384 \text{ мм} \leq 14 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						154



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: 
$$\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 5286,1/3,5871 \cdot 10^6 + 105,06/6,2941 \cdot 10^5 + (0/0)^2 = 0,0016406 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (700 + 14 - 4,8) \cdot (14 - 4,8) \cdot 177 \cdot 1 = 3,6281 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 700/4 \cdot 3,6281 \cdot 10^6 = 6,3492 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: 
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-5286,1 + 0,070000 \cdot 3,1416 \cdot 700^2/4) / 3,6281 \cdot 10^6 + 105,06/6,3492 \cdot 10^5 = 0,0061336 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 700 / 1210 \cdot (700 / (100 \cdot (14 - 4,8)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \text{ Е} \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{-2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 700 / (2,4 \cdot 1 \cdot 1210) \cdot (100 \cdot (14 - 4,8) / 700)^{2,5} = 1,8964 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 177 \cdot (14 - 4,8) / (700 + 14 - 4,8) = 4,5922 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 4,5922 / (1 + (4,5922 / 1,8964)^2)^{1/2} = 1,7528 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 1,7528 \text{ МПа}$

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{Е1}}} \right)^2}} = 3,6281 \cdot 10^6 / (1 + (3,6281 \cdot 10^6 / 2,3939 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 3,5871 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Взам. инв. №		$[p] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{Б}}}\right)^2}} = 4,5922 / (1 + (4,5922 / 1,8964)^2)^{1/2} = 1,7528 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое наружное давление: <math>[p] = 1,7528 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием</b></p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие:</p> $[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{Б1}}}\right)^2}} = 3,6281 \cdot 10^6 / (1 + (3,6281 \cdot 10^6 / 2,3939 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 3,5871 \cdot 10^6 \text{ Н}$					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							156



Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{yct}} = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6,3492 \cdot 10^5 / (1 + (6,3492 \cdot 10^5 / 4,7878 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 6,2941 \cdot 10^5 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{M_{\text{top}}, M_{\text{vrt}}\} = \min \{6,3492 \cdot 10^5, 6,2941 \cdot 10^5\} = 6,2941 \cdot 10^5 \text{ H} \cdot \text{m}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3,1416 \cdot 700 \cdot (14 - 4,8) \cdot 177 = 8,9526 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$l_s = 1210 \text{ mm}$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \frac{D(s-c)}{12^2} \right] = 2.4 \cdot 1,91 \cdot 10^6 \cdot (14-4,8)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 700 \cdot (14-4,8) / 1210^2) = 3,1446 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 8,9526 \cdot 10^5 / (1 + (8,9526 \cdot 10^5 / 3,1446 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 8,6104 \cdot 10^5 \text{ H}$$

## Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{тп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 196 / 177 = 0.096893 \text{ МПа}$$

### Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p:	0,11279 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	114,51 Н·м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0 Н
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	9968,7 Н
Расчётный крутящий момент, M <sub>к</sub> :	0 Н·м

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

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 для материала 09Г2С Лист при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E^{20}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_n - p} + c = (0,11279 \cdot 700) / (2 \cdot 272,73 \cdot 1 - 0,11279) + 0 = 0,14478 \text{ mm}$$

$$0,14478 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272,73 \cdot 1 \cdot (14 - 0) / (700 + 14 - 0) = 10,695 \text{ МПа}$$

$$10,695 \text{ МПа} \geq 0,11279 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №	модуль продольной упругости для материала 091 2С лист при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$ . $E^{20}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$				
	<b>Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением</b>				
Подп. и дата	Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:				
	$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,11279 \cdot 700) / (2 \cdot 272,73 \cdot 1 - 0,11279) + 0=0,14478 \text{ мм}$				
Инв. № подл.	$0,14478 \text{ мм} \leq 14 \text{ мм}$				
	Заключение: <b>Условие работоспособности выполнено.</b>				
	Допускаемое давление:				
	$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272,73 \cdot 1 \cdot (14 - 0) / (700 + 14 - 0)=10,695 \text{ МПа}$				
	$10,695 \text{ МПа} \geq 0,11279 \text{ МПа}$				
	Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>				
					Лист
90651-20600-AM-02-225 PP					
					157
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (700 \cdot (14 - 0))^{1/2} = 197,99 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 1210 \text{ мм}$$

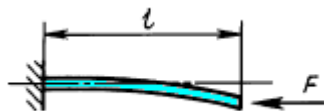
### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 \cdot (700 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 272,73 = 8,5646 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 700^2 / (1,8) \cdot (100 \cdot (14 - 0) / 700)^{2,5} = 9,4998 \cdot 10^7 \text{ Н}$$



Определение приведенной длины

Приведённая длина:  $l_{пр} = 2420 \text{ мм}$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{пр}}{D + s - c} = 2,83 \cdot 2420 / (700 + 14 - 0) = 9,5919$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,1416 \cdot (700 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 1,99 \cdot 10^5 / (1,8) \cdot (\pi / 9,5919)^2 = 3,7243 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 9,4998 \cdot 10^7, 3,7243 \cdot 10^8 \} = 9,4998 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 8,5646 \cdot 10^6 / (1 + (8,5646 \cdot 10^6 / 9,4998 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 8,53 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$8,53 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 9968,7 \text{ Н}$$

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

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 700 / 4 \cdot 8,5646 \cdot 10^6 = 1,4988 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 700 / 3,5 \cdot 9,4998 \cdot 10^7 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ Н·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 1,4988 \cdot 10^6 / (1 + (1,4988 \cdot 10^6 / 1,9 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$$

$$1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н·м} \geq 114,51 \text{ Н·м}$$

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.

Взам. инв. №		Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:				
		$[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 700 / 3.5 \cdot 9,4998 \cdot 10^7 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
Подп. и дата		Допускаемый изгибающий момент:				
		$[M] = \frac{[M]_{\text{П}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{П}}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,4988 \cdot 10^6 / (1 + (1,4988 \cdot 10^6 / 1,9 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$				
Инв. № подл.		1,4942 · 10 <sup>6</sup> Н·м ≥ 114,51 Н·м				
		Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b>				
<b>Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок</b>						
Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.						
					90651-20600-AM-02-225 РР	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист	
					158	

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 9968,7/8,53 \cdot 10^6 + 114,51/1,4942 \cdot 10^6 + (0/0)^2 = 0,0012453 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,1416 \cdot (700 + 14 - 0) \cdot (14 - 0) \cdot 272,73 \cdot 1 = 8,5646 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 700/4 \cdot 8,5646 \cdot 10^6 = 1,4988 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (-9968,7 + 0,11279 \cdot 3,1416 \cdot 700^2/4) / 8,5646 \cdot 10^6 + 114,51 / 1,4988 \cdot 10^6 = 0,0039807 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0; 9,45 \cdot 700 / 1210 \cdot (700 / (100 \cdot (14 - 0)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 700 / (1,8 \cdot 1 \cdot 1210) \cdot (100 \cdot (14 - 0) / 700)^{2,5} = 7,5254 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 272,73 \cdot (14 - 0) / (700 + 14 - 0) = 10,695 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_e} \right)^2}} = 10,695 / (1 + (10,695 / 7,5254)^2)^{1/2} = 6,1546 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:  $[p] = 6,1546 \text{ МПа}$

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 8,5646 \cdot 10^6 / (1 + (8,5646 \cdot 10^6 / 9,4998 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 8,53 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{\text{уст}} = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{ел}}} \right)^2}} = 1,4988 \cdot 10^6 / (1 + (1,4988 \cdot 10^6 / 1,9 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}}, [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 1,4988 \cdot 10^6, 1,4942 \cdot 10^6 \} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Взам. инв. №	<p><b>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием</b></p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие:</p> $[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{E1}}\right)^2}} = 8,5646 \cdot 10^6 / (1 + (8,5646 \cdot 10^6 / 9,4998 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 8,53 \cdot 10^6 \text{ Н}$						
	Подп. и дата	<p>Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:</p> $[M]_{уст} = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{E}}\right)^2}} = 1,4988 \cdot 10^6 / (1 + (1,4988 \cdot 10^6 / 1,9 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$					
		<p>Допускаемый изгибающий момент:</p> $[M] = \min \{ [M]_{гр}, [M]_{уст} \} = \min \{ 1,4988 \cdot 10^6, 1,4942 \cdot 10^6 \} = 1,4942 \cdot 10^6 \text{ Н·м}$					
Инв. № подл.						<div>90651-20600-AM-02-225 PP</div>	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			159

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3,1416 \cdot 700 \cdot (14 - 0) \cdot 272,73 = 2,0992 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 1210 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{\text{E}} = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \frac{D(s - c)}{l_s^2} \right] = 2.4 \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot (14 - 0)^2 / 1,8 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 700 \cdot (14 - 0) / 1210^2) = 1,051 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2,0992 \cdot 10^6 / (1 + (2,0992 \cdot 10^6 / 1,051 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,0585 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

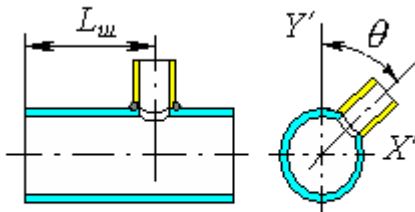
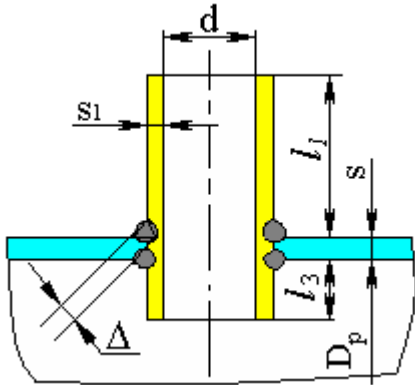
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист	
						160	

Воздушник (V1), Пропарка (U2)

Расчет представлен для штуцера V1.

Исходные данные

Элемент:	Воздушник (V1)
Условное обозначение (метка)	V1
Элемент, несущий штуцер:	Обечайка МН1
Тип элемента, несущего штуцер:	Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Эскиз элемента

Материал несущего элемента:	09Г2С Лист
Толщина стенки несущего элемента, s:	14мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	4,8 мм
Материал штуцера:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр штуцера, d:	78 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	12 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	4 мм
Длина штуцера, l1:	245 мм
Смещение штуцера, Lш:	1000 мм
Угол поворота штуцера, θ:	90 °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	12 мм
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов штуцера:	φ= 1

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

φ= 1

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 800 \text{ мм}$

Нагрузки, приложенные к патрубку, **не передаются** на соседние элементы аппарата

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 100 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,070000 МПа

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	
Изм.	Лист
№ док.	Подп.
Дата	Дата
90651-20600-AM-02-225 РР	
Лист	
161	



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

### 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:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((78 + 2 \cdot 4) \cdot (12 - 4 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (800 \cdot (14 - 4,8))^{1/2} = 34,316 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (32,787 \cdot (12 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,90395) / (85,79 \cdot (14 - 4,8))] / [1 + 0,5 \cdot (86 - 34,316) / 85,79 + 1 \cdot (78 + 2 \cdot 4) / 800 \cdot 1 / 1 \cdot 32,787 / 85,79] \} = 0,96879$$

$$= 0,96879$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (14 - 4,8) \cdot 1 \cdot 177 \cdot 0,96879 / [800 + (14 - 4,8) \cdot 0,96879] = 3,9005 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = 3,9005 \text{ МПа}$

$$3,9005 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (86 - 34,316) \cdot 0,15822 = 4,0888 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 32,787 \cdot (12 - 0,018817 - 4) \cdot 0,90395 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,90395 + 85,79 \cdot (14 - 0,15822 - 4,8) \cdot 1$$

$$= 1012,2 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 4,0888 \text{ мм}^2 \leq 1012,2 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_h} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 183 / 160 = 0,10008 \text{ МПа}$$

### Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

#### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,10337 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):

$$[\sigma]^{20} = \frac{R_{e/20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]^{20}_1 = \frac{R_{e/20}}{n_T} = 280 / 1,1 = 254,55 \text{ МПа}$$

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

163

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
Модуль продольной упругости при температуре 20 °С: E <sub>1</sub> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_p + c_s = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} + c_s = 0,10337 \cdot (78 + 2 \cdot 4) / (2 \cdot 254,55 \cdot 1 - 0,10337) + 4 = 4,0175 \text{ мм}$ Допускаемое давление для патрубка штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254,55 \cdot 1 \cdot (12 - 4) / (78 + 12 + 4) = 43,327 \text{ МПа}$ 43,327 МПа ≥ 0,10337 МПа Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено.</b> Расчётный диаметр цилиндрической обечайки: D <sub>p</sub> = D = 800 мм Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера: s <sub>p</sub> = 0,15163 мм Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): d <sub>p</sub> = d + 2 · c <sub>s</sub> = 78 + 2 · 4 = 86 мм Максимальный диаметр отверстия: $d_{\max} = \begin{cases} D & \text{— для отверстий в цилиндрических обечайках} \\ D_k & \text{— для отверстий в конических обечайках} \\ 0,6 \cdot D & \text{— для отверстий в выпуклых днищах} \end{cases} = 800 \text{ мм}$ Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища для определения диаметра отверстия, не требую- щего дополнительного укрепления: s <sub>pn</sub> = s <sub>p</sub> = 0,15163 мм Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда: $d_0 = \min \left\{ 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_{pn}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}; d_{\max} + 2 \cdot c_s \right\} = \min \{ 2 \cdot ((14 - 0) / 0,15163 - 0,8) \cdot (800 \cdot (14 - 0))^{1/2}; 800 + 2 \cdot 4 \} = 808 \text{ мм}$ d <sub>p</sub> < d <sub>0</sub> : <b>Условие прочности выполнено.</b> Ширина зоны укрепления: L <sub>0</sub> = √(D <sub>p</sub> · (s - c)) = (800 · (14 - 0)) <sup>1/2</sup> = 105,83 мм Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Крышка плоская МН1): L <sub>k</sub> = 206 мм Расчётная ширина зоны укрепления: l <sub>p</sub> = L <sub>0</sub> = 105,83 мм Расчётная длина внешней части штуцера: $l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 245; 1,25 \cdot ((78 + 2 \cdot 4) \cdot (12 - 4))^{1/2} \} = 32,787 \text{ мм}$ <b>Отношения допускаемых напряжений</b> 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: $l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((78 + 2 \cdot 4) \cdot (12 - 4 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$ Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления: d <sub>0p</sub> = 0,4 · √(D <sub>p</sub> · (s - c)) = 0,4 · (800 · (14 - 0)) <sup>1/2</sup> = 42,332 мм								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				90651-20600-AM-02-225 РР		
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
							Лист	
							164	

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

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4



$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{оп}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (32,787 \cdot (12 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,93333) / (105,83 \cdot (14 - 0))] / [1 + 0.5 \cdot (86 - 42,332) / 105,83 + 1 \cdot (78 + 2 \cdot 4) / 800 \cdot 1 / 1 \cdot 32,787 / 105,83] = 0,93999\}$$

$$= 0,93999$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (14 - 0) \cdot 1 \cdot 272,73 \cdot 0,93999 / [800 + (14 - 0) \cdot 0,93999] = 8,8275 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = 8,8275 \text{ МПа}$

$$8,8275 \text{ МПа} \geq 0,10337 \text{ МПа}$$

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

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{оп}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (86 - 42,332) \cdot 0,15163 = 3,3107 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления одиночного отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \cdot \chi_4$$

$$= 32,787 \cdot (12 - 0,017465 - 4) \cdot 0,93333 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 4 - 0) \cdot 0,93333 + 105,83 \cdot (14 - 0,15163 - 0) \cdot 1$$

$$= 1709,9 \text{ мм}^2$$

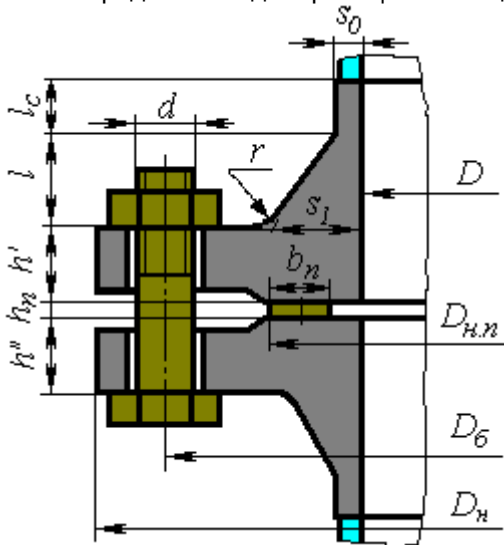
$$A_r = 3,3107 \text{ мм}^2 \leq 1709,9 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.						Подп. и дата		Взам. инв. №	
					90651-20600-AM-02-225 PP				Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					165

Фланцевое соединение Н11, НО1

Расчет представлен для фланцевого соединения Н11.

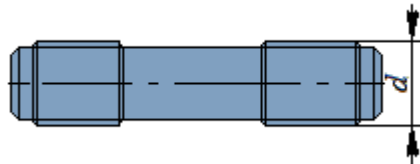


Эскиз элемента

Исходные данные

Тип фланцев: Приварные встык  
Исполнение: Плоские  
Диаметр болтовой окружности, D<sub>б</sub>: 85 мм

Шпильки:



Крепеж

Материал: 35 Крепеж  
Наружный диаметр, d: 12мм  
Количество, n: 4  
Контроль затяжки: Без контроля затяжки

Прокладка:

Материал прокладки: Прокладка ТРГ универсальная  
Толщина, h<sub>п</sub>: 2 мм  
Наружный диаметр, D<sub>н.п</sub>: 69 мм  
Ширина, b<sub>п</sub>: 20 мм

Данные первого фланца (кольца):

Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП  
245 ГОСТ 8479  
Поковка  
Наружный диаметр фланца (кольца), D<sub>н</sub>: 115 мм  
Толщина фланца (кольца) плоского или с выступом, h: 16 мм  
Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 25 мм  
Сумма прибавок, с: 2 мм  
Длина конической части втулки, l: 16 мм  
Длина цилиндрической части втулки, l<sub>с</sub>: 6 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, s<sub>0</sub>: 4 мм  
Толщина конической части втулки, s<sub>1</sub>: 10 мм

Взам. инв. №		Наружный диаметр, D <sub>н.п.</sub> : 69 мм						
		Ширина, b <sub>п</sub> : 20 мм						
Подп. и дата		Данные первого фланца (кольца):						
		Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка						
Инв. № подл.		Наружный диаметр фланца (кольца), D <sub>н</sub> : 115 мм						
		Толщина фланца (кольца) плоского или с выступом, h: 16 мм						
		Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 25 мм						
		Сумма прибавок, с: 2 мм						
		Длина конической части втулки, l: 16 мм						
		Длина цилиндрической части втулки, l <sub>с</sub> : 6 мм						
		Толщина цилиндрической части втулки, s <sub>0</sub> : 4 мм						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист		
							Толщина конической части втулки, s <sub>1</sub> : 10 мм	
166								

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<div>Радиус перехода, r:5 мм</div> <div>Данные второго фланца (кольца):09Г2С Gr.КП245 ГОСТ 8479Поковка</div> <div>Материал фланца (кольца):115 мм16 мм25 мм2 мм16 мм6 мм4 мм10 мм5 мм</div> <div>Наружный диаметр фланца (кольца), Dн:</div> <div>Толщина фланца (кольца) плоского или с выступом, h:</div> <div>Внутренний диаметр фланца (кольца), D:</div> <div>Сумма прибавок, с:</div> <div>Длина конической части втулки, l:</div> <div>Длина цилиндрической части втулки, lс:</div> <div>Толщина цилиндрической части втулки, s0:</div> <div>Толщина конической части втулки, s1:</div> <div>Радиус перехода, r:</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:0,070000 МПа</div> <div>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</div> <div>Расчётная температура элементов соединения:</div> <div>Температура фланца (кольца), tф:325 °С</div> <div>Температура фланца (кольца), tф:325 °С</div> <div>Температура болтов (шпилек), tб:315,25 °С</div> <div>Свойства материала болтов (шпилек)</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 315,25 °С (рабочие условия):[σ]б= 93,5 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 315,25 °С:Еб=1,8924·10<sup>5</sup> МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 315,25 °С:αб=0,12764·10<sup>-4</sup>/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):[σ]<sup>20б</sup>= 130 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:Е<sup>20б</sup>=2,13·10<sup>5</sup> МПа</div> <div>Свойства материала фланца (кольца) 1</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 325 °С (рабочие условия):[σ]ф1= 115,5 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 325 °С:Е1=1,675·10<sup>5</sup> МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 325 °С:α1=0,13225·10<sup>-4</sup>/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):[σ]<sup>20ф1</sup>= 164,5 МПа</div>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист	
			90651-20600-AM-02-225 РР				167
			Изм.	Лист	№ док.		

90651-20600-AM-02-225 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

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_1=1,99 \cdot 10^5$  МПа

**Свойства материала фланца (кольца)2**

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 325 °С (рабочие условия):  
 $[\sigma]_{\phi 2}=115,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 325 °С:  
 $E_2=1,675 \cdot 10^5$  МПа

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 325 °С:  
 $\alpha_2=0,13225 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):  
 $[\sigma]^{20}_{\phi 2}=164,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_2=1,99 \cdot 10^5$  МПа

**Расчётные параметры болтов (шпилек):**

Рабочая длина болта (шпильки):  
 $L_{\epsilon 0}=h^I+h^{II}+h_{\pi}+h_{\text{ш}}^I+h_{\text{ш}}^{II}=16+16+2+0+0=34$  мм

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):  
 $f_6=76,2$  мм<sup>2</sup>

Эффективная длина шпильки:  
 $L_{\epsilon}=L_{\epsilon 0}+0,56 \cdot d=34+0,56 \cdot 12=40,72$  мм

Податливость шпилек:  
 $y_{\epsilon}=\frac{L_{\epsilon}}{E_{\epsilon}^{20} \cdot f_{\epsilon} \cdot n}=40,72 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 76,2 \cdot 4)=0,62721 \cdot 10^{-6}$  мм/Н

**Расчётные параметры первого фланца:**

$\beta=\frac{s_1}{s_0}=10/4=2,5$

$x=\frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}}=16 / (25 \cdot 4)^{1/2}=1,6$

$\kappa=1+(\beta-1) \cdot \frac{x}{x+\frac{1+\beta}{4}}=1+(2,5-1) \cdot 1,6 / (1,6+(1+2,5) / 4)=1,9697$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:  
 $s_3=\kappa \cdot s_0=1,9697 \cdot 4=7,8788$  мм

$l_0=\sqrt{D \cdot s_0}=(25 \cdot 4)^{1/2}=10$  мм

$\beta_F=0,64595$

$K=\frac{D_{\text{н}}}{D}=115 / 25=4,6$

$\beta_T=\frac{K^2 \cdot (1+8,55 \cdot \lg K)-1}{(1,05+1,945 \cdot K^2) \cdot (K-1)}=(4,6^2 \cdot (1+8,55 \cdot \lg 4,6)-1) / ((1,05+1,945 \cdot 4,6^2) \cdot (4,6-1))=0,92183$

$\beta_V=0,081520$

$\beta_U=\frac{K^2(1+8,55 \cdot \lg K)-1}{1,36 \cdot (K^2-1) \cdot (K-1)}=(4,6^2 \cdot (1+8,55 \cdot \lg 4,6)-1) / (1,36 \cdot (4,6^2-1) \cdot (4,6-1))=1,419$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист  
168

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

<div> <div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div> <div>НЕФТЕХИМПРОЕКТ</div> <div>NEFTECHIMPROEKT</div> </div> </div>		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
		$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,64595 \cdot 16 + 10) / (0,92183 \cdot 10) + 0,081520 \cdot 16^3 / (1,419 \cdot 10 \cdot 4^2) = 3,6766$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0,91 \cdot 0,081520 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 3,6766 \cdot 4^2 \cdot 10) = 0,36308 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 85 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 115 \cdot 16^3) = 0,25171 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D<sub>6</sub> – D<sub>сп</sub>) = 0.5 · (85 – 51,22) = 16,89 мм</p> <p>e = 0.5 · (D<sub>сп</sub> – D – s<sub>3</sub>) = 0.5 · (51,22 – 25 – 7,8788) = 9,1704мм</p> <p><b>Расчётные параметры второго фланца:</b></p> $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 10/4 = 2,5$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 16/(25 \cdot 4)^{1/2} = 1,6$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,5 - 1) \cdot 1,6 / (1,6 + (1 + 2,5) / 4) = 1,9697$ <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p>s<sub>3</sub> = κ · s<sub>0</sub> = 1,9697 · 4 = 7,8788мм</p> <p>1<sub>0</sub> = √(D · s<sub>0</sub>) = (25 · 4)<sup>1/2</sup> = 10 мм</p> <p>β<sub>F</sub> = 0,64595</p> $K = \frac{D_H}{D} = 115 / 25 = 4,6$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (4,6^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 4,6) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 4,6^2) \cdot (4,6 - 1)) = 0,92183$ <p>β<sub>V</sub> = 0,081520</p> $\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (4,6^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 4,6) - 1) / (1,36 \cdot (4,6^2 - 1) \cdot (4,6 - 1)) = 1,419$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,64595 \cdot 16 + 10) / (0,92183 \cdot 10) + 0,081520 \cdot 16^3 / (1,419 \cdot 10 \cdot 4^2) = 3,6766$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0,91 \cdot 0,081520 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 3,6766 \cdot 4^2 \cdot 10) = 0,36308 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 85 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 115 \cdot 16^3) = 0,25171 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D<sub>6</sub> – D<sub>сп</sub>) = 0.5 · (85 – 51,22) = 16,89 мм</p> <p>e = 0.5 · (D<sub>сп</sub> – D – s<sub>3</sub>) = 0.5 · (51,22 – 25 – 7,8788) = 9,1704мм</p> <p>Характеристики прокладки</p>			
		<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> <div>90651-20600-AM-02-225 РР</div> <div>Лист</div> <div>169</div> </div>

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

Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E <sub>n</sub> , МПа
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000

Эффективная ширина прокладки :  
b<sub>0</sub>=16,78 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:

$$D_{\text{ТРГ}} = \min \{ D_2', D_2'', D_{\text{НП}} \} = \min \{ 68; 68; 69 \} = 68 \text{ мм}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:

$$D_{\text{ст}} = D_{\text{ТРГ}} - b_0 = 68 - 16,78 = 51,22 \text{ мм}$$

Податливость прокладки (п. 3.3):

$$y_{\text{п}} = \frac{b_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{ТРГ}}} = 2 \cdot 1 / (2000 \cdot 3,1416 \cdot 51,22 \cdot 19,5) = 0,3187 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

**Расчёт нагрузок:**

Равнодействующая давления:

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 51,22^2 \cdot 0,070000 = 144,16 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 51,22 \cdot 16,78 \cdot 3 \cdot |0,070000| = 567,03 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 51,22 \cdot 16,78 \cdot 20 = 27001 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)**

$$\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^2 + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^2 = 0,3187 \cdot 10^{-6} + 0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 = 0,13075 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$$
  
$$= 1 - (0,3187 \cdot 10^{-6} - (0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 9,1704 \cdot 16,89 + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 9,1704 \cdot 16,89)) / 0,13075 \cdot 10^{-5}$$
  
$$= 0,90639$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}' \cdot b' \cdot \left( b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y_{\text{фМ}}'' \cdot b'' \cdot \left( b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left( \frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}' \cdot b'^2 + y_{\text{фМ}}'' \cdot b''^2}$$
  
$$= [0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89 \cdot (16,89 + 9,1704 - 9,1704^2 / 51,22) + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89 \cdot (16,89 + 9,1704 - 9,1704^2 / 51,22)] / [0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,3187 \cdot 10^{-6} \cdot (85 / 51,22)^2 + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2]$$
  
$$= 0,56369$$

$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0,90639 \cdot (144,16 + 0) + 567,03 + 4 \cdot 0,56369 \cdot |0| / 51,22 = 697,7 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)**

$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0,90639 \cdot (144,16 + 0) + 567,03 + 4 \cdot 0,56369 \cdot |0| / 51,22 = 697,7 \text{ Н}$$

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						170

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> $A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 4 \cdot 76,2 = 304,8 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 27001; 0,4 \cdot 304,8 \cdot 130 = 15850 \} = 27001 \text{ Н}$ <p><b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b></p> <p><b>Расчёт болтов(шпилек):</b></p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: <math>\xi = 1,2</math></p> <p>Коэффициент условий работы: <math>K_{\text{ур}} = 1</math></p> <p>Коэффициент условий затяжки: <math>K_{\text{уз}} = 1</math></p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: <math>K_{\text{ут}} = 1</math></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:</p> $[\sigma]_{\text{б}}^{\text{т}} = \xi \cdot K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки:</p> $P_{\text{б}}^{\text{т}} = \max \{ P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}} \} = \max \{ 697,7; 27001 \} = 27001 \text{ Н}$ <p>Условие прочности при затяжке:</p> $\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{т}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{б}}^{\text{т}}$ $\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{т}}}{A_{\text{б}}} = 27001 / 304,8 = 88,588 \text{ МПа}$ <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> $M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_{\text{б}}^{\text{т}} \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 27001 \cdot 12 / 4 = 24,301 \text{ Н} \cdot \text{м}$ <p>При наличии смазки величина <math>M_{\text{кр}}</math> снижается на 25% и составляет <math>0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 18,226 \text{ Н} \cdot \text{м}</math></p> <p><math>88,588 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> $[\sigma]_{\text{б}}^{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\text{б}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 93,5 = 93,5 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{\text{б}}^{\text{р}} = P_{\text{б}}^{\text{т}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{т}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 27001 + (1 - 0,90639) \cdot (144,16 + 0) + 4 \cdot (1 - 0,56369) \cdot  0  / 51,22 = 27015 \text{ Н}$ <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> $\sigma_{\text{б2}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{р}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{б}}^{\text{р}}$ $\sigma_{\text{б2}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{р}}}{A_{\text{б}}} = 27015 / 304,8 = 88,632 \text{ МПа}$ <p><math>88,632 \text{ МПа} \leq 93,5 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчёт прокладки:</b></p> <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{\text{б}}^{\text{р}} = P_{\text{б}}^{\text{т}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{т}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 27001 + (1 - 0,90639) \cdot (144,16 + 0) + 4 \cdot (1 - 0,56369) \cdot  0  / 51,22 = 27015 \text{ Н}$ <p>Условие прочности мягких прокладок:</p> $q = \frac{\max \{ P_{\text{б}}^{\text{т}}; P_{\text{б}}^{\text{р}} \}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} \leq [q]$ $q = \frac{\max \{ P_{\text{б}}^{\text{т}}; P_{\text{б}}^{\text{р}} \}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} = \max \{ 27001; 27015 \} / (3,1416 \cdot 51,22 \cdot 19,5) = 8,6096 \text{ МПа}$					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					171
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

$[q] = 70 \text{ МПа}$

**Условие работоспособности выполнено.**

### Расчёт первого фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n} \cdot \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}{2 \cdot d}} \right\} = \max \{1; (3,1416 \cdot 85 / 4 / (2 \cdot 12 + 6 \cdot 16 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1,1393$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1,1393 \cdot 27001 \cdot 16,89 = 519,61 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{0,16827 / (1 + 1,5); 1,0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 25 + 0 + 10 \text{ при } 25 < 20 \cdot (10 - 0) \text{ и } f = 1 = 35 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 519,61 / (3,6766 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 35) = 63,092 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 519,61 = 52,437 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (4,6 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 4,6^2 \cdot \lg 4,6 / (4,6^2 - 1)) = 1,2969$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (4,6^2 + 1) / (4,6^2 - 1) = 1,0992$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1,2969 \cdot 519,61 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,437 = 47,659 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ 63,092 + 52,437; |63,092 + 47,659| \} = 115,53 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 164,5 = 246,75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 115 / 25 = 4,6$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}$$

$115,53 \text{ МПа} \leq 296,1 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = 1,1393 \cdot \max \{ 27015 \cdot 16,89 + (144,16 + 0) \cdot 9,1704; |144,16 + 0| \cdot 9,1704 \} = 521,37 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

Взам. инв. №		$K = \frac{D_K}{D} = 115 / 25 = 4,6$					
		Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1,2$					
Подп. и дата		$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}$					
		$115,53 \text{ МПа} \leq 296,1 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Инв. № подл.		Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:					
		$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{ф}}} = 0 + 4 \cdot  0  / 51,22 = 0 \text{ Н}$					
		$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{ф}}} = 0 - 4 \cdot  0  / 51,22 = 0 \text{ Н}$					
		Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:					
		$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e;  Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}  \cdot e \} = 1,1393 \cdot \max \{ 27015 \cdot 16,89 + (144,16 + 0) \cdot 9,1704;  144,16 + 0  \cdot 9,1704 \} = 521,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$					
		Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $s_1$ :					
						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							172
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			



$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 521,37 / (3,6766 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 35) = 63,307 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 521,37 = 52,615 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1,2969 \cdot 521,37 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,615 = 47,821 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3,1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 2)) = 0,039043 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |63,307 - 0,039043 + 52,615|; |63,307 - 0,039043 + 47,821|; |63,307 + 0,039043| \} = 115,88 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 115,5 = 173,25 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 173,25 = 207,9 \text{ МПа}$$

115,88 МПа ≤ 207,9 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3,1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 2)) = 0,039043 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |63,307 - 0,039043 + 52,615|; |63,307 - 0,039043 + 47,821|; |63,307 + 0,039043| \} = 115,88 \text{ МПа}$$

115,88 МПа ≤ 207,9 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 63,092 = 63,092 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

63,092 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 63,307 = 63,307 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 2)) = 0,18848 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 25 / (2 \cdot (4 - 2)) = 0,4375 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

Взам. инв. №		$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$ $63,092 \text{ МПа} \leq 641,55 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $s_0$ : $\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 63,307 = 63,307 \text{ МПа}$					
		Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $S_0$ (+): $\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 2)) = 0,18848 \text{ МПа}$ Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении $s_0$ : $\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 25 / (2 \cdot (4 - 2)) = 0,4375 \text{ МПа}$ Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении $s_0$ :					
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							173

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div><math display="block">\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</math><math display="block">\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\{63,307 \pm 0,18848;  0.3 * 63,307 \pm 0,4375 ;  0.7 * 63,307 \pm (0,18848 - 0,4375) \}</math>63,495 МПа Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): <math>[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 * 115,5 = 346,5</math> МПа <math>1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 * 346,5 = 450,45</math> МПа 63,495 МПа ≤ 450,45 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_0</math> (–): <math display="block">\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 * 25^2 * 0,070000 + 0 - 4 * 0 / (25 + 4)) / (3,1416 * (25 + 4) * (4 - 2)) = 0,18848</math> МПа <math display="block">\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</math><math display="block">\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\{63,307 \pm 0,18848;  0.3 * 63,307 \pm 0,4375 ;  0.7 * 63,307 \pm (0,18848 - 0,4375) \}</math>63,495 МПа 63,495 МПа ≤ 450,45 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> <b>Расчет в сечении <math>s_0</math> в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</b> Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении <math>s_0</math>: <math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} = \max\{ 0,4375 ;  0,18848 \} = 0,4375</math> МПа 0,4375 МПа ≤ 115,5 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности при затяжке для тарелок: <math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{ 52,437 ;  47,659 \} = 52,437</math> МПа <math>K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 164,5 = 164,5</math> МПа 52,437 МПа ≤ 164,5 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: <math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max\{ 52,615 ;  47,821 \} = 52,615</math> МПа <math>K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 * 115,5 = 115,5</math> МПа 52,615 МПа ≤ 115,5 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> <b>Жёсткость фланца:</b> Угол поворота фланца в рабочих условиях: <math display="block">\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 521,37 * 0,36308 \cdot 10^{-4} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,675 \cdot 10^5 = 0,022490^{\circ}</math> Допускаемый угол поворота фланца: <math>[\varpi] = 0,34377^{\circ}</math> Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: <math>K_{\varpi} = 1</math> Условие выполнения жесткости фланцев: <math>\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 * 0,34377 = 0,34377^{\circ}</math> <b>Условие жёсткости выполнено.</b></div>				
Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
				Лист
				174

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right\} = \max \{ 1; (3,1416 \cdot 85 / 4 / (2 \cdot 12 + 6 \cdot 16 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1,1393$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1,1393 \cdot 27001 \cdot 16,89 = 519,61 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{ 0,16827 / (1 + 1,5); 1,0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 25 + 0 + 10 \text{ при } 25 < 20 \cdot (10 - 0) \text{ и } f = 1 = 35 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 519,61 / (3,6766 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 35) = 63,092 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1,0} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 519,61 = 52,437 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (4,6 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 4,6^2 \cdot \lg 4,6 / (4,6^2 - 1)) = 1,2969$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (4,6^2 + 1) / (4,6^2 - 1) = 1,0992$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1,2969 \cdot 519,61 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,437 = 47,659 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ 63,092 + 52,437; |63,092 + 47,659| \} = 115,53 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 164,5 = 246,75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 115 / 25 = 4,6$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}$$

115,53 МПа  $\leq$  296,1 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = 1,1393 \cdot \max \{ 27015 \cdot 16,89 + (144,16 + 0) \cdot 9,1704; |144,16 + 0| \cdot 9,1704 \} = 521,37 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 521,37 / (3,6766 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 35) = 63,307 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}$
						$115,53 \text{ МПа} \leq 296,1 \text{ МПа}, \text{Условие прочности выполнено.}$
Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:						
$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{от}}} = 0 + 4 \cdot  0  / 51,22 = 0 \text{ Н}$						
$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{от}}} = 0 - 4 \cdot  0  / 51,22 = 0 \text{ Н}$						
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:						
$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_F^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e;  Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}  \cdot e \right\} = 1,1393 \cdot \max \{ 27015 \cdot 16,89 + (144,16 + 0) \cdot 9,1704;  144,16 + 0  \cdot 9,1704 \} = 521,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s1:						
$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 521,37 / (3,6766 \cdot (10 - 2)^2 \cdot 35) = 63,307 \text{ МПа}$						
						90651-20600-AM-02-225 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Лист
						175

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.64595 \cdot 16 + 10) / (3.6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 521.37 = 52.615 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.2969 \cdot 521.37 / (16^2 \cdot 25) - 1.0992 \cdot 52.615 = 47.821 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3.1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 2)) = 0.039043 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |63.307 - 0.039043 + 52.615|; |63.307 - 0.039043 + 47.821|; |63.307 + 0.039043| \} = 115.88 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1.5 \cdot 115.5 = 173.25 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 \cdot 1 \cdot 173.25 = 207.9 \text{ МПа}$$

115,88 МПа ≤ 207,9 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3.1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 2)) = 0.039043 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |63.307 - 0.039043 + 52.615|; |63.307 - 0.039043 + 47.821|; |63.307 + 0.039043| \} = 115.88 \text{ МПа}$$

115,88 МПа ≤ 207,9 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 63.092 = 63.092 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 164.5 = 493.5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493.5 = 641.55 \text{ МПа}$$

63,092 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 63.307 = 63.307 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3.1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 2)) = 0.18848 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 25 / (2 \cdot (4 - 2)) = 0.4375 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
						176
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				
<div>03,092 МПа ≤ 641,35 МПа, <b>условие прочности выполнено.</b></div> <div>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>s_0</math>: <math>\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 63,307 = 63,307</math> МПа</div> <div>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_0</math> (+): <math display="block">\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 25^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 2)) = 0,18848</math> МПа</div> <div>Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении <math>s_0</math>: <math display="block">\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 25 / (2 \cdot (4 - 2)) = 0,4375</math> МПа</div> <div>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении <math>s_0</math>: <math display="block">\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</math></div>						

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 63,307 \pm 0,18848; |0.3 * 63,307 \pm 0,4375|; |0.7 * 63,307 \pm (0,18848 - 0,4375)| \}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 115,5 = 346,5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_p = 1.3 \cdot 346,5 = 450,45 \text{ МПа}$$

$$63,495 \text{ МПа} \leq 450,45 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (–):

$$\sigma_{0mm}^p = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3.1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 2)) = 0,18848 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^P \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^P - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 63,307 \pm 0,18848; |0.3 * 63,307 \pm 0,4375|; |0.7 * 63,307 \pm (0,18848 - 0,4375)| \}$$

$$63,495 \text{ МПа} \leq 450,45 \text{ МПа. Условие прочности выполнено.}$$

**Расчет в сечении  $s_0$  в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):**

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^p \right|, \left| \sigma_{0mm}^p \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^p \right|, \left| \sigma_{0mx}^p \right| \right\} = \max \{0,4375; |0,18848|\} = 0,4375 \text{ МПа}$$

$$0.4375 \text{ МПа} \leq 115.5 \text{ МПа. Условие прочности выполнено.}$$

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 52,437; 47,659 \} = 52,437 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$$

$$52,437 \text{ МПа} \leq 164,5 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^p \right|, \left| \sigma_T^p \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \{ |\sigma_R^P|; |\sigma_T^P| \} = \max \{ 52,615; 47,821 \} = 52,615 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}} = 1 \cdot 115,5 = 115,5 \text{ МПа}$$

$$52,615 \text{ МПа} \leq 115,5 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}$$

### Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 521,37 \cdot 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,675 \cdot 10^5 = 0,022490^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\text{H}] = 0,34377^\circ$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\Theta \leq K_m \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0,34377 = 0,34377^\circ$$

**Условие жёсткости выполнено.**

Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:

$$\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_6\} \leq 120^{\circ} \text{C}$$

$$\max\{t_{\phi 1}; t_{\phi 2}; t_6\} = \max\{325; 325; 315,25\} = 325^{\circ}\text{C}$$

Относительное удлинение:

$$\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}\text{C}) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}\text{C})}{\alpha_{\delta} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\delta} - 20^{\circ}\text{C})}$$

Взам. инв. №		$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 521,37 \cdot 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,675 \cdot 10^5 = 0,022490^\circ$ <p>Допускаемый угол поворота фланца:  <math>[\Theta] = 0,34377^\circ</math></p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев:  <math>\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0,34377 = 0,34377^\circ</math></p> <p><b>Условие жёсткости выполнено.</b></p> <p>Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:  <math>\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon}\} \leq 120^\circ \text{C}</math>  <math>\max \{t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_{\epsilon}\} = \max \{325; 325; 315,25\} = 325^\circ \text{C}</math></p> <p>Относительное удлинение :</p> $\delta_t = \frac{\alpha'_{\Phi} \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^\circ \text{C}) + \alpha''_{\Phi} \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^\circ \text{C})}{\alpha_{\epsilon} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\epsilon} - 20^\circ \text{C})}$			
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
		90651-20600-AM-02-225 PP			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					177

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
<p><math>= [0,13225 \cdot 10^{-4} \cdot 16 \cdot (325 - 20^{\circ}\text{C}) + 0,13225 \cdot 10^{-4} \cdot 16 \cdot (325 - 20^{\circ}\text{C})] / [0,12764 \cdot 10^{-4} \cdot (16 + 16) \cdot (315,25 - 20^{\circ}\text{C})]</math> <math>= 1,0703</math></p> <p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при <math>T_{\text{max}} \geq 120^{\circ}\text{C}</math> допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия: <math>1 \leq \delta_t \leq 1.1</math></p> <p><b>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</b></p> <p><b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b></p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> <p><math>P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 115,5 = 0,12462 \text{ МПа}</math></p> <p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p> <p><math>P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 115,5 = 0,12462 \text{ МПа}</math></p> <p><b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения:</b></p> <p>Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,10088 МПа</p> <p><b>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</b></p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), <math>t_{\text{ф}}</math>: 20 °C Температура фланца (кольца), <math>t_{\text{ф}}</math>: 20 °C Температура болтов (шпилек), <math>t_{\text{б}}</math>: 20 °C</p> <p><b>Свойства материала болтов (шпилек)</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний): <math>[\sigma]^{20}_{\text{б}} = 130 \text{ МПа}</math> Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре <math>T = 20^{\circ}\text{C}</math>: <math>E^{20}_{\text{б}} = 2,13 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре <math>T = 20^{\circ}\text{C}</math>: <math>\alpha^{20}_{\text{б}} = 0,111 \cdot 10^{-4} / ^{\circ}\text{C}</math></p> <p><b>Свойства материала фланца (кольца) 1</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний): <math>[\sigma]^{20}_{\text{ф1}} = \frac{R_{\text{е}} / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}</math> Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре <math>T = 20^{\circ}\text{C}</math>: <math>E^{20}_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре <math>T = 20^{\circ}\text{C}</math>: <math>\alpha^{20}_1 = 0,116 \cdot 10^{-4} / ^{\circ}\text{C}</math></p> <p><b>Свойства материала фланца (кольца) 2</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний): <math>[\sigma]^{20}_{\text{ф2}} = \frac{R_{\text{е}} / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}</math> Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре <math>T = 20^{\circ}\text{C}</math>: <math>E^{20}_2 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p>							
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР				Лист
							178
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4







НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP		
<p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки): <math>L_{\text{б0}} = h' + h'' + h_{\text{п}} + h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}}'' = 16 + 16 + 2 + 0 + 0 = 34 \text{ мм}</math></p> <p>Эффективная длина шпильки: <math>L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 34 + 0.56 \cdot 12 = 40,72 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): <math>f_{\text{б}} = 76,2 \text{ мм}^2</math></p> <p>Податливость шпилек: <math>y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 40,72 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 76,2 \cdot 4) = 0,62721 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p><math>\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^2 + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^2 = 0,3187 \cdot 10^{-6} + 0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 = 0,13075 \cdot 10^{-5} \text{ мм/Н}</math></p> <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:</p> <p><math>\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e' \cdot b' + y_{\text{ф}}'' \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}</math></p> <p><math>= 1 - (0,3187 \cdot 10^{-6} - (0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 9,1704 \cdot 16,89 + 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 9,1704 \cdot 16,89)) / 0,13075 \cdot 10^{-5}</math></p> <p><math>= 0,90639</math></p> <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p><math>\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}</math></p> <p><math>= [0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89 \cdot (16,89 + 9,1704 - 9,1704^2 / 51,22) + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89 \cdot (16,89 + 9,1704 - 9,1704^2 / 51,22)] / [0,62721 \cdot 10^{-6} + 0,3187 \cdot 10^{-6} \cdot (85 / 51,22)^2 + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2 + 0,25171 \cdot 10^{-4} \cdot 16,89^2]</math></p> <p><math>= 0,56369</math></p> <p><math>P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot  M }{D_{\text{ф}}} = 0,90639 \cdot (207,76 + 0) + 817,18 + 4 \cdot 0,56369 \cdot  0  / 51,22 = 1005,5 \text{ Н}</math></p> <p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</b></p> <p><math>P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot  M }{D_{\text{ф}}} = 0,90639 \cdot (207,76 + 0) + 817,18 + 4 \cdot 0,56369 \cdot  0  / 51,22 = 1005,5 \text{ Н}</math></p> <p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: <math>A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 4 \cdot 76,2 = 304,8 \text{ мм}^2</math></p> <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: <math>P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 27001; 0.4 \cdot 304,8 \cdot 130 = 15850 \} = 27001 \text{ Н}</math></p> <p><b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b></p> <p><b>Расчёт болтов(шпилек):</b></p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: <math>\xi = 1,2</math></p> <p>Коэффициент условий работы: <math>K_{\text{уп}} = 1,35</math></p> <p>Коэффициент условий затяжки: <math>K_{\text{уз}} = 1</math></p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: <math>K_{\text{ут}} = 1</math></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: <math>[\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}</math></p> <p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки: <math>P_{\text{б}}^{\text{т}} = \max \{ P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}} \} = \max \{ 1005,5; 27001 \} = 27001 \text{ Н}</math></p>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 PP			Лист
						181
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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР														
Условие прочности при затяжке:																								
$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$																								
$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_6^M}{A_6} = 27001 / 304,8 = 88,588 \text{ МПа}$																								
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:																								
$M_{кр} = 0,3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 27001 \cdot 12 / 4 = 24,301 \text{ Н}\cdot\text{м}$																								
При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0,75 \cdot M_{кр} = 18,226 \text{ Н}\cdot\text{м}$																								
$88,588 \text{ МПа} \leq 210,6 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>																								
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:																								
$[\sigma]_6^P = K_{уп} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175,5 \text{ МПа}$																								
Болтовая нагрузка в рабочих условиях:																								
$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{д} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot  M }{D_{ст}} = 27001 + (1 - 0,90639) \cdot (207,76 + 0) + 4 \cdot (1 - 0,56369) \cdot  0  / 51,22 = 27021 \text{ Н}$																								
Условие прочности в рабочих условиях:																								
$\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$																								
$\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_6^P}{A_6} = 27021 / 304,8 = 88,651 \text{ МПа}$																								
$88,651 \text{ МПа} \leq 175,5 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>																								
<b>Расчёт прокладки:</b>																								
Болтовая нагрузка в рабочих условиях:																								
$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{д} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot  M }{D_{ст}} = 27001 + (1 - 0,90639) \cdot (207,76 + 0) + 4 \cdot (1 - 0,56369) \cdot  0  / 51,22 = 27021 \text{ Н}$																								
Условие прочности мягких прокладок:																								
$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} \leq [q]$																								
$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} = \max\{27001; 27021\} / (3,1416 \cdot 51,22 \cdot 19,5) = 8,6115 \text{ МПа}$																								
$[q] = 70 \text{ МПа}$																								
<b>Условие работоспособности выполнено.</b>																								
<b>Расчёт первого фланца:</b>																								
Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:																								
$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5}}}\right\} = \max\{1; (3,1416 \cdot 85 / 4 / (2 \cdot 12 + 6 \cdot 16 / (3 + 0,5)))^{1/2}\} = 1,1393$																								
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:																								
$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1,1393 \cdot 27001 \cdot 16,89 = 519,61 \text{ Н}\cdot\text{м}$																								
$f = \max\left\{\frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0\right\} = \max\{0,16827 / (1 + 1,5); 1,0\} = 1$																								
$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 25 + 0 + 10 \text{ при } 25 < 20 \cdot (10 - 0) \text{ и } f = 1 = 35 \text{ мм}$																								
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении $s_1$ :																								
										90651-20600-AM-02-225 РР														
										Лист														
										182														
Изм.					Лист					№ док.					Подп.					Дата				

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 519,61 / (3,6766 \cdot (10 - 0)^2 \cdot 35) = 40,379 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 519,61 = 52,437 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (4,6 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 4,6^2 \cdot \lg 4,6 / (4,6^2 - 1)) = 1,2969$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (4,6^2 + 1) / (4,6^2 - 1) = 1,0992$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1,2969 \cdot 519,61 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,437 = 47,659 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 40,379 + 52,437; | 40,379 + 47,659 | \} = 92,816 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 115 / 25 = 4,6$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

92,816 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 51,22 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \right\} = 1,1393 \cdot \max \{ 27021 \cdot 16,89 + (207,76 + 0) \cdot 9,1704; |207,76 + 0| \cdot 9,1704 \} = 522,15 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 522,15 / (3,6766 \cdot (10 - 0)^2 \cdot 35) = 40,577 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 522,15 = 52,693 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1,2969 \cdot 522,15 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,693 = 47,892 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3,1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 0)) = 0,045013 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

Взам. инв. №		Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:				
		$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 522,15 = 52,693 \text{ МПа}$				
Подп. и дата		Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:				
		$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1,2969 \cdot 522,15 / (16^2 \cdot 25) - 1,0992 \cdot 52,693 = 47,892 \text{ МПа}$				
Изм. № подл.		Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>1</sub> (+):				
		$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3,1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 0)) = 0,045013 \text{ МПа}$				
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s <sub>1</sub> (п. 8.5.1):						
$\max \left\{ \left  \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right ; \left  \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{лм}}$						
					90651-20600-AM-02-225 РР	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист	
					183	

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 40,577 - 0,045013 + 52,693; |40,577 - 0,045013 + 47,892|; |40,577 + 0,045013| \} = 93,225 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma]_F = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

93,225 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>1</sub> (–):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 10)) / (3,1416 \cdot (25 + 10) \cdot (10 - 0)) = 0,045013 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ 40,577 - 0,045013 + 52,693; |40,577 - 0,045013 + 47,892|; |40,577 + 0,045013| \} = 93,225 \text{ МПа}$$

93,225 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении S<sub>0</sub>:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 40,379 = 40,379 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении S<sub>0</sub> (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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

40,379 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>0</sub>:

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 40,577 = 40,577 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>0</sub> (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 + 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 0)) = 0,13582 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>0</sub>:

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,10088 \cdot 25 / (2 \cdot (4 - 0)) = 0,31525 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S<sub>0</sub>:

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 40,577 \pm 0,13582; |0,3 \cdot 40,577 \pm 0,31525|; |0,7 \cdot 40,577 \pm (0,13582 - 0,31525)| \} = 40,713 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_F = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

40,713 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>0</sub> (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 0)) = 0,13582 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 40,577 \pm 0,13582; |0,3 \cdot 40,577 \pm 0,31525|; |0,7 \cdot 40,577 \pm (0,13582 - 0,31525)| \} = 40,713 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P+} \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^{P+} \right) \right\} = \max \{ 40,577 \pm 0,13582;  0.3 \cdot 40,577 \pm 0,31525 ;  0.7 \cdot 40,577 \pm (0,13582 - 0,31525)  \}$ 40,713 МПа						
		Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): [σ] <sub>R</sub> =3·[σ] <sub>ф</sub> =3* 222,73= 668,18 МПа 1.3 · [σ] <sub>R</sub> =1.3 * 668,18= 868,64 МПа 40,713 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> (–): $\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 25^2 \cdot 0,10088 + 0 - 4 \cdot 0 / (25 + 4)) / (3,1416 \cdot (25 + 4) \cdot (4 - 0)) = 0,13582 \text{ МПа}$ $\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P-} \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^{P-} \right) \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^{P-} \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^{P-} \right) \right\} = \max \{ 40,577 \pm 0,13582;  0.3 \cdot 40,577 \pm 0,31525 ;  0.7 \cdot 40,577 \pm (0,13582 - 0,31525)  \}$ = 40,713 МПа						
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
		90651-20600-AM-02-225 РР					Лист	
							184	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	40,713 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>				
	<b>Расчет в сечении s<sub>0</sub> в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</b>				
	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :				
	$\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} = \max\{0,31525;  0,13582 \} = 0,31525 \text{ МПа}$ <p>0,31525 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> Условие статической прочности при затяжке для тарелок:				
$\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{52,437;  47,659 \} = 52,437 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ <p>52,437 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
$\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max\{52,693;  47,892 \} = 52,693 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ <p>52,693 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p>					
<b>Жёсткость фланца:</b>					
Угол поворота фланца в рабочих условиях:					
$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 522,15 \cdot 0,36308 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,018958^{\circ}$					
Допускаемый угол поворота фланца:					
$[\Theta] = 0,34377^{\circ}$					
Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K <sub>Θ</sub> = 1,3					
Условие выполнения жесткости фланцев:					
$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1,3 \cdot 0,34377 = 0,44691^{\circ}$					
<b>Условие жёсткости выполнено.</b>					
<b>Расчёт второго фланца:</b>					
Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:					
$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\Phi}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3,1416 \cdot 85 / 4 / (2 \cdot 12 + 6 \cdot 16 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1,1393$					
Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:					
$M^M = C_F \cdot P_{\Phi}^M \cdot b = 1,1393 \cdot 27001 \cdot 16,89 = 519,61 \text{ Н·м}$					
$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max\{-0,16827 / (1 + 1,5); 1,0\} = 1$					
$D^* = D + c + s_{1\text{при}} (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 25 + 0 + 10 \text{ при } 25 < 20 \cdot (10 - 0) \text{ и } f = 1 = 35 \text{ мм}$					
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s <sub>1</sub> :					
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 519,61 / (3,6766 \cdot (10 - 0)^2 \cdot 35) = 40,379 \text{ МПа}$					
Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,64595 \cdot 16 + 10) / (3,6766 \cdot 16^2 \cdot 10 \cdot 25) \cdot 519,61 = 52,437 \text{ МПа}$					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
90651-20600-AM-02-225 РР					
Лист					
185					

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (4.6 - 1) * (0.69 + 5.72 * 4.6^2 * \lg 4.6 / (4.6^2 - 1)) = 1.2969$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (4.6^2 + 1) / (4.6^2 - 1) = 1.0992$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1.2969 * 519.61 / (16^2 * 25) - 1.0992 * 52.437 = 47.659 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 40.379 + 52.437; | 40.379 + 47.659 | \} = 92.816 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1.5 * 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 115 / 25 = 4.6$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 * 1 * 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

92,816 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 * |0| / 51.22 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 * |0| / 51.22 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \} = 1.1393 * \max \{ 27021 * 16.89 + (207.76 + 0) * 9.1704; |207.76 + 0| * 9.1704 \} = 522.15 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 522.15 / (3.6766 * (10 - 0)^2 * 35) = 40.577 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 * 0.64595 * 16 + 10) / (3.6766 * 16^2 * 10 * 25) * 522.15 = 52.693 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1.2969 * 522.15 / (16^2 * 25) - 1.0992 * 52.693 = 47.892 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 * 25^2 * 0.10088 + 0 + 4 * 0 / (25 + 10)) / (3.1416 * (25 + 10) * (10 - 0)) = 0.045013 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 40.577 - 0.045013 + 52.693; | 40.577 - 0.045013 + 47.892 |; | 40.577 + 0.045013 | \} = 93.225 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1.5 * 222.73 = 334.09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1.2 * 1 * 334.09 = 400.91 \text{ МПа}$$

93,225 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-02-225 PP	
Лист	
186	











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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
Радиус перехода, r: 5 мм						
Данные второго фланца (кольца):						
Материал фланца (кольца): 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка						
Наружный диаметр фланца (кольца), Dн: 195 мм						
Толщина фланца (кольца) с выступом, h' 24 мм						
Внутренний диаметр фланца (кольца), D: 78 мм						
Сумма прибавок, с: 4 мм						
Длина конической части втулки, l: 22 мм						
Длина цилиндрической части втулки, lc: 12 мм						
Толщина цилиндрической части втулки, s0: 6 мм						
Толщина конической части втулки, s1: 17 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]б= 126 МПа						
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:						
Еб=2,1011·10 <sup>5</sup> МПа						
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:						
αб=0,111·10 <sup>-4</sup> /°С						
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):						
[σ] <sup>20б</sup> = 130 МПа						
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:						
Е <sup>20б</sup> =2,13·10 <sup>5</sup> 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:						
Е1=1,91·10 <sup>5</sup> МПа						
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:						
α1=0,116·10 <sup>-4</sup> /°С						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия):						
[σ] <sup>20ф1</sup> = 164,5 МПа						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.				Лист
			90651-20600-AM-02-225 РР			190
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-225 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>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E<sup>20</sup><sub>1</sub>=1,99·10<sup>5</sup> МПа</p> <p><b>Свойства материала фланца (кольца)2</b> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия): [σ]<sub>φ2</sub>= 144 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С: E<sub>2</sub>=1,91·10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С: α<sub>2</sub>=0,116·10<sup>-4</sup>/°С</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия): [σ]<sup>20</sup><sub>φ2</sub>= 164,5 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E<sup>20</sup><sub>2</sub>=1,99·10<sup>5</sup> МПа</p> <p><b>Расчётные параметры болтов (шпилек):</b> Рабочая длина болта (шпильки): L<sub>б0</sub> = h' + h'' + h<sub>п</sub> + h'<sub>ш</sub> + h''<sub>ш</sub> = 21 + 24 + 3,2 + 0 + 0 = 48,2 мм</p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): f<sub>6</sub>= 144 мм<sup>2</sup></p> <p>Эффективная длина шпильки: L<sub>ε</sub> = L<sub>б0</sub> + 0,56 · d = 48,2 + 0,56 · 16 = 57,16 мм</p> <p>Податливость шпилек: <math>y_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{E_{\epsilon}^{20} \cdot f_{\epsilon} \cdot n} = 57,16 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 8) = 0,23295 \cdot 10^{-6}</math> мм/Н</p> <p><b>Расчётные параметры первого фланца:</b> <math>\beta = \frac{s_1}{s_0} = 17/6 = 2,8333</math></p> <p><math>x = \frac{1}{\sqrt{D} \cdot s_0} = 22/(78 \cdot 6)^{1/2} = 1,017</math></p> <p><math>\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,8333 - 1) \cdot 1,017 / (1,017 + (1 + 2,8333) / 4) = 1,9439</math></p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык: s<sub>3</sub> = κ · s<sub>0</sub> = 1,9439 · 6 = 11,663 мм</p> <p><math>l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (78 \cdot 6)^{1/2} = 21,633</math> мм</p> <p>β<sub>F</sub> = 0,69182</p> <p><math>K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 195 / 78 = 2,5</math></p> <p><math>\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,5) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 2,5^2) \cdot (2,5 - 1)) = 1,3385</math></p> <p>β<sub>V</sub> = 0,087252</p> <p><math>\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,5) - 1) / (1.36 \cdot (2,5^2 - 1) \cdot (2,5 - 1)) = 2,4757</math></p>											
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист	
										191	

90651-20600-AM-02-225 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		
$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,69182 \cdot 21 + 21,633) / (1,3385 \cdot 21,633) + 0,087252 \cdot 21^3 / (2,4757 \cdot 21,633 \cdot 6^2) = 1,6679$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0,087252 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,6679 \cdot 6^2 \cdot 21,633) = 0,17599 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 160 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 195 \cdot 21^3) = 0,12359 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D<sub>6</sub> – D<sub>сп</sub>) = 0.5 · (160 – 113) = 23,5 мм</p> <p>e = 0.5 · (D<sub>сп</sub> – D – s<sub>3</sub>) = 0.5 · (113 – 78 – 11,663) = 11,668мм</p> <p><b>Расчётные параметры второго фланца:</b></p> $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 17/6 = 2,8333$ $x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 22/(78 \cdot 6)^{1/2} = 1,017$ $\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,8333 - 1) \cdot 1,017 / (1,017 + (1 + 2,8333) / 4) = 1,9439$ <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> $s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,9439 \cdot 6 = 11,663\text{мм}$ $1_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (78 \cdot 6)^{1/2} = 21,633 \text{ мм}$ $\beta_F = 0,69182$ $K = \frac{D_H}{D} = 195 / 78 = 2,5$ $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,5) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 2,5^2) \cdot (2,5 - 1)) = 1,3385$ $\beta_V = 0,087252$ $\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,5) - 1) / (1.36 \cdot (2,5^2 - 1) \cdot (2,5 - 1)) = 2,4757$ $\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,69182 \cdot 24 + 21,633) / (1,3385 \cdot 21,633) + 0,087252 \cdot 24^3 / (2,4757 \cdot 21,633 \cdot 6^2) = 1,9461$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0.91 \cdot 0,087252 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,9461 \cdot 6^2 \cdot 21,633) = 0,15083 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 160 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 195 \cdot 24^3) = 0,82792 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D<sub>6</sub> – D<sub>сп</sub>) = 0.5 · (160 – 113) = 23,5 мм</p> <p>e = 0.5 · (D<sub>сп</sub> – D – s<sub>3</sub>) = 0.5 · (113 – 78 – 11,663) = 11,668мм</p> <p>Характеристики прокладки</p>											
Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР					
						Лист					
						192					
Изм.		Лист		№ док.		Подп.		Дата			

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

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

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E <sub>n</sub> , МПа	
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		3	69	-	-	-	

Эффективная ширина прокладки :  
b<sub>0</sub>=7 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<sub>тп</sub> = min{D<sub>4</sub>; D<sub>нп</sub>} = min{120; 120} = 120 мм

Средний эффективный диаметр прокладки:  
D<sub>ст</sub> = D<sub>тп</sub> - b<sub>0</sub> = 120 - 7 = 113 мм

Для металлических и асбометаллических прокладок y<sub>n</sub> = 0.

**Расчёт нагрузок:**  
Равнодействующая давления:  
Q<sub>д</sub> = 0.785 · D<sub>ст</sub><sup>2</sup> · p = 0.785 · 113<sup>2</sup> · 0.070000 = 701,66 Н

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:  
R<sub>п</sub> = π · D<sub>ст</sub> · b<sub>0</sub> · m · |p| = 3,1416 · 113 · 7 · 3 · |0,070000| = 521,85 Н

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:  
P<sub>обж</sub> = 0.5 · π · D<sub>ст</sub> · b<sub>0</sub> · q<sub>обж</sub> = 0.5 · 3,1416 · 113 · 7 · 69 = 85732 Н

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)**  
 $\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y'_{\text{ф}} \cdot b'^{1/2} + y''_{\text{ф}} \cdot b''^{1/2} = 0 + 0,23295 \cdot 10^{-6} + 0,17599 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2 + 0,15083 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2 = 0,54796 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$

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 - (0,17599 · 10<sup>-4</sup> · 11,668 · 23,5 + 0,15083 · 10<sup>-4</sup> · 11,668 · 23,5)) / 0,54796 · 10<sup>-6</sup>  
= 1,2854

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:  
$$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y'_{\text{фМ}} \cdot b' \cdot \left( b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y''_{\text{фМ}} \cdot b'' \cdot \left( b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left( \frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y'_{\text{фМ}} \cdot b'^2 + y''_{\text{фМ}} \cdot b''^2}$$
  
= [0,23295 · 10<sup>-6</sup> + 0,12359 · 10<sup>-4</sup> · 23,5 · (23,5 + 11,668 - 11,668<sup>2</sup> / 113) + 0,82792 · 10<sup>-5</sup> · 23,5 · (23,5 + 11,668 - 11,668<sup>2</sup> / 113)] / [0,23295 · 10<sup>-6</sup> + 0 · (160 / 113)<sup>2</sup> + 0,12359 · 10<sup>-4</sup> · 23,5<sup>2</sup> + 0,12359 · 10<sup>-4</sup> · 23,5<sup>2</sup>]  
= 1,2051

$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 1,2854 \cdot (701,66 + 0) + 521,85 + 4 \cdot 1,2051 \cdot |0| / 113 = 1423,8 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)**  
$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 1,2854 \cdot (701,66 + 0) + 521,85 + 4 \cdot 1,2051 \cdot |0| / 113 = 1423,8 \text{ Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего

					90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							193
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР				
<p>диаметра:</p> $A_6 = n \cdot f_6 = 8 \cdot 144 = 1152 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{62} = \max \{ P_{06ж}; 0.4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20} \} = \max \{ 85732; 0.4 \cdot 1152 \cdot 130 = 59904 \} = 85732 \text{ Н}$ <p><b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b></p> <p><b>Расчёт болтов(шпилек):</b></p> <p>Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: <math>\xi = 1,2</math></p> <p>Коэффициент условий работы: <math>K_{yp} = 1</math></p> <p>Коэффициент условий затяжки: <math>K_{yз} = 1</math></p> <p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций: <math>K_{yt} = 1</math></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:</p> $[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{yз} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки:</p> $P_6^M = \max \{ P_{b1}; P_{b2} \} = \max \{ 1423,8; 85732 \} = 85732 \text{ Н}$ <p>Условие прочности при затяжке:</p> $\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$ $\sigma_{61} = \frac{85732}{1152} = 74,421 \text{ МПа}$ <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> $M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot \frac{85732 \cdot 16}{8} = 51,439 \text{ Н·м}$ <p>При наличии смазки величина <math>M_{кр}</math> снижается на 25% и составляет <math>0.75 \cdot M_{кр} = 38,58 \text{ Н·м}</math></p> <p><math>74,421 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> $[\sigma]_6^P = K_{yp} \cdot K_{yз} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\pi} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\pi}) \cdot  M }{D_{от}} = 85732 + (1 - 1,2854) \cdot (701,66 + 0) + 4 \cdot (1 - 1,2051) \cdot  0  / 113 = 85532 \text{ Н}$ <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> $\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$ $\sigma_{62} = \frac{85532}{1152} = 74,247 \text{ МПа}$ <p><math>74,247 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчёт первого фланца:</b></p> <p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p> $C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3,1416 \cdot 160 / 8 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 21 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1$ <p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p> $M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 85732 \cdot 23,5 = 2014,7 \text{ Н·м}$								
Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
								194

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

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4



Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,2665 \cdot 2018,2 / (21^2 \cdot 78) - 1,381 \cdot 66,596 = 41,016 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 4)) = 0,086167 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |75,366 - 0,086167 + 66,596|; |75,366 - 0,086167 + 41,016|; |75,366 + 0,086167| \} = 141,88 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 216 = 259,2 \text{ МПа}$$

141,88 МПа  $\leq$  259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 4)) = 0,086167 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |75,366 - 0,086167 + 66,596|; |75,366 - 0,086167 + 41,016|; |75,366 + 0,086167| \} = 141,88 \text{ МПа}$$

141,88 МПа  $\leq$  259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^{\text{м}} = f \cdot \sigma_1^{\text{м}} = 1 \cdot 75,236 = 75,236 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_0$  (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^{\text{м}} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1,3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

75,236 МПа  $\leq$  641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 75,366 = 75,366 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3,1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 4)) = 0,63343 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 78 / (2 \cdot (6 - 4)) = 1,365 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|, \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|, \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|, \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|, \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |75,366 \pm 0,63343|; |0,3 \cdot 75,366 \pm 1,365|; |0,7 \cdot 75,366 \pm (0,63343 - 1,365)| \} = 76 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{Р}} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	Мембральное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> (+):					
	$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3.1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 4)) = 0,63343 \text{ МПа}$					
Подп. и дата	Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :					
	$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 78 / (2 \cdot (6 - 4)) = 1,365 \text{ МПа}$					
Инв. № подл.	Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :					
	$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$ $\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} = \max \{  75.366 \pm 0.63343 ;  0.3 \cdot 75.366 \pm 1.365 ;  0.7 \cdot 75.366 \pm (0.63343 - 1.365)  \} = 76 \text{ МПа}$					
Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):						
[σ] <sub>R</sub> =3·[σ] <sub>ф</sub> =3* 144= 432 МПа						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
						196





$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 1.6176 / (1 + 1.8333); 1.0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 78 + 0 + 17 \text{ при } 78 < 20 \cdot (17 - 0) \text{ и } f = 1 = 95 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 2014.7 / (1.9461 \cdot (17 - 4)^2 \cdot 95) = 64.482 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0.69182 \cdot 24 + 21.633) / (1.9461 \cdot 24^2 \cdot 21.633 \cdot 78) \cdot 2014.7 = 46.564 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2.5 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 2.5^2 \cdot \lg 2.5 / (2.5^2 - 1)) = 2.2665$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2.5^2 + 1) / (2.5^2 - 1) = 1.381$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 2.2665 \cdot 2014.7 / (24^2 \cdot 78) - 1.381 \cdot 46.564 = 37.335 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 64.482 + 46.564; | 64.482 + 37.335 | \} = 111.05 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1.5 \cdot 164.5 = 246.75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 195 / 78 = 2.5$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1.2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1.2 \cdot 1 \cdot 246.75 = 296.1 \text{ МПа}$$

111,05 МПа ≤ 296,1 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_F^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \right\} = 1 \cdot \max \{ 85532 \cdot 23.5 + (701.66 + 0) \cdot 11.668; |701.66 + 0| \cdot 11.668 \} = 2018.2 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 2018.2 / (1.9461 \cdot (17 - 4)^2 \cdot 95) = 64.594 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1.0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.69182 \cdot 24 + 21.633) / (1.9461 \cdot 24^2 \cdot 21.633 \cdot 78) \cdot 2018.2 = 46.645 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2.2665 \cdot 2018.2 / (24^2 \cdot 78) - 1.381 \cdot 46.645 = 37.4 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

Взам. инв. №	<p>Рассчитан изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:</p> $M^P = C_F \cdot \max \{ P_F^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e;  Q_d + Q_{FM}  \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 85532 \cdot 23,5 + (701,66 + 0) \cdot 11,668;  701,66 + 0  \cdot 11,668 \} = 2018,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>s_1</math>:</p> $\sigma_I^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 2018,2 / (1,9461 \cdot (17 - 4)^2 \cdot 95) = 64,594 \text{ МПа}$													
	Подп. и дата	<p>Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,69182 \cdot 24 + 21,633) / (1,9461 \cdot 24^2 \cdot 21,633 \cdot 78) \cdot 2018,2 = 46,645 \text{ МПа}$ <p>Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:</p> $\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,2665 \cdot 2018,2 / (24^2 \cdot 78) - 1,381 \cdot 46,645 = 37,4 \text{ МПа}$ <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_1</math> (+):</p>												
Инв. № подл.														
	<table><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> <div>90651-20600-AM-02-225 РР</div> <div>Лист198</div>										Изм.	Лист	№ док.	Подп.
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата										

$$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3.1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 4)) = 0,086167 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right| \right\} \leq K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{M}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right| \right\} = \max \{ |64,594 - 0,086167 + 46,645|; |64,594 - 0,086167 + 37,4|; |64,594 + 0,086167| \} = 111,15 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{M}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{M}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 216 = 259,2 \text{ МПа}$$

111,15 МПа ≤ 259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (–):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3.1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 4)) = 0,086167 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} \right| \right\} \leq K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{M}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|; \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}-} \right| \right\} = \max \{ |64,594 - 0,086167 + 46,645|; |64,594 - 0,086167 + 37,4|; |64,594 + 0,086167| \} = 111,15 \text{ МПа}$$

111,15 МПа ≤ 259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^{\text{M}} = f \cdot \sigma_1^{\text{M}} = 1 \cdot 64,482 = 64,482 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_{\text{R}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20} = 1,3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

64,482 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^{\text{P}} = f \cdot \sigma_1^{\text{P}} = 1 \cdot 64,594 = 64,594 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0\text{лмм}}^{\text{P}+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3.1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 4)) = 0,63343 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0\text{мо}}^{\text{P}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.070000 \cdot 78 / (2 \cdot (6 - 4)) = 1,365 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{лмм}}^{\text{P}+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{мо}}^{\text{P}} \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \left( \sigma_{0\text{лмм}}^{\text{P}+} - \sigma_{0\text{мо}}^{\text{P}} \right) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{лмм}}^{\text{P}+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{мо}}^{\text{P}} \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \left( \sigma_{0\text{лмм}}^{\text{P}+} - \sigma_{0\text{мо}}^{\text{P}} \right) \right| \right\} = \max \{ |64,594 \pm 0,63343|; |0,3 \cdot 64,594 \pm 1,365|; |0,7 \cdot 64,594 \pm (0,63343 - 1,365)| \} = 65,227 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{R}} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{R}} = 1,3 \cdot 432 = 561,6 \text{ МПа}$$

65,227 МПа ≤ 561,6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (–):

Взам. инв. №		Окружающее мембранное напряжение от действия давления в втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> :					
		$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 78 / (2 \cdot (6 - 4)) = 1,365 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> :					
		$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
		$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} = \max \{  64,594 \pm 0,63343 ;  0.3 \cdot 64,594 \pm 1,365 ;  0.7 \cdot 64,594 \pm (0,63343 - 1,365)  \} = 65,227 \text{ МПа}$					
		Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):					
		[σ] <sub>R</sub> =3·[σ] <sub>ф</sub> =3*144= 432 МПа					
		1.3·[σ] <sub>R</sub> =1.3*432= 561,6 МПа					
Инв. № подл.		65,227 МПа ≤ 561,6 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
		Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> (—):					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
		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><math display="block">\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 78^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3,1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 4)) = 0,63343 \text{ МПа}</math><math display="block">\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</math><math display="block">\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 \{ 64,594 \pm 0,63343;   0,3 \cdot 64,594 \pm 1,365  ;   0,7 \cdot 64,594 \pm (0,63343 - 1,365)   \} = 65,227 \text{ МПа}</math><p>65,227 МПа ≤ 561,6 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Расчет в сечении s<sub>0</sub> в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</b></p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s<sub>0</sub>:</p><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} \leq [\sigma]_\Phi</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} = \max \{ 1,365;   0,63343   \} = 1,365 \text{ МПа}</math><p>1,365 МПа ≤ 144 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:</p><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{ 46,564;   37,335   \} = 46,564 \text{ МПа}</math><math display="block">K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}</math><p>46,564 МПа ≤ 164,5 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 46,645;   37,4   \} = 46,645 \text{ МПа}</math><math display="block">K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}</math><p>46,645 МПа ≤ 144 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Жёсткость фланца:</b></p><p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p><math display="block">\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 2018,2 \cdot 0,15083 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 = 0,031716^\circ</math><p>Допускаемый угол поворота фланца:</p><math display="block">[\varpi] = 0,34377^\circ</math><p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p><math display="block">\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0,34377 = 0,34377^\circ</math><p><b>Условие жёсткости выполнено.</b></p><p>Проверка п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017:</p><math display="block">\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_\epsilon \} \leq 120^\circ \text{C}</math><math display="block">\max \{ t_{\Phi 1}; t_{\Phi 2}; t_\epsilon \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100^\circ \text{C}</math><p>Относительное удлинение :</p><math display="block">\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})}</math><math display="block">= [0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 24 \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) + 0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 21 \cdot (100 - 20^\circ \text{C})] / [0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (24 + 21) \cdot (97 - 20^\circ \text{C})]</math><math display="block">= 1,0858</math><p>В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4-2017 при T<sub>max</sub> &lt; 120°C допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:</p><math display="block">\delta_t &gt; 1</math><p><b>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</b></p><p><b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b></p><p>Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:</p></div>					90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
				200			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

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

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,099957 \text{ МПа}$ <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><b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения:</b></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: 0,10337 МПа</p> <p><b>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.4-2017</b></p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 20 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 20 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 20 °С</p> <p><b>Свойства материала болтов (шпилек)</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> <p>[σ]<sup>20<sub>б</sub></sup> = 130 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>E<sup>20<sub>б</sub></sup> = 2,13·10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</p> <p>α<sup>20<sub>б</sub></sup> = 0,111·10<sup>-4</sup>/°С</p> <p><b>Свойства материала фланца (кольца) 1</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\phi 1}^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E<sup>20<sub>1</sub></sup> = 1,99·10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α<sup>20<sub>1</sub></sup> = 0,116·10<sup>-4</sup>/°С</p> <p><b>Свойства материала фланца (кольца) 2</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{\phi 2}^{20} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>E<sup>20<sub>2</sub></sup> = 1,99·10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p>α<sup>20<sub>2</sub></sup> = 0,116·10<sup>-4</sup>/°С</p> <p><b>Расчётные параметры первого фланца:</b></p> $\beta = \frac{s_1}{s_0} = 17/6 = 2,8333$						
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						201
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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.

$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 22/(78 \cdot 6)^{1/2} = 1,017$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,8333 - 1) \cdot 1,017 / (1,017 + (1 + 2,8333) / 4) = 1,9439$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,9439 \cdot 6 = 11,663 \text{ мм}$$
$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (78 \cdot 6)^{1/2} = 21,633 \text{ мм}$$
$$\beta_F = 0,69182$$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,5) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 2,5^2) \cdot (2,5 - 1)) = 1,3385$$
$$\beta_V = 0,087252$$
$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,5) - 1) / (1,36 \cdot (2,5^2 - 1) \cdot (2,5 - 1)) = 2,4757$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,69182 \cdot 21 + 21,633) / (1,3385 \cdot 21,633) + 0,087252 \cdot 21^3 / (2,4757 \cdot 21,633 \cdot 6^2) = 1,6679$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0,91 \cdot 0,087252 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,6679 \cdot 6^2 \cdot 21,633) = 0,17599 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 160 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 195 \cdot 21^3) = 0,12359 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$
$$b = 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{сш}}) = 0,5 \cdot (160 - 113) = 23,5 \text{ мм}$$
$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0,5 \cdot (113 - 78 - 11,663) = 11,668 \text{ мм}$$

**Расчётные параметры второго фланца:**

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 17/6 = 2,8333$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 22/(78 \cdot 6)^{1/2} = 1,017$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,8333 - 1) \cdot 1,017 / (1,017 + (1 + 2,8333) / 4) = 1,9439$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,9439 \cdot 6 = 11,663 \text{ мм}$$
$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (78 \cdot 6)^{1/2} = 21,633 \text{ мм}$$
$$\beta_F = 0,69182$$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,5) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 2,5^2) \cdot (2,5 - 1)) = 1,3385$$
$$\beta_V = 0,087252$$
$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,5) - 1) / (1,36 \cdot (2,5^2 - 1) \cdot (2,5 - 1)) = 2,4757$$

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

202

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР																															
$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,69182 \cdot 24 + 21,633) / (1,3385 \cdot 21,633) + 0,087252 \cdot 24^3 / (2,4757 \cdot 21,633 \cdot 6^2) = 1,9461$ <p>Угловая податливость фланца при затяжке:</p> $y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0,91 \cdot 0,087252 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,9461 \cdot 6^2 \cdot 21,633) = 0,15083 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> $y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 160 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 195 \cdot 24^3) = 0,82792 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <p>Плечи моментов:</p> <p>a = 0</p> <p>b = 0.5 · (D<sub>6</sub> – D<sub>сп</sub>) = 0.5 · (160 – 113) = 23,5 мм</p> <p>e = 0.5 · (D<sub>сп</sub> – D – s<sub>з</sub>) = 0.5 · (113 – 78 – 11,663) = 11,668мм</p> <p>Характеристики прокладки</p> <table><tr><th>Тип и материал прокладки</th><th>Коэффициент m</th><th>Удельное давление обжатия q<sub>обж</sub>, МПа</th><th>Допускаемое удельное давление [q], МПа</th><th>Коэффициент обжатия К</th><th>Условный модуль сжатия E<sub>n</sub>, МПа</th></tr><tr><td>Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали</td><td>3</td><td>69</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> <p>Эффективная ширина прокладки :</p> <p>b<sub>0</sub>=7 мм</p> <p>Примечание: <math display="block">\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} &gt; 15,0 \text{ мм} \end{cases}</math></p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки:</p> <p>D<sub>тпф</sub> = min{D<sub>4</sub>; D<sub>кп</sub>} = min{120; 120} = 120 мм</p> <p>Средний эффективный диаметр прокладки:</p> <p>D<sub>сп</sub> = D<sub>тпф</sub> – b<sub>0</sub> = 120 – 7 = 113 мм</p> <p>Для металлических и асбометаллических прокладок у<sub>n</sub> = 0.</p> <p><b>Расчёт нагрузок:</b></p> <p>Равнодействующая давления:</p> <p>Q<sub>д</sub> = 0.785 · D<sub>сп</sub><sup>2</sup> · p = 0.785 · 113<sup>2</sup> · 0,10337 = 1036,1 Н</p> <p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> <p>R<sub>п</sub> = π · D<sub>сп</sub> · b<sub>0</sub> · m ·  p  = 3,1416 · 113 · 7 · 3 ·  0,10337  = 770,6 Н</p> <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> <p>P<sub>обж</sub> = 0.5 · π · D<sub>сп</sub> · b<sub>0</sub> · q<sub>обж</sub> = 0.5 · 3,1416 · 113 · 7 · 69 = 85732 Н</p> <p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> <p>L<sub>б0</sub> = h<sup>i</sup> + h<sup>ii</sup> + h<sub>п</sub> + h<sub>ш</sub><sup>i</sup> + h<sub>ш</sub><sup>ii</sup> = 21 + 24 + 3,2 + 0 + 0 = 48,2 мм</p> <p>Эффективная длина шпильки:</p> <p>L<sub>б</sub> = L<sub>б0</sub> + 0.56 · d = 48,2 + 0.56 · 16 = 57,16 мм</p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> <p>f<sub>б</sub> = 144 мм<sup>2</sup></p> <p>Податливость шпилек:</p> $y_\epsilon = \frac{L_\epsilon}{E^{20} \cdot f_\epsilon \cdot n} = 57,16 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 8) = 0,23295 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ <table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">90651-20600-AM-02-225 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>203</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td></td></tr></table>						Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия К	Условный модуль сжатия E <sub>n</sub> , МПа	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист						203	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия К	Условный модуль сжатия E <sub>n</sub> , МПа																															
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-																															
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист																														
						203																														
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																																

90651-20600-AM-02-225 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	
	$\eta = y_{\pi} + y_{\epsilon} + y'_{\Phi} \cdot b'^{1/2} + y''_{\Phi} \cdot b''^{1/2} = 0 + 0,23295 \cdot 10^{-6} + 0,17599 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2 + 0,15083 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2 = 0,54796 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$					
	Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением и внешней осевой силой:					
	$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y'_{\Phi} \cdot e' \cdot b' + y''_{\Phi} \cdot e'' \cdot b'')}{\eta}$ $= 1 - (0 - (0,17599 \cdot 10^{-4} \cdot 11,668 \cdot 23,5 + 0,15083 \cdot 10^{-4} \cdot 11,668 \cdot 23,5)) / 0,54796 \cdot 10^{-6}$ $= 1,2854$					
	Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:					
$\alpha_M = \frac{y_{\epsilon} + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left( b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\text{фл}}} \right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left( b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\text{фл}}} \right)}{y_{\epsilon} + y_{\pi} \cdot \left( \frac{D_{\epsilon}}{D_{\text{фл}}} \right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^{1/2} + y''_{\Phi M} \cdot b''^{1/2}}$ $= [0,23295 \cdot 10^{-6} + 0,12359 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5 \cdot (23,5 + 11,668 - 11,668^2 / 113) + 0,82792 \cdot 10^{-5} \cdot 23,5 \cdot (23,5 + 11,668 - 11,668^2 / 113)] / [0,23295 \cdot 10^{-6} + 0 \cdot (160 / 113)^2 + 0,12359 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2 + 0,12359 \cdot 10^{-4} \cdot 23,5^2]$ $= 1,2051$						
$P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\text{фл}}} = 1,2854 \cdot (1036,1 + 0) + 770,6 + 4 \cdot 1,2051 \cdot  0  / 113 = 2102,5 \text{ Н}$						
<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</b>						
$P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\text{фл}}} = 1,2854 \cdot (1036,1 + 0) + 770,6 + 4 \cdot 1,2051 \cdot  0  / 113 = 2102,5 \text{ Н}$						
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:						
$A_{\epsilon} = n \cdot f_{\epsilon} = 8 \cdot 144 = 1152 \text{ мм}^2$						
Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:						
$P_{\epsilon 2} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\epsilon} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} \} = \max \{ 85732; 0,4 \cdot 1152 \cdot 130 = 59904 \} = 85732 \text{ Н}$						
<b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b>						
<b>Расчёт болтов(шпилек):</b>						
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:						
$[\sigma]_{\epsilon}^{\text{м}} = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$						
Болтовая нагрузка в условиях затяжки:						
$P_{\epsilon}^{\text{м}} = \max \{ P_{\epsilon 1}; P_{\epsilon 2} \} = \max \{ 2102,5; 85732 \} = 85732 \text{ Н}$						
Условие прочности при затяжке:						
$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}}}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^{\text{м}}$						
$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}}}{A_{\epsilon}} = 85732 / 1152 = 74,421 \text{ МПа}$						
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:						
$M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}} \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 85732 \cdot 16 / 8 = 51,439 \text{ Н·м}$						
При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 38,58 \text{ Н·м}$						
$74,421 \text{ МПа} \leq 210,6 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						204





110,48 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{от}}} = 85732 + (1 - 1,2854) \cdot (1036,1 + 0) + 4 \cdot (1 - 1,2051) \cdot |0| / 113 = 85437 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{от}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{от}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}^-) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}^-| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 85437 \cdot 23,5 + (1036,1 + 0) \cdot 11,668; |1036,1 + 0| \cdot 11,668 \} = 2019,9 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 2019,9 / (1,6679 \cdot (17 - 0)^2 \cdot 95) = 44,109 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,69182 \cdot 21 + 21,633) / (1,6679 \cdot 21^2 \cdot 21,633 \cdot 78) \cdot 2019,9 = 66,65 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,2665 \cdot 2019,9 / (21^2 \cdot 78) - 1,381 \cdot 66,65 = 41,049 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0,097301 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |44,109 - 0,097301 + 66,65|; |44,109 - 0,097301 + 41,049|; |44,109 + 0,097301| \} = 110,66 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

110,66 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0,097301 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |44,109 - 0,097301 + 66,65|; |44,109 - 0,097301 + 41,049|; |44,109 + 0,097301| \} = 110,66 \text{ МПа}$$

110,66 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 43,996 = 43,996 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{D+s_1}{\pi \cdot (D+s_1) \cdot (s_1-c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 - 4 \cdot 0,7(78+17)) / (3,1416 \cdot (78+17) \cdot (17-0)) = 0,097301 \text{ МПа}$	
						$\max \left\{ \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right ; \left  \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$ $\max \left\{ \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right ; \left  \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right  \right\} = \max\{ 44,109 - 0,097301 + 66,65 ;  44,109 - 0,097301 + 41,049 ;  44,109 + 0,097301 \} = 110,66 \text{ МПа}$	
110,66 МПа ≤ 400,91 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>							
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s <sub>0</sub> :							
$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 43,996 = 43,996 \text{ МПа}$							
Условие статической прочности при затяжке в сечении s <sub>0</sub> (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):							
$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист	
						206	

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

43,996 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 44,109 = 44,109 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = \frac{(0.785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3,1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 0))}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 0,31179 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = \frac{0,10337 \cdot 78}{2 \cdot (6 - 0)} = 0,67188 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 44,109 \pm 0,31179; |0.3 \cdot 44,109 \pm 0,67188|; |0.7 \cdot 44,109 \pm (0,31179 - 0,67188)| \} = 44,42 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

44,42 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (–):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = \frac{(0.785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3,1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 0))}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 0,31179 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 44,109 \pm 0,31179; |0.3 \cdot 44,109 \pm 0,67188|; |0.7 \cdot 44,109 \pm (0,31179 - 0,67188)| \} = 44,42 \text{ МПа}$$

44,42 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  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 0,67188; |0,31179| \} = 0,67188 \text{ МПа}$$

0,67188 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 66,481; |40,945| \} = 66,481 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

66,481 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 66,65; |41,049| \} = 66,65 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

66,65 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot \left[ \sigma \right]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{ 66,481; \mid 40,945 \} = 66,481 \text{ МПа}$ $K_T \cdot \left[ \sigma \right]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $66,481 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot \left[ \sigma \right]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 66,65; \mid 41,049 \} = 66,65 \text{ МПа}$ $K_T \cdot \left[ \sigma \right]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $66,65 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>				
		Подп. и дата				
Изм. № подл.						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	207	

### Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 2019,9 \cdot 0,17599 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,035547^\circ$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\varpi] = 0,34377^\circ$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев:  $K_{\varpi} = 1,3$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1,3 \cdot 0,34377 = 0,44691^\circ$$

**Условие жёсткости выполнено.**

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{ 1; (3,1416 \cdot 160 / 8 / (2 \cdot 16 + 6 \cdot 24 / (3 + 0.5)))^{1/2} \} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot F_6^M \cdot b = 1 \cdot 85732 \cdot 23,5 = 2014,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{ 1,6176 / (1 + 1,8333); 1,0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}} (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 78 + 0 + 17 \text{ при } 78 < 20 \cdot (17 - 0) \text{ и } f = 1 = 95 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 2014,7 / (1,9461 \cdot (17 - 0)^2 \cdot 95) = 37,708 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1,0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,69182 \cdot 24 + 21,633) / (1,9461 \cdot 24^2 \cdot 21,633 \cdot 78) \cdot 2014,7 = 46,564 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,5 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 2,5^2 \cdot \lg 2,5 / (2,5^2 - 1)) = 2,2665$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,5^2 + 1) / (2,5^2 - 1) = 1,381$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 2,2665 \cdot 2014,7 / (24^2 \cdot 78) - 1,381 \cdot 46,564 = 37,335 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |37,708 + 46,564|; |37,708 + 37,335| \} = 84,272 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 195 / 78 = 2,5$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

$84,272 \text{ МПа} \leq 400,91 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №		$\sigma_T = \frac{h^2 \cdot D}{\rho \cdot Z \cdot G_R} = \frac{2,2000 \cdot 2014,77}{(24 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 78} = 1,507 \cdot 40,564 = 57,555 \text{ МПа}$					
		Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_1$ (п. 8.5.1): $\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{37,708 + 46,564;  37,708 + 37,335 \} = 84,272 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1.5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 195 / 78 = 2,5$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1,2$ $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$ $84,272 \text{ МПа} \leq 400,91 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							208
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 113 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ p_e^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 85437 \cdot 23,5 + (1036,1 + 0) \cdot 11,668; |1036,1 + 0| \cdot 11,668 \} = 2019,9 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 2019,9 / (1,9461 \cdot (17 - 0)^2 \cdot 95) = 37,804 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,69182 \cdot 24 + 21,633) / (1,9461 \cdot 24^2 \cdot 21,633 \cdot 78) \cdot 2019,9 = 46,683 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,2665 \cdot 2019,9 / (24^2 \cdot 78) - 1,381 \cdot 46,683 = 37,43 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0,097301 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |37,804 - 0,097301 + 46,683|; |37,804 - 0,097301 + 37,43|; |37,804 + 0,097301| \} = 84,39 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

84,39 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 78^2 \cdot 0,10337 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 17)) / (3,1416 \cdot (78 + 17) \cdot (17 - 0)) = 0,097301 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = \max \{ |37,804 - 0,097301 + 46,683|; |37,804 - 0,097301 + 37,43|; |37,804 + 0,097301| \} = 84,39 \text{ МПа}$$

84,39 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 37,708 = 37,708 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

37,708 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

					МПа		
Взам. инв. №					84,39 МПа ≤ 400,91 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>		
					Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s <sub>0</sub> :		
					$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 37,708 = 37,708 \text{ МПа}$		
					Условие статической прочности при затяжке в сечении s <sub>0</sub> (п. 8.5.2):		
					$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$		
Подп. и дата					Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):		
					$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$		
					$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$		
					37,708 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>		
					Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :		
Инв. № подл.					90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							209
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.			Дата

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 37,804 = 37,804 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.10337 + 0 + 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3.1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 0)) = 0.31179 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10337 \cdot 78 / (2 \cdot (6 - 0)) = 0.67188 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |37.804 \pm 0.31179|; |0.3 \cdot 37.804 \pm 0.67188|; |0.7 \cdot 37.804 \pm (0.31179 - 0.67188)| \} = 38.116 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222.73 = 668.18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668.18 = 868.64 \text{ МПа}$$

38,116 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 78^2 \cdot 0.10337 + 0 - 4 \cdot 0 / (78 + 6)) / (3.1416 \cdot (78 + 6) \cdot (6 - 0)) = 0.31179 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |37.804 \pm 0.31179|; |0.3 \cdot 37.804 \pm 0.67188|; |0.7 \cdot 37.804 \pm (0.31179 - 0.67188)| \} = 38.116 \text{ МПа}$$

38,116 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  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ |0.67188|; |0.31179| \} = 0.67188 \text{ МПа}$$

0,67188 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |46.564|; |37.335| \} = 46.564 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

46,564 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ |46.683|; |37.43| \} = 46.683 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222.73 = 222.73 \text{ МПа}$$

46,683 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

**Жёсткость фланца:**

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\omega = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 2019.9 \cdot 0.15083 \cdot 10^{-4} \cdot 1.99 \cdot 10^5 / 1.99 \cdot 10^5 = 0.030466^\circ$$

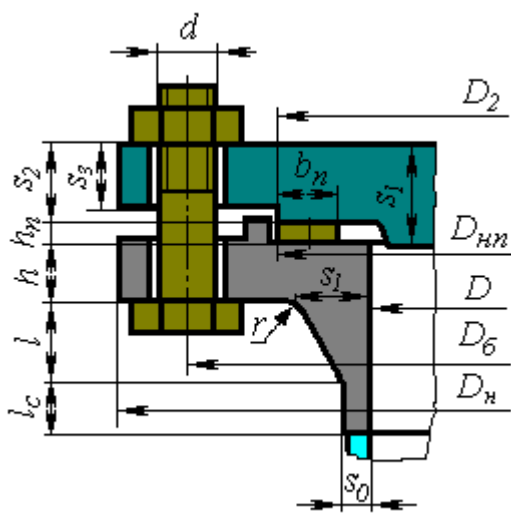
Взам. инв. №		$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ 46,564 МПа $\leq$ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max[46,683; 37,43] = 46,683 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ 46,683 МПа $\leq$ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> <b>Жёсткость фланца:</b> Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 2019,9 \cdot 0,15083 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,030466^\circ$					
		Подп. и дата		Инв. № подл.			
90651-20600-AM-02-225 PP							Лист
							210
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					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР	
<p>Допускаемый угол поворота фланца: <math>[\varphi] = 0,34377^\circ</math> Условие выполнения жесткости фланцев: <math>\varphi \leq K_{\varphi} \cdot [\varphi] = 1,3 * 0,34377 = 0,44691^\circ</math> <b>Условие жёсткости выполнено.</b></p>											
					90651-20600-AM-02-225 РР					Лист	
										211	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Крышка плоская МН1					
					
Эскиз элемента					
Исходные данные					
Параметры крышки:					
Материал: 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ					
8479 Поковка					
Толщина стенки, s1: 45 мм					
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1: 4 мм					
Прибавка для компенсации минусового допуска, c2: 0 мм					
Прибавка технологическая, c3: 0 мм					
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c: 4 мм					
Толщина в месте прокладки, s2: 41 мм					
Толщина вне уплотнения, s3: 35 мм					
Наименьший диаметр наружной утоненной части, D2: 875 мм					
Наружный диаметр крышки, Dн: 955 мм					
Коэффициент прочности сварного шва:					
Фp = 1					
Параметры фланца:					
Тип фланца: Приварные встык					
Исполнение фланца: Выступ-впадина					
Диаметр болтовой окружности, D6: 915мм					
Материал фланца: 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ					
8479 Поковка					
Смежный элемент: Обечайка МН1					
Материал смежного элемента: 09Г2С Лист					
Толщина стенки смежного элемента: 14 мм					
Внутренний диаметр фланца, D: 800 мм					
Наружный диаметр фланца, Dн: 955 мм					
Толщина фланца, h: 45 мм					
Сумма прибавок, c: 4 мм					
Длина конической части втулки, l: 47 мм					
Длина цилиндрической части втулки, lc: 0 мм					
Толщина цилиндрической части втулки, s0: 15 мм					
Толщина конической части втулки, s1: 30 мм					
Радиус перехода, r: 7 мм					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					212
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4





НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР												
<p>= 100 °С: <math>\alpha_{\text{ф}}=0,116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}</math> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия): <math>[\sigma]^{20}_{\text{ф}}= 164,5 \text{ МПа}</math> Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20}_{\text{ф}}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> Характеристики прокладки</p> <table><tr><td>Тип и материал прокладки</td><td>Коэффициент m</td><td>Удельное давление обжатия <math>q_{\text{обж}}</math>, МПа</td><td>Допускаемое удельное давление [q], МПа</td><td>Коэффициент обжатия K</td><td>Условный модуль сжатия <math>E_n</math>, МПа</td></tr><tr><td>Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали</td><td>3</td><td>69</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> <p>Эффективная ширина прокладки : <math>b_0=12 \text{ мм}</math></p> <p>Примечание: <math display="block">\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} &gt; 15,0 \text{ мм} \end{cases}</math></p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки: <math>D_{\text{тп}} = \min\{D_4; D_{\text{кп}}\} = \min\{875; 875\} = 875 \text{ мм}</math> Средний эффективный диаметр прокладки: <math>D_{\text{ст}} = D_{\text{тп}} - b_0 = 875 - 12 = 863 \text{ мм}</math> Для металлических и асбометаллических прокладок <math>y_n = 0</math>.</p> <p><b>Расчётные параметры болтов (шпилек):</b> Рабочая длина болта (шпильки): <math>L_{60} = h + s_2 + h_{\text{п}} + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}} = 41 + 45 + 0 + 0 = 90,5 \text{ мм}</math> Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): <math>f_6 = 225 \text{ мм}^2</math> Эффективная длина шпильки: <math>L_6 = L_{60} + 0,56 \cdot d = 90,5 + 0,56 \cdot 20 = 101,7 \text{ мм}</math> Податливость шпилек: <math>y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 101,7 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 48) = 0,4421 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}</math></p> <p><b>Расчётные параметры крышки:</b> <math>K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ст}}} = 955 / 863 = 1,1066</math> <math display="block">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 (1,1066^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,1066)) - 1)}{(1,1066 - 1) \cdot [1,1066^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,1066^2 + 1) \cdot (45 / 41)^3]} = 0,94573</math> Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20}_{\text{кр}}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> Угловая податливость крышки: <math>y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E^{20}_{\text{кр}} \cdot s_2^3} = 0,94573 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 41^3) = 0,39508 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{Н} \cdot \text{м}</math></p> <div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ док.</div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div> <div>90651-20600-AM-02-225 РР</div> <div><div>Лист</div><div>214</div></div>						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	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-
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												
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-												

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Расчётные параметры фланца:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (800 \cdot 15)^{1/2} = 109,54 \text{ мм}$$
$$\beta_F = 0,84153$$
$$K = \frac{D_K}{D} = 955 / 800 = 1,1937$$
$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,1937^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,1937) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 1,1937^2) \cdot (1,1937 - 1)) = 1,8396$$
$$\beta_V = 0,24898$$
$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,1937^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,1937) - 1) / (1,36 \cdot (1,1937^2 - 1) \cdot (1,1937 - 1)) = 12,162$$
$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,84153 \cdot 45 + 109,54) / (1,8396 \cdot 109,54) + 0,24898 \cdot 45^3 / (12,162 \cdot 109,54 \cdot 15^2) = 0,80719$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0,91 \cdot 0,24898 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,80719 \cdot 15^2 \cdot 109,54) = 0,32789 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$
$$b = 0,5 \cdot (D_B - D_{\text{сш}}) = 0,5 \cdot (915 - 863) = 26 \text{ мм}$$
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 30/15 = 2$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 47 / (800 \cdot 15)^{1/2} = 0,42905$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2 - 1) \cdot 0,42905 / (0,42905 + (1 + 2) / 4) = 1,3639$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,3639 \cdot 15 = 20,458 \text{ мм}$$
$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0,5 \cdot (863 - 800 - 20,458) = 21,271 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 863^2 \cdot 0,070000 = 40925 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 863 \cdot 12 \cdot 3 \cdot |0,070000| = 6832,2 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 863 \cdot 12 \cdot 69 = 1,1224 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)

$$\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}^I \cdot b^I + y_{\text{ф}}^{II} \cdot b^{II} = 0 + 0,4421 \cdot 10^{-7} + 0,39508 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2 + 0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2 = 0,12951 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}} \cdot e + y_{\text{кр}} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 21,271 + 0,39508 \cdot 10^{-5} \cdot 26) \cdot 26) / 0,12951 \cdot 10^{-6} = 1,6043$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

$$E_{\text{кр}}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						215
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия		$\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^M}{A_{\epsilon}} = 1,1224 \cdot 10^6 / 10800 = 103,93 \text{ МПа}$ <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> $M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_{\epsilon}^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 1,1224 \cdot 10^6 \cdot 20 / 48 = 140,3 \text{ Н·м}$ <p>При наличии смазки величина <math>M_{\text{кр}}</math> снижается на 25% и составляет <math>0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 105,23 \text{ Н·м}</math></p> <p><math>103,93 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> $[\sigma]_{\epsilon}^P = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\epsilon} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{\epsilon}^P = P_{\epsilon}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{н}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{п}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,1224 \cdot 10^6 + (1 - 1,6043) \cdot (40925 + (-3479,2)) + 4 \cdot (1 - 1,4265) \cdot  0  / 863 = 1,0998 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> $\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^P}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^P$ $\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^P}{A_{\epsilon}} = 1,0998 \cdot 10^6 / 10800 = 101,83 \text{ МПа}$ <p><math>101,83 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Расчёт второго фланца:</b></p> <p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p> $C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\epsilon}}{n}}{2 \cdot d + \frac{\delta \cdot h}{m + 0,5}}} \right\} = \max \{ 1; (3,1416 \cdot 915 / 48 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 45 / (3 + 0,5)))^{1/2} \} = 1$ <p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p> $M^M = C_F \cdot P_{\epsilon}^M \cdot b = 1 \cdot 1,1224 \cdot 10^6 \cdot 26 = 29183 \text{ Н·м}$ $D^* = (D + 2 \cdot c)_{\text{при } (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c)} = 800 + 2 \cdot 0 \text{ при } (800 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (30 - 0) = 800 \text{ мм}$ <p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении <math>s_1</math>:</p> $\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 29183 / (0,80719 \cdot (30 - 4)^2 \cdot 800) = 66,853 \text{ МПа}$ <p>Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,84153 \cdot 45 + 109,54) / (0,80719 \cdot 45^2 \cdot 109,54 \cdot 800) \cdot 29183 = 32,578 \text{ МПа}$ $\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,1937 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 1,1937^2 \cdot \lg 1,1937 / (1,1937^2 - 1)) = 11,174$ $\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,1937^2 + 1) / (1,1937^2 - 1) = 5,7054$ <p>Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 11,174 \cdot 29183 / (45^2 \cdot 800) - 5,7054 \cdot 32,578 = 15,423 \text{ МПа}$ <p>Условие статической прочности при затяжке в сечении <math>s_1</math> (п. 8.5.1):</p> $\max \{  \sigma_1^M + \sigma_R^M ;  \sigma_1^M + \sigma_T^M  \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$ $\max \{  \sigma_1^M + \sigma_R^M ;  \sigma_1^M + \sigma_T^M  \} = \max \{ 66,853 + 32,578;  66,853 + 15,423  \} = 99,431 \text{ МПа}$ <p>Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p> $[\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 164,5 = 246,75 \text{ МПа}$			
Взам. инв. №	Подп. и дата				
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					217

$$K = \frac{D_H}{D} = 955 / 800 = 1,1937$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1 \cdot 1 \cdot 246,75 = 246,75 \text{ МПа}$$

99,431 МПа ≤ 246,75 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 863 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 863 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_g^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 1,0977 \cdot 10^6 \cdot 26 + (40925 + 0) \cdot 21,271; |40925 + 0| \cdot 21,271 \} = 29411 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 29411 / (0,80719 \cdot (30 - 4)^2 \cdot 800) = 67,374 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,84153 \cdot 45 + 109,54) / (0,80719 \cdot 45^2 \cdot 109,54 \cdot 800) \cdot 29411 = 32,832 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 11,174 \cdot 29411 / (45^2 \cdot 800) - 5,7054 \cdot 32,832 = 15,543 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1 (+)$ :

$$\sigma_{\text{лм}}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 800^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (800 + 30)) / (3,1416 \cdot (800 + 30) \cdot (30 - 4)) = 0,51874 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ 67,374 - 0,51874 + 32,832; |67,374 - 0,51874 + 15,543|; |67,374 + 0,51874| \} = 99,688 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1 \cdot 1 \cdot 216 = 216 \text{ МПа}$$

99,688 МПа ≤ 216 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1 (-)$ :

$$\sigma_{\text{лм}}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 800^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (800 + 30)) / (3,1416 \cdot (800 + 30) \cdot (30 - 4)) = 0,51874 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ 67,374 - 0,51874 + 32,832; |67,374 - 0,51874 + 15,543|; |67,374 + 0,51874| \} = 99,688 \text{ МПа}$$

99,688 МПа ≤ 216 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{ 2,9798 / (1 + 1); 1,0 \} = 1,4899$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1,4899 \cdot 66,853 = 99,603 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_0$  (п. 8.5.2):

90651-20600-AM-02-225 PP

Лист

218

$$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

99,603 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_\Phi^P = 1,4899 \cdot 67,374 = 100,38 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 800^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (800 + 15)) / (3,1416 \cdot (800 + 15) \cdot (15 - 4)) = 1,2487 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 800 / (2 \cdot (15 - 4)) = 2,5455 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 100,38 \pm 1,2487; | 0.3 \cdot 100,38 \pm 2,5455; | 0.7 \cdot 100,38 \pm (1,2487 - 2,5455) \} = 101,63 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561,6 \text{ МПа}$$

101,63 МПа ≤ 561,6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 800^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (800 + 15)) / (3,1416 \cdot (800 + 15) \cdot (15 - 4)) = 1,2487 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 100,38 \pm 1,2487; | 0.3 \cdot 100,38 \pm 2,5455; | 0.7 \cdot 100,38 \pm (1,2487 - 2,5455) \} = 101,63 \text{ МПа}$$

101,63 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  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 2,5455; | 1,1251 \} = 2,5455 \text{ МПа}$$

2,5455 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 32,578; | 15,423 \} = 32,578 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$$

32,578 МПа ≤ 164,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^p \right ; \left  \sigma_{0mm}^p \right  \right\} = \max \{ 2,5455; 1,1251 \} = 2,5455 \text{ МПа}$ $2,5455 \text{ МПа} \leq 144 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности при затяжке для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^m \right ; \left  \sigma_T^m \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^m \right ; \left  \sigma_T^m \right  \right\} = \max \{ 32,578; 15,423 \} = 32,578 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$ $32,578 \text{ МПа} \leq 164,5 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^p \right ; \left  \sigma_T^p \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$						
Подп. и дата								
Инд. № подл.								
							90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
								219

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 32,832; 15,543 \} = 32,832 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_P = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$$

32,832 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

### Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 29391 \cdot 0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 = 0,10041^\circ$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\Theta] = 0,44404^\circ$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев:  $K_{\Theta} = 1$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0,44404 = 0,44404^\circ$$

**Условие жёсткости выполнено.**

Температура фланца (кольца),  $t_{\Phi}$ : 100 °C

В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:

$$\max \{ t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi} \} \leq 120^\circ \text{C}$$

$$\max \{ t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi} \} = \max \{ 100; 100; 97 \} = 100 / ^\circ \text{C}$$

**Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.**

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре  $T = 100^\circ \text{C}$ :

$$\alpha_{\text{кр}} = 0,116 \cdot 10^{-4} / ^\circ \text{C}$$

Относительное удлинение :

$$\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^\circ \text{C}) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^\circ \text{C})}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\Phi} - 20^\circ \text{C})}$$

$$= [0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 41 \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) + 0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 45 \cdot (100 - 20^\circ \text{C})] / [0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (41 + 45) \cdot (97 - 20^\circ \text{C})] = 1,0858$$

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.**

### 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

$$\Psi = \frac{P_{\Phi}}{Q_{\Phi}} = 1,147 \cdot 10^6 / 40925 = 28,026$$

$$K_{\Phi} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \Psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{\text{сп}}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}}} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 28,026 \cdot (915 / 863 - 1)}{(915 / 863)}} = 0,98069$$

Поправочный коэффициент для допускаемого давления  $K_p = 1.0$

Допускаемое давление:

$$[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_{\Phi} \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \Phi \cdot K_p = [(45 - 4) / (1 \cdot 0,98069 \cdot 863)]^2 \cdot 144 \cdot 1 \cdot 1 = 0,33794 \text{ МПа}$$

$$0,33794 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							220
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			



Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{\text{ф}} + c = K_{\text{с}} \cdot K_0 \cdot D_{\text{Р}} \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi \cdot [\sigma] \cdot K_{\text{Р}}}} + c = 0,98069 \cdot 1 \cdot 863 \cdot (0,070000 / [1 \cdot 144 \cdot 1])^{1/2} + 4 = 22,66 \text{ мм}$$

$$22,66 \text{ мм} \leq 45 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_{\gamma} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}} - 1 = 0,8 \cdot \sqrt{915 / 863} - 1^{1/2} = 0,19638$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_{\text{кр}} = 144 \text{ МПа}$$

### Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, с учетом температурной нагрузки)

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{с}} \cdot \frac{E_{\text{с}}^{20}}{E_{\text{с}}} + \left( y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{\text{ф}}^{20}}{E_{\text{ф}}} + y_{\text{кр}} \cdot \frac{E_{\text{кр}}^{20}}{E_{\text{кр}}} \right) \cdot b^2} = \frac{1 / (0 + 0,4421 \cdot 10^{-7} \cdot 2,13 \cdot 10^5 / 2,1011 \cdot 10^5 + (0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 + 0,39508 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5) \cdot 26^2)}{7,4801 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}}$$

Нагрузка от температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot \left( \begin{aligned} &(\alpha'_{\text{ф}} \cdot h' + \alpha'_{\text{ш}} \cdot h'_{\text{ш}}) \cdot (t_{\text{ф}1} - 20^{\circ}\text{C}) + \\ &+ (\alpha''_{\text{ф}} \cdot h'' + \alpha''_{\text{ш}} \cdot h''_{\text{ш}}) \cdot (t_{\text{ф}2} - 20^{\circ}\text{C}) - \\ &- \alpha_{\text{с}} \cdot (h' + h'' + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}}) \cdot (t_{\text{с}} - 20^{\circ}\text{C}) \end{aligned} \right)$$

$$= 7,4801 \cdot 10^6 \cdot ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 41 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C}) + ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 45 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C}) - 0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (41 + 45 + 0 + 0) \cdot (97 - 20^{\circ}\text{C}))$$

$$= 47153 \text{ Н}$$

$$P_{\text{с1}} = \max \left\{ \begin{aligned} &\alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ &\alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{aligned} \right\} = \max \left\{ \begin{aligned} &1,6043 \cdot (40925 + (-3479,2)) + 6832,2 + 4 \cdot 1,4265 \cdot |0| / 863 = 66907 \\ &1,6043 \cdot (40925 + (-3479,2)) + 6832,2 + 4 \cdot 1,4265 \cdot |0| / 863 - 47153 = 19754 \end{aligned} \right\} = 66907 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\text{с}}^{\text{Р}} = P_{\text{с}}^{\text{М}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = \frac{1,1224 \cdot 10^6 + (1 - 1,6043) \cdot (40925 + (-3479,2)) + 47153 + 4 \cdot (1 - 1,4265) \cdot |0| / 863}{1,147 \cdot 10^6 \text{ Н}}$$

$$\Phi = \max \left\{ \frac{P_{\text{с}}^{\text{Р}}}{[\sigma]}, \frac{P_{\text{с}}^{\text{М}}}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \left\{ \frac{1,147 \cdot 10^6}{144}, \frac{1,1224 \cdot 10^6}{222,73} \right\} = 7965 \text{ мм}^2$$

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{\text{зп}} + c = \max \left\{ K_{\gamma} \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{сп}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,19638 \cdot 7965^{1/2}; 0,6 \cdot 7965 / 863 \} + 0 = 17,526 \text{ мм}$$

$$17,526 \text{ мм} \leq 41 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K'_{\gamma} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2}} - 1 = 0,8 \cdot \sqrt{915 / 875} - 1^{1/2} = 0,17105$$

Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{\text{зп}} + c = \max \left\{ K'_{\gamma} \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,17105 \cdot 7965^{1/2}; 0,6 \cdot 7965 / 875 \} + 0 = 15,265 \text{ мм}$$

$$15,265 \text{ мм} \leq 35 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР
					Лист
					221

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР		
Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро							
Фланец:							
Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:							
$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,099957 \text{ МПа}$							
Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:							
$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,099957 \text{ МПа}$							
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)							
Условия нагружения при испытаниях:							
Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 3943,8 Н							
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м							
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,10092 МПа							
По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:							
$P_{\text{исп}} < 1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$							
$1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,10795 \text{ МПа} \geq 0,10092 \text{ МПа}$							
Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017:							
Свойства материала болтов (шпилек)							
Температура болтов (шпилек), t <sub>б</sub> : 20 °С							
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):							
[σ] <sup>20<sub>б</sub></sup> = 130 МПа							
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:							
E <sup>20<sub>б</sub></sup> =2,13·10 <sup>5</sup> МПа							
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:							
α <sup>20<sub>б</sub></sup> =0,111·10 <sup>-4</sup> /°С							
Свойства материала смежного элемента фланца 2 Обечайка МН1							
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):							
$[\sigma]_{20_{\text{ш}}} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$							
Свойства материала фланца							
Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> : 20 °С							
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):							
$[\sigma]_{20_{\text{ф}}} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$							
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:							
E <sup>20<sub>ф</sub></sup> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа							
Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:							
α <sup>20<sub>ф</sub></sup> =0,116·10 <sup>-4</sup> /°С							
Характеристики прокладки							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
							222

90651-20600-AM-02-225 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
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E <sub>n</sub> , МПа
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		3	69	-	-	-

Эффективная ширина прокладки :  
b<sub>0</sub>=12 мм

Примечание: 
$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{лп}} & \text{при } b_{\text{лп}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{лп}}} & \text{при } b_{\text{лп}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$$

Средний эффективный диаметр прокладки:  
D<sub>ст</sub> = D<sub>лпф</sub> - b<sub>0</sub> = 875 - 12 = 863 мм

**Расчётные параметры крышки:**

$$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ст}}} = 955 / 863 = 1,1066$$

$$x_{\text{кр}} = \frac{0.67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{(0.67 \cdot (1,1066^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1,1066)) - 1)) / ((1,1066 - 1) \cdot [1,1066^2 - 1 + (1.857 \cdot 1,1066^2 + 1) \cdot (45 / 41)^3])}{1} = 0,94573$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °C:  
E<sup>20</sup><sub>кр</sub> = 1,99·10<sup>5</sup> МПа

Угловая податливость крышки:

$$y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0,94573 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 41^3) = 0,39508 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

**Расчётные параметры фланца:**

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (800 \cdot 15)^{1/2} = 109,54 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0,84153$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,1937^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1,1937) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1,1937^2) \cdot (1,1937 - 1)) = 1,8396$$

$$\beta_V = 0,24898$$

$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,1937^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1,1937) - 1) / (1.36 \cdot (1,1937^2 - 1) \cdot (1,1937 - 1)) = 12,162$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,84153 \cdot 45 + 109,54) / (1,8396 \cdot 109,54) + (0,24898 \cdot 45^3) / (12,162 \cdot 109,54 \cdot 15^2) = 0,80719$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0,24898 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,80719 \cdot 15^2 \cdot 109,54) = 0,32789 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

a = 0

b = 0.5 · (D<sub>б</sub> - D<sub>ст</sub>) = 0.5 · (915 - 863) = 26 мм

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 30/15 = 2$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 47 / (800 \cdot 15)^{1/2} = 0,42905$$

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						223

90651-20600-AM-02-225 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	
	$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2 - 1) \cdot 0,42905 / (0,42905 + (1 + 2) / 4) = 1,3639$					
	Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:					
	$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,3639 \cdot 15 = 20,458 \text{ мм}$					
	$e = 0.5 \cdot (D_{\text{ст}} - D - s_3) = 0.5 \cdot (863 - 800 - 20,458) = 21,271 \text{ мм}$					
<b>Расчёт нагрузок:</b>						
Равнодействующая давления:						
$Q_{\text{д}} = 0.785 \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 863^2 \cdot 0,10092 = 59005 \text{ Н}$						
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:						
$R_{\pi} = \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot m \cdot  p  = 3,1416 \cdot 863 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 0,10092 = 9850,5 \text{ Н}$						
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:						
$P_{\text{обж}} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0.5 \cdot 3,1416 \cdot 863 \cdot 12 \cdot 69 = 1,1224 \cdot 10^6 \text{ Н}$						
<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b>						
Рабочая длина болта (шпильки):						
$L_{\text{б0}} = h + s_2 + h_{\pi} + h_{\text{ш}}^I + h_{\text{ш}}^{II} = 41 + 45 + 4,5 + 0 + 0 = 90,5 \text{ мм}$						
Эффективная длина шпильки:						
$L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d = 90,5 + 0.56 \cdot 20 = 101,7 \text{ мм}$						
Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):						
$f_{\text{б}} = 225 \text{ мм}^2$						
Податливость шпилек:						
$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}}^{20} \cdot f_{\text{б}} \cdot n} = 101,7 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 48) = 0,4421 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$						
$\eta = y_{\pi} + y_{\text{б}} + y_{\text{ф}}^I \cdot b^I{}^2 + y_{\text{ф}}^{II} \cdot b^II{}^2 = 0 + 0,4421 \cdot 10^{-7} + 0,39508 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2 + 0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2 = 0,12951 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$						
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:						
$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\text{ф}}^I \cdot e + y_{\text{ф}}^{II} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,32789 \cdot 10^{-5} \cdot 21,271 + 0,39508 \cdot 10^{-5} \cdot 26) \cdot 26) / 0,12951 \cdot 10^{-6} = 1,6043$						
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:						
$E_{\text{кр}}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$						
Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:						
$y_{\text{фМ}} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\text{б}}}{E^{20} \cdot D_{\text{к}} \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 915 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 955 \cdot 41^3) = 0,19391 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{Н}\cdot\text{м}$						
Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:						
$y_{\text{фМ}} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\text{б}}}{E^{20} \cdot D_{\text{к}} \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 915 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 955 \cdot 45^3) = 0,14666 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{Н}\cdot\text{м}$						
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:						
$\alpha_{\text{М}} = \frac{y_{\text{б}} + y_{\text{фМ}}^I \cdot b^I \cdot \left( b^I + e^I - \frac{e^I{}^2}{D_{\text{ст}}} \right) + y_{\text{фМ}}^{II} \cdot b^II \cdot \left( b^II + e^II - \frac{e^II{}^2}{D_{\text{ст}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\pi} \cdot \left( \frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{ст}}} \right)^2 + y_{\text{фМ}}^I \cdot b^I{}^2 + y_{\text{фМ}}^{II} \cdot b^II{}^2}$						
$= [0,4421 \cdot 10^{-7} + 0,19391 \cdot 10^{-5} \cdot 26 \cdot (26 + 26 - 26^2 / 863) + 0,14666 \cdot 10^{-5} \cdot 26 \cdot (26 + 21,271 - 21,271^2 / 863)] / [0,4421 \cdot 10^{-7} + 0 \cdot (915 / 863)^2 + 0,19391 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2 + 0,19391 \cdot 10^{-5} \cdot 26^2]$						
$= 1,4265$						
$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6043 \cdot (59005 + (-3943,8)) + 9850,5 + 4 \cdot 1,4265 \cdot 0 / 863 = 98185 \text{ Н}$						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						224

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT				МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ				PP	
	<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</b>									
	$P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6043 \cdot (59005 + 0) + 9850,5 + 4 \cdot 1,4265 \cdot  0  / 863 = 1,0451 \cdot 10^5 \text{ Н}$									
	<p>Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:</p> $A_{\epsilon} = n \cdot f_{\epsilon} = 48 \cdot 225 = 10800 \text{ мм}^2$ <p>Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:</p> $P_{\epsilon 2} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\epsilon} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} \} = \max \{ 1,1224 \cdot 10^6; 0,4 \cdot 10800 \cdot 130 = 5,616 \cdot 10^5 \} = 1,1224 \cdot 10^6 \text{ Н}$									
<b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b>										
<b>Расчёт болтов(шпилек):</b>										
<p>Козффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: <math>\xi = 1,2</math> Козффициент условий работы: <math>K_{\text{ур}} = 1,35</math> Козффициент условий затяжки: <math>K_{\text{уз}} = 1</math> Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:</p> $[\sigma]_{\epsilon}^{\text{м}} = \xi \cdot K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\epsilon}^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$ <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 дей-ствие давления. Проводятся оба расчета, в отчет выводится худший случай.</p>										
<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b>										
$P_{\epsilon 1} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6043 \cdot (59005 + (-3943,8)) + 9850,5 + 4 \cdot 1,4265 \cdot  0  / 863 = 98185 \text{ Н}$										
<p>Болтовая нагрузка в условиях затяжки:</p> $P_{\epsilon}^{\text{м}} = \max \{ P_{\epsilon 1}; P_{\epsilon 2} \} = \max \{ 98185; 1,1224 \cdot 10^6 \} = 1,1224 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Условие прочности при затяжке:</p> $\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}}}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^{\text{м}}$ $\sigma_{\epsilon 1} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}}}{A_{\epsilon}} = 1,1224 \cdot 10^6 / 10800 = 103,93 \text{ МПа}$ <p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p> $M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_{\epsilon}^{\text{м}} \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 1,1224 \cdot 10^6 \cdot 20 / 48 = 140,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ <p>При наличии смазки величина <math>M_{\text{кр}}</math> снижается на 25% и составляет <math>0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 105,23 \text{ Н} \cdot \text{м}</math> <math>103,93 \text{ МПа} \leq 210,6 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p> $[\sigma]_{\epsilon}^{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\epsilon} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175,5 \text{ МПа}$ <p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p> $P_{\epsilon}^{\text{р}} = P_{\epsilon}^{\text{м}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,1224 \cdot 10^6 + (1 - 1,6043) \cdot (59005 + (-3943,8)) + 4 \cdot (1 - 1,4265) \cdot  0  / 863 = 1,0892 \cdot 10^6 \text{ Н}$ <p>Условие прочности в рабочих условиях:</p> $\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{р}}}{A_{\epsilon}} \leq [\sigma]_{\epsilon}^{\text{р}}$ $\sigma_{\epsilon 2} = \frac{P_{\epsilon}^{\text{р}}}{A_{\epsilon}} = 1,0892 \cdot 10^6 / 10800 = 100,85 \text{ МПа}$										
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 PP						Лист	
									225	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата						

90651-20600-AM-02-225 PP\_изм.0.docx

Формат А4

100,85 МПа ≤ 175,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{1; (3,1416 \cdot 915 / 48 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 45 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 1,1224 \cdot 10^6 \cdot 26 = 29183 \text{ Н·м}$$

$$D^* = (D + 2 \cdot c)_{\text{при } (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c)} = 800 + 2 \cdot 0 \text{ при } (800 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (30 - 0) = 800 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 29183 / (0,80719 \cdot (30 - 0)^2 \cdot 800) = 50,214 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,84153 \cdot 45 + 109,54) / (0,80719 \cdot 45^2 \cdot 109,54 \cdot 800) \cdot 29183 = 32,578 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,1937 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 1,1937^2 \cdot \lg 1,1937 / (1,1937^2 - 1)) = 11,174$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,1937^2 + 1) / (1,1937^2 - 1) = 5,7054$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 11,174 \cdot 29183 / (45^2 \cdot 800) - 5,7054 \cdot 32,578 = 15,423 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ |50,214 + 32,578|; |50,214 + 15,423| \} = 82,792 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_H}{D} = 955 / 800 = 1,1937$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1 \cdot 1 \cdot 334,09 = 334,09 \text{ МПа}$$

82,792 МПа ≤ 334,09 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 863 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 863 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 1,0868 \cdot 10^6 \cdot 26 + (59005 + 0) \cdot 21,271; |59005 + 0| \cdot 21,271 \} = 29511 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 29511 / (0,80719 \cdot (30 - 0)^2 \cdot 800) = 50,778 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1.33 \cdot 0.84153 \cdot 45 + 109.54) / (0.80719 \cdot 45^2 \cdot 109.54 \cdot 800) \cdot 29511 = 32,945 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 11,174 \cdot 29511 / (45^2 \cdot 800) - 5,7054 \cdot 32,945 = 15,597 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 800^2 \cdot 0.10092 + 0 + 4 \cdot 0 / (800 + 30)) / (3.1416 \cdot (800 + 30) \cdot (30 - 0)) = 0,64818 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |50,778 - 0,64818 + 32,945|; |50,778 - 0,64818 + 15,597|; |50,778 + 0,64818| \} = 83,075 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1.5 \cdot [\sigma]_F = 1.5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1 \cdot 1 \cdot 334,09 = 334,09 \text{ МПа}$$

83,075 МПа ≤ 334,09 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 800^2 \cdot 0.10092 + 0 - 4 \cdot 0 / (800 + 30)) / (3.1416 \cdot (800 + 30) \cdot (30 - 0)) = 0,64818 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|, \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|, \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |50,778 - 0,64818 + 32,945|; |50,778 - 0,64818 + 15,597|; |50,778 + 0,64818| \} = 83,075 \text{ МПа}$$

83,075 МПа ≤ 334,09 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 2,9798 / (1 + 1); 1.0 \} = 1,4899$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1,4899 \cdot 50,214 = 74,813 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

74,813 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1,4899 \cdot 50,778 = 75,654 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 800^2 \cdot 0.10092 + 0 + 4 \cdot 0 / (800 + 15)) / (3.1416 \cdot (800 + 15) \cdot (15 - 0)) = 1,3202 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0.10092 \cdot 800 / (2 \cdot (15 - 0)) = 2,6913 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$[\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{Ф}}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$ $1,3 \cdot [\sigma]_{\text{Р}}^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$ $74,813 \text{ МПа} \leq 868,64 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $s_0$ : $\sigma_{\text{Ф}}^{\text{Р}} = f \cdot \sigma_{\text{Л}}^{\text{Р}} = 1,4899 \cdot 50,778 = 75,654 \text{ МПа}$ Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $S_0$ (+): $\sigma_{0\text{мм}}^{\text{Р}+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 800^2 \cdot 0,10092 + 0 + 4 \cdot 0 / (800 + 15)) / (3,1416 \cdot (800 + 15) \cdot (15 - 0)) = 1,3202 \text{ МПа}$ Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении $s_0$ : $\sigma_{0\text{мо}}^{\text{Р}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,10092 \cdot 800 / (2 \cdot (15 - 0)) = 2,6913 \text{ МПа}$			
		Подп. и дата			

Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							227
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :					
$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} = \max \{ 75,654 \pm 1,3202;   0.3 * 75,654 \pm 2,6913;   0.7 * 75,654 \pm (1,3202 - 2,6913) \} = 76,974 \text{ МПа}$					
Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):					
[σ] <sub>R</sub> =3·[σ] <sub>ф</sub> =3* 222,73= 668,18 МПа					
1.3 · [σ] <sub>R</sub> =1.3 * 668,18= 868,64 МПа					
76,974 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S <sub>0</sub> (–):					
$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 * 800^2 * 0,10092 + 0 - 4 * 0 / (800 + 15)) / (3,1416 * (800 + 15) * (15 - 0)) = 1,3202 \text{ МПа}$					
$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$					
$\max \left\{ \left  \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right ; \left  0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right ; \left  0.7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right  \right\} = \max \{ 75,654 \pm 1,3202;   0.3 * 75,654 \pm 2,6913;   0.7 * 75,654 \pm (1,3202 - 2,6913) \} = 76,974 \text{ МПа}$					
76,974 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Расчет в сечении s<sub>0</sub> в рабочих условиях (п. 8.5.5 ГОСТ 34233.4-2017):</b>					
Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :					
$\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} \leq [\sigma]_\Phi$					
$\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} = \max \{ 2,6913;   1,2175 \} = 2,6913 \text{ МПа}$					
2,6913 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Условие статической прочности при затяжке для тарелок:					
$\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$					
$\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{ 32,578;   15,423 \} = 32,578 \text{ МПа}$					
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 * 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$					
32,578 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:					
$\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$					
$\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 32,945;   15,597 \} = 32,945 \text{ МПа}$					
$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 * 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$					
32,945 МПа ≤ 222,73 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Жёсткость фланца:</b>					
Угол поворота фланца в рабочих условиях:					
$\varpi = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 29489 * 0,32789 \cdot 10^{-5} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,096692^\circ$					
Допускаемый угол поворота фланца:					
[ϖ] = 0,44404 °					
Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K <sub>ϖ</sub> = 1,3					
Условие выполнения жесткости фланцев:					
ϖ ≤ K <sub>ϖ</sub> · [ϖ] = 1,3 * 0,44404 = 0,57725 °					
<b>Условие жёсткости выполнено.</b>					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					228
			Изм.	Лист	№ док.

90651-20600-AM-02-225 РР. изм.0.docx

Формат А4





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

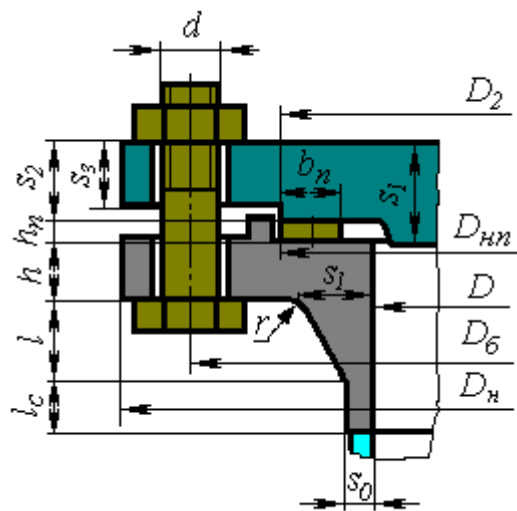
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР	
$K_7' = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0.8 \cdot [915 / 875 - 1]^{1/2} = 0,17105$ <p>Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок:</p> $s_{зр} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max\{0,17105 \cdot 5039,5^{1/2}; 0.6 \cdot 5039,5 / 875\} + 0 = 12,143 \text{ мм}$ <p>12,143 мм ≤ 35 мм</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p>											
					90651-20600-AM-02-225 РР						Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							230

Взам. инв. №		Диаметр болтовой окружности, D <sub>б</sub> :		190мм			
		Материал фланца:		09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка			
Подп. и дата		Смежный элемент:		Измерение уровня (L1)			
		Материал смежного элемента:		09Г2С Труба			
		Толщина стенки смежного элемента:		12 мм			
		Внутренний диаметр фланца, D:		96 мм			
		Наружный диаметр фланца, D <sub>н</sub> :		230 мм			
		Толщина фланца, h:		21 мм			
		Сумма прибавок, с:		4 мм			
		Длина конической части втулки, l:		25 мм			
		Длина цилиндрической части втулки, l <sub>с</sub> :		12 мм			
		Толщина цилиндрической части втулки, s <sub>0</sub> :		7 мм			
Инв. № подл.		Толщина конической части втулки, s <sub>1</sub> :		18 мм			
						90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
							231
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.		Дата

Крышка плоская L1, L2

Расчет представлен для плоской крышки L1.



Эскиз элемента

Исходные данные

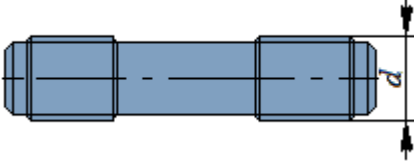
Параметры крышки:

Материал:	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка
Толщина стенки, s1:	22 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с1:	4 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, с2:	0 мм
Прибавка технологическая, с3:	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с:	4 мм
Толщина в месте прокладки, s2:	20 мм
Толщина вне уплотнения, s3:	16 мм
Наименьший диаметр наружной утоненной части, D2:	149 мм
Наружный диаметр крышки, Dн:	230 мм
Коэффициент прочности сварного шва:	φ <sub>р</sub> = 1

Параметры фланца:

Тип фланца:	Приварные встык
Исполнение фланца:	Выступ-впадина
Диаметр болтовой окружности, D6:	190мм
Материал фланца:	09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка
Смежный элемент:	Измерение уровня (L1)
Материал смежного элемента:	09Г2С Труба
Толщина стенки смежного элемента:	12 мм
Внутренний диаметр фланца, D:	96 мм
Наружный диаметр фланца, Dн:	230 мм
Толщина фланца, h:	21 мм
Сумма прибавок, с:	4 мм
Длина конической части втулки, l:	25 мм
Длина цилиндрической части втулки, lc:	12 мм
Толщина цилиндрической части втулки, s0:	7 мм
Толщина конической части втулки, s1:	18 мм

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР			
Радиус перехода, r:		5 мм						
Шпильки:		<div></div>						
		Крепеж						
Материал:		35 Крепеж						
Наружный диаметр, d:		20 мм						
Количество, n:		8						
Контроль затяжки:		Нет						
Прокладка:		Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали						
Материал прокладки:								
Толщина, hп:		3,2 мм						
Наружный диаметр, Dн.п:		149 мм						
Ширина, bп:		10 мм						
Расчёт в рабочих условиях								
Условия нагружения:								
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:		149,37 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 °С						
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):								
[σ]б= 126 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:								
Eб=2,1011·10 <sup>5</sup> МПа								
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:								
αб=0,111·10 <sup>-4</sup> /°С								
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):								
[σ] <sup>20</sup> б= 130 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:								
E <sup>20</sup> б=2,13·10 <sup>5</sup> МПа								
Свойства материала смежного элемента фланца 2 Измерение уровня (L1)								
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):								
[σ]ш= 160 МПа								
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (рабочие условия):								
[σ] <sup>20</sup> ш= 183 МПа								
Свойства материала фланца								
Температура фланца (кольца), tф:		100 °С						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):								
[σ]ф= 144 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:								
Eф=1,91·10 <sup>5</sup> МПа								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				Лист		
Изм.			Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	232

90651-20600-AM-02-225 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
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 $q_{обж}, \text{МПа}$	Допускаемое удельное давление $[q], \text{МПа}$	Коэффициент обжатия K
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		3	69	-	-
Эффективная ширина прокладки : $b_0=10 \text{ мм}$ $\begin{cases} b_0 = b_{\text{пр}} & \text{при } b_{\text{пр}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{пр}}} & \text{при } b_{\text{пр}} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$ Примечание: Рабочий наружный диаметр прокладки: $D_{\text{нпр}} = \min\{D_4; D_{\text{нл}}\} = \min\{149; 149\} = 149 \text{ мм}$ Средний эффективный диаметр прокладки: $D_{\text{ст}} = D_{\text{нпр}} - b_0 = 149 - 10 = 139 \text{ мм}$ Для металлических и асбометаллических прокладок $y_n = 0$ . <b>Расчётные параметры болтов (шпилек):</b> Рабочая длина болта (шпильки): $L_{\phi 0} = h + s_2 + h_{\text{п}} + h_{\text{ш}}^I + h_{\text{ш}}^{II} = 20 + 21 + 3,2 + 0 + 0 = 44,2 \text{ мм}$ Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): $f_{\phi} = 225 \text{ мм}^2$ Эффективная длина шпильки: $L_{\phi} = L_{\phi 0} + 0,56 \cdot d = 44,2 + 0,56 \cdot 20 = 55,4 \text{ мм}$ Податливость шпилек: $y_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{E_{\phi}^{20} \cdot f_{\phi} \cdot n} = 55,4 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 8) = 0,1445 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ <b>Расчётные параметры крышки:</b> $K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 230 / 139 = 1,6547$ $x_{\text{кр}} = \frac{0,67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0,67 \cdot (1,6547^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,6547)) - 1)}{(1,6547 - 1) \cdot [1,6547^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,6547^2 + 1) \cdot (22 / 20)^3]} = 0,71353$ 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-02-225 РР			
		Лист			
		233			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

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

Угловая податливость крышки:

$$y_{xp} = \frac{x_{xp}}{E_{xp}^{20} \cdot s_2^3} = 0,71353 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 20^3) = 0,2568 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

**Расчётные параметры фланца:**

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (96 \cdot 7)^{1/2} = 25,923 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0,71106$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 230 / 96 = 2,3958$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,3958^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,3958) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 2,3958^2) \cdot (2,3958 - 1)) = 1,3703$$

$$\beta_V = 0,10497$$

$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,3958^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 2,3958) - 1) / (1,36 \cdot (2,3958^2 - 1) \cdot (2,3958 - 1)) = 2,5964$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,3703 \cdot 25,923) + 0,10497 \cdot 21^3 / (2,5964 \cdot 25,923 \cdot 7^2) = 1,4449$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0,91 \cdot 0,10497 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,4449 \cdot 7^2 \cdot 25,923) = 0,14985 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0,5 \cdot (D_\Phi - D_{\text{сш}}) = 0,5 \cdot (190 - 139) = 25,5 \text{ мм}$$

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 18/7 = 2,5714$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 25 / (96 \cdot 7)^{1/2} = 0,9644$$

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,5714 - 1) \cdot 0,9644 / (0,9644 + (1 + 2,5714) / 4) = 1,816$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,816 \cdot 7 = 12,712 \text{ мм}$$

$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сш}} - D - s_3) = 0,5 \cdot (139 - 96 - 12,712) = 15,144 \text{ мм}$$

**Расчёт нагрузок:**

Равнодействующая давления:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сш}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 139^2 \cdot 0,070000 = 1061,7 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\pi} = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 139 \cdot 10 \cdot 3 \cdot |0,070000| = 917,03 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 139 \cdot 10 \cdot 69 = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)**

$$\eta = y_{\pi} + y_e + y_{\Phi}^I \cdot b^I + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II} = 0 + 0,1445 \cdot 10^{-6} + 0,2568 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2 + 0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2 = 0,606 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi} \cdot e + y_{xp} \cdot b)}{\eta} = 1 - (0 - (0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 15,144 + 0,2568 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5)) / 0,606 \cdot 10^{-6} = 1,6476$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

234

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
<div>20 °С: E<sup>20</sup><sub>кр</sub>=1,99·10<sup>5</sup> МПа Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math>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 190 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 230 \cdot 20^3) = 0,14404 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math> Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math>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 190 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 230 \cdot 21^3) = 0,12442 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math> Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math display="block">\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}</math> = [0,1445·10<sup>-6</sup> + 0,14404·10<sup>-4</sup> * 25,5 * (25,5 + 25,5 – 25,5<sup>2</sup> / 139) + 0,12442·10<sup>-4</sup> * 25,5 * (25,5 + 15,144 – 15,144<sup>2</sup> / 139)] / [0,1445·10<sup>-6</sup> + 0 * (190 / 139)<sup>2</sup> + 0,14404·10<sup>-4</sup> * 25,5<sup>2</sup> + 0,14404·10<sup>-4</sup> * 25,5<sup>2</sup>] = 1,4635 <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6476 \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 2420,2 \text{ Н}</math> <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)</b> <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6476 \cdot (1061,7 + 0) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 2666,3 \text{ Н}</math> Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: A<sub>6</sub> = n · f<sub>6</sub> = 8 · 225 = 1800 мм<sup>2</sup> Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: <math>P_{62} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20} \} = \max \{ 1,5066 \cdot 10^5; 0,4 \cdot 1800 \cdot 130 = 93600 \} = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}</math> <b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b> <b>Расчёт болтов(шпилек):</b> Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: ξ = 1,2 Коэффициент условий работы: K<sub>ур</sub> = 1 Коэффициент условий затяжки: K<sub>уз</sub> = 1 Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: <math>[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{\text{ур}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{yt}} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}</math> 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. <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)</b> <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,6476 \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 2420,2 \text{ Н}</math> Болтовая нагрузка в условиях затяжки: <math>P_6^M = \max \{ P_{61}; P_{62} \} = \max \{ 2420,2; 1,5066 \cdot 10^5 \} = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}</math> Условие прочности при затяжке:</div>				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
				Лист
				235

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 1,5066 \cdot 10^5 / 1800 = 83,697 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{кр} = 0,3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 1,5066 \cdot 10^5 \cdot 20 / 8 = 112,99 \text{ Н·м}$$

При наличии смазки величина  $M_{кр}$  снижается на 25% и составляет  $0,75 \cdot M_{кр} = 84,743 \text{ Н·м}$

$83,697 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$ , **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:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot [M]}{D_{ст}} = 1,5066 \cdot 10^5 + (1 - 1,6476) \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 4 \cdot (1 - 1,4635) \cdot |0| / 139 = 1,5006 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 1,5006 \cdot 10^5 / 1800 = 83,369 \text{ МПа}$$

$83,369 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено.**

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5}}} \right\} = \max \{ 1; (3,1416 \cdot 190 / 8 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 21 / (3 + 0,5)))^{1/2} \} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 1,5066 \cdot 10^5 \cdot 25,5 = 3841,7 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1,0 \right\} = \max \{ 1,3343 / (1 + 1,5714); 1,0 \} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 96 + 0 + 18 \text{ при } 96 < 20 \cdot (18 - 0) \text{ и } f = 1 = 114 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 3841,7 / (1,4449 \cdot (18 - 4)^2 \cdot 114) = 118,99 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1,0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,4449 \cdot 21^2 \cdot 25,923 \cdot 96) \cdot 3841,7 = 110,92 \text{ МПа}$$

$$\beta_F = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,3958 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 2,3958^2 \cdot \lg 2,3958 / (2,3958^2 - 1)) = 2,3774$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,3958^2 + 1) / (2,3958^2 - 1) = 1,4219$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_F \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 2,3774 \cdot 3841,7 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,92 = 58,012 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

Взам. инв. №	$\sigma_1^m = \frac{M^m}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 3841,7 / (1,4449 \cdot (18 - 4)^2 \cdot 114) = 118,99 \text{ МПа}$ <p>Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_R^m = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^m = (1,33 \cdot 0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,4449 \cdot 21^2 \cdot 25,923 \cdot 96) \cdot 3841,7 = 110,92 \text{ МПа}$				
	Подп. и дата	$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,3958 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 2,3958^2 \cdot \lg 2,3958 / (2,3958^2 - 1)) = 2,3774$ $\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,3958^2 + 1) / (2,3958^2 - 1) = 1,4219$ <p>Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p> $\sigma_T^m = \frac{\beta_Y \cdot M^m}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^m = 2,3774 \cdot 3841,7 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,92 = 58,012 \text{ МПа}$			
Инв. № подл.		Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_1$ (п. 8.5.1):			
					90651-20600-AM-02-225 РР
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист
					236



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT					МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ					РР	
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div><math display="block">\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}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{118,99 + 110,92;  118,99 + 58,012 \} = 229,91 \text{ МПа}</math>Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):<math display="block">[\sigma]_M^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1.5 \cdot 164,5 = 246,75 \text{ МПа}</math><math display="block">K = \frac{D_H}{D} = 230 / 96 = 2,3958</math>Коэффициент учета размеров тарелки фланца: <math>K_S = 1,2</math><math display="block">K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}</math><math display="block">229,91 \text{ МПа} \leq 296,1 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math>Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:<math display="block">Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{фл}}} = (-149,37) + 4 \cdot  0  / 139 = (-149,37) \text{ Н}</math><math display="block">Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot  M }{D_{\text{фл}}} = (-149,37) - 4 \cdot  0  / 139 = (-149,37) \text{ Н}</math>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:<math display="block">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\} = \frac{1 \cdot \max\{1,5006 \cdot 10^5 \cdot 25,5 + (1061,7 + (-149,37)) \cdot 15,144;  1061,7 + (-149,37)  \cdot 15,144\}}{15,144} = 3840,5 \text{ Н} \cdot \text{м}</math>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>s_1</math>:<math display="block">\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 3840,5 / (1,4449 \cdot (18 - 4)^2 \cdot 114) = 118,96 \text{ МПа}</math>Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:<math display="block">\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 0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,4449 \cdot 21^2 \cdot 25,923 \cdot 96) \cdot 3840,5 = 110,88 \text{ МПа}</math>Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:<math display="block">\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,3774 \cdot 3840,5 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,88 = 57,993 \text{ МПа}</math>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_1 (+)</math>:<math display="block">\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 96^2 \cdot 0,070000 + (-149,37) + 4 \cdot 0 / (96 + 18)) / (3,1416 \cdot (96 + 18) \cdot (18 - 4)) = 0,071211 \text{ МПа}</math>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении <math>s_1</math> (п. 8.5.1):<math display="block">\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</math><math display="block">\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\{118,96 - 0,071211 + 110,88;  118,96 - 0,071211 + 57,993 ;  118,96 + 0,071211 \} = 229,77 \text{ МПа}</math>Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):<math display="block">[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma]_F = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}</math><math display="block">K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1,2 \cdot 1 \cdot 216 = 259,2 \text{ МПа}</math><math display="block">229,77 \text{ МПа} \leq 259,2 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_1 (-)</math>:<math display="block">\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 96^2 \cdot 0,070000 + (-149,37) - 4 \cdot 0 / (96 + 18)) / (3,1416 \cdot (96 + 18) \cdot (18 - 4)) = 0,071211 \text{ МПа}</math><math display="block">\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</math><math display="block">\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\{118,96 - 0,071211 + 110,88;  118,96 - 0,071211 + 57,993 ;  118,96 + 0,071211 \} = 229,77 \text{ МПа}</math><math display="block">229,77 \text{ МПа} \leq 259,2 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении <math>s_0</math>:</div>											
					90651-20600-AM-02-225 РР					Лист	
										237	
Изм.		Лист		№ док.		Подп.		Дата			

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 118,99 = 118,99 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

118,99 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 118,95 = 118,95 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 96^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (96 + 7)) / (3,1416 \cdot (96 + 7) \cdot (7 - 4)) = 0,52168 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 96 / (2 \cdot (7 - 4)) = 1,12 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 118,95 \pm 0,52168; |0.3 \cdot 118,95 \pm 1,12|; |0.7 \cdot 118,95 \pm (0,52168 - 1,12)| \} = 119,47 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 432 = 561,6 \text{ МПа}$$

119,47 МПа ≤ 561,6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 96^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (96 + 7)) / (3,1416 \cdot (96 + 7) \cdot (7 - 4)) = 0,52168 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 118,95 \pm 0,52168; |0.3 \cdot 118,95 \pm 1,12|; |0.7 \cdot 118,95 \pm (0,52168 - 1,12)| \} = 119,47 \text{ МПа}$$

119,47 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  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 1,12; |0,36781| \} = 1,12 \text{ МПа}$$

1,12 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 110,92; |58,012| \} = 110,92 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$$

110,92 МПа ≤ 164,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР
					Лист 238

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max\{110,88; 57,993\} = 110,88 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 144 = 144 \text{ МПа}$$

110,88 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

### Жёсткость фланца:

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 3840,5 \cdot 0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 = 0,059961^{\circ}$$

Допускаемый угол поворота фланца:

$$[\Theta] = 0,34377^{\circ}$$

Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев:  $K_{\Theta} = 1$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\Theta \leq K_{\Theta} \cdot [\Theta] = 1 \cdot 0,34377 = 0,34377^{\circ}$$

**Условие жёсткости выполнено.**

Температура фланца (кольца),  $t_{\Phi}$ :

100 °C

В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия:

$$\max \{t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi}\} \leq 120^{\circ}\text{C}$$

$$\max \{t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi}\} = \max\{100; 100; 97\} = 100/1^{\circ}\text{C}$$

**Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.**

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре  $T = 100^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{\text{кр}} = 0,116 \cdot 10^{-4} / ^{\circ}\text{C}$$

Относительное удлинение :

$$\delta_t = \frac{\alpha_{\Phi}' \cdot h' \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ}\text{C}) + \alpha_{\Phi}'' \cdot h'' \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ}\text{C})}{\alpha_{\Phi} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ}\text{C})}$$

$$= [0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C}) + 0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 21 \cdot (100 - 20^{\circ}\text{C})] / [0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (20 + 21) \cdot (97 - 20^{\circ}\text{C})]$$

$$= 1,0858$$

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.**

### 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**

$$\Psi = \frac{P_{\Phi}^P}{Q_{\Phi}} = 1,5485 \cdot 10^5 / 1061,7 = 145,86$$

$$K_{\Phi} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \Psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{\text{сп}}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}}} = 0,41 \cdot [(1 + 3 \cdot 145,86 \cdot (190 / 139 - 1)) / (190 / 139)]^{1/2} = 4,4572$$

Нарушено условие применимости расчётных формул:

$$\frac{s_1 - c}{D_p} \leq 0,11$$

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
					90651-20600-AM-02-225 РР
					Лист
					239

В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:

$$K_p = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left(6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_p}\right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 \cdot [22 - 4] / 139)^2]^{1/2} = 0,97071$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([22 - 4] / [1 \cdot 4,4572 \cdot 139])^2 \cdot 144 \cdot 1 \cdot 0,97071 = 0,11799 \text{ МПа}$$

$$0,11799 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{\Phi} + c = K_0 \cdot K_6 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 4,4572 \cdot 1 \cdot 139 \cdot \sqrt{(0,070000 / [1 \cdot 144 \cdot 0,97071])^{1/2}} + 4 = 17,864 \text{ мм}$$

$$17,864 \text{ мм} \leq 22 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_7 = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}} - 1 = 0,8 \cdot [190 / 139 - 1]^{1/2} = 0,48458$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_{\text{кр}} = 144 \text{ МПа}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, с учетом температурной нагрузки)**

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\epsilon} \cdot \frac{E_{\epsilon}^{20}}{E_{\epsilon}} + \left( y_{\Phi} \cdot \frac{E_{\Phi}^{20}}{E_{\Phi}} + y_{\text{кр}} \cdot \frac{E_{\text{кр}}^{20}}{E_{\text{кр}}} \right) \cdot b^2} = \frac{1 / (0 + 0,1445 \cdot 10^{-6} \cdot 2,13 \cdot 10^5 / 2,1011 \cdot 10^5 + (0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 + 0,2568 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5) \cdot 25,5^2)}{1,5941 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}}$$

Нагрузка от температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot \left( \alpha'_{\Phi} \cdot h' + \alpha'_{\text{ш}} \cdot h'_{\text{ш}} \right) \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ} \text{C}) + \left( \alpha''_{\Phi} \cdot h'' + \alpha''_{\text{ш}} \cdot h''_{\text{ш}} \right) \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ} \text{C}) - \alpha_{\epsilon} \cdot (h' + h'' + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}}) \cdot (t_{\epsilon} - 20^{\circ} \text{C})$$

$$= 1,5941 \cdot 10^6 \cdot ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 20 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^{\circ} \text{C}) + ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 21 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^{\circ} \text{C}) - 0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (20 + 21 + 0 + 0) \cdot (97 - 20^{\circ} \text{C}))$$

$$= 4790,7 \text{ Н}$$

$$P_{61} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right\} = \max \left\{ \begin{aligned} &1,6476 \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot |0| / 139 = 2420,2 \\ &1,6476 \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot |0| / 139 - 4790,7 = -2370,5 \end{aligned} \right\} = 2420,2 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^p = P_6^m + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = \frac{1,5066 \cdot 10^5 + (1 - 1,6476) \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 4790,7 + 4 \cdot (1 - 1,4635) \cdot |0| / 139}{1,5485 \cdot 10^5 \text{ Н}}$$

$$\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^p}{[\sigma]}, \frac{P_6^m}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 1,5485 \cdot 10^5 / 144; 1,5066 \cdot 10^5 / 222,73 \} = 1075,4 \text{ мм}^2$$

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{сп}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,48458 \cdot 1075,4^{1/2}; 0,6 \cdot 1075,4 / 139 \} + 0 = 15,891 \text{ мм}$$

$$15,891 \text{ мм} \leq 20 \text{ мм}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.					
$P_{61} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} - Q_{\text{т}} \right\} = \max \{ 1,6476 \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 917,03 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 - 4790,7 = -2370,5 \} = 2420,2 \text{ Н}$							
Болтовая нагрузка в рабочих условиях:							
$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,5066 \cdot 10^5 + (1 - 1,6476) \cdot (1061,7 + (-149,37)) + 4790,7 + 4 \cdot (1 - 1,4635) \cdot  0  / 139 = 1,5485 \cdot 10^5 \text{ Н}$							
$\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 1,5485 \cdot 10^5 / 144; 1,5066 \cdot 10^5 / 222,73 \} = 1075,4 \text{ мм}^2$							
Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:							
$s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{с.п.}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,48458 \cdot 1075,4^{1/2}; 0,6 \cdot 1075,4 / 139 \} + 0 = 15,891 \text{ мм}$							
15,891 мм ≤ 20 мм							
90651-20600-AM-02-225 РР							Лист
							240
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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		PP	
Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b> $K'_\gamma = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0.8 \cdot [190 / 149 - 1]^{1/2} = 0.41965$ Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок: $s_{3p} + c = \max \left\{ K'_\gamma \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0.6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0.41965 \cdot 1075.4^{1/2}; 0.6 \cdot 1075.4 / 149 \} + 0 = 13.762 \text{ мм}$ $13.762 \text{ мм} \leq 16 \text{ мм}$ Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b> <b>Фланец:</b> Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$ Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением: $P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1.25 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.099957 \text{ МПа}$					
<b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b> <b>Условия нагружения при испытаниях:</b> Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 153,6 Н Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,10083 МПа По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие: $P_{\text{исп}} < 1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ $1.35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 \cdot 0.070000 \cdot 164.5 / 144 = 0.10795 \text{ МПа} \geq 0.10083 \text{ МПа}$					
<b>Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017:</b> <b>Свойства материала болтов (шпилек)</b> Температура болтов (шпилек), t <sub>б</sub> : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_б} = 130 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: $E^{20_б} = 2.13 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С: $\alpha^{20_б} = 0.111 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$					
<b>Свойства материала смежного элемента фланца 2 Измерение уровня (L1)</b> Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_ш} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 280 / 1.1 = 254.55 \text{ МПа}$					
<b>Свойства материала фланца</b> Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20_ф} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1.1 = 222.73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =					
<div> <div>90651-20600-AM-02-225 PP</div> <div>Лист</div> </div>					241
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
20 °С: E <sup>20<sub>ф</sub></sup> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С: α <sup>20<sub>ф</sub></sup> =0,116·10 <sup>-4</sup> /°С Характеристики прокладки					
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия К
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		3	69	-	-
Эффективная ширина прокладки : b <sub>0</sub> =10 мм					
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{пр}} & \text{при } b_{\text{пр}} \leq 15.0 \text{ мм} \\ b_0 = 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{пр}}} & \text{при } b_{\text{пр}} > 15.0 \text{ мм} \end{cases}$					
Средний эффективный диаметр прокладки: D <sub>ст</sub> = D <sub>пкф</sub> - b <sub>0</sub> = 149 - 10 = 139 мм					
Расчётные параметры крышки:					
$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 230 / 139 = 1,6547$					
$x_{\text{кр}} = \frac{0.67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{(0.67 \cdot (1,6547^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1,6547)) - 1)) / ((1,6547 - 1) \cdot [1,6547^2 - 1 + (1.857 \cdot 1,6547^2 + 1) \cdot (22 / 20)^3])}{1} = 0,71353$					
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С: E <sup>20<sub>кр</sub></sup> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Угловая податливость крышки:					
$y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0,71353 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 20^3) = 0,2568 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$					
Расчётные параметры фланца:					
$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (96 \cdot 7)^{1/2} = 25,923 \text{ мм}$					
$\beta_F = 0,71106$					
$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,3958^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,3958) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 2,3958^2) \cdot (2,3958 - 1)) = 1,3703$					
$\beta_V = 0,10497$					
$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,3958^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 2,3958) - 1) / (1.36 \cdot (2,3958^2 - 1) \cdot (2,3958 - 1)) = 2,5964$					
$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,3703 \cdot 25,923) + 0,10497 \cdot 21^3 / (2,5964 \cdot 25,923 \cdot 7^2) = 1,4449$					
Угловая податливость фланца при затяжке:					
$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0,10497 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,4449 \cdot 7^2 \cdot 25,923) = 0,14985 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$					
Плечи моментов: a = 0					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					242
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<p><math>b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{сп}) = 0.5 \cdot (190 - 139) = 25,5 \text{ мм}</math></p> <p><math>\beta = \frac{s_1}{s_0} = 18/7 = 2,5714</math></p> <p><math>x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 25/(96 \cdot 7)^{1/2} = 0,9644</math></p> <p><math>\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,5714 - 1) \cdot 0,9644 / (0,9644 + (1 + 2,5714) / 4) = 1,816</math></p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p><math>s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,816 \cdot 7 = 12,712 \text{ мм}</math></p> <p><math>e = 0.5 \cdot (D_{сп} - D - s_3) = 0.5 \cdot (139 - 96 - 12,712) = 15,144 \text{ мм}</math></p> <p><b>Расчёт нагрузок:</b></p> <p>Равнодействующая давления:</p> <p><math>Q_{\pi} = 0.785 \cdot D_{сп}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 139^2 \cdot 0,10083 = 1529,2 \text{ Н}</math></p> <p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> <p><math>R_{\pi} = \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot  p  = 3,1416 \cdot 139 \cdot 10 \cdot 3 \cdot  0,10083  = 1320,9 \text{ Н}</math></p> <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> <p><math>P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3,1416 \cdot 139 \cdot 10 \cdot 69 = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}</math></p> <p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> <p><math>L_{60} = h + s_2 + h_{\pi} + h'_{ш} + h''_{ш} = 20 + 21 + 3,2 + 0 + 0 = 44,2 \text{ мм}</math></p> <p>Эффективная длина шпильки:</p> <p><math>L_6 = L_{60} + 0.56 \cdot d = 44,2 + 0.56 \cdot 20 = 55,4 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> <p><math>f_6 = 225 \text{ мм}^2</math></p> <p>Податливость шпилек:</p> <p><math>y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 55,4 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 8) = 0,1445 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p><math>\eta = y_{\pi} + y_6 + y_{\Phi}' \cdot b'^2 + y_{\Phi}'' \cdot b''^2 = 0 + 0,1445 \cdot 10^{-6} + 0,2568 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2 + 0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2 = 0,606 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:</p> <p><math>\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi}' \cdot e + y_{\Phi}'' \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 15,144 + 0,2568 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5) \cdot 25,5) / 0,606 \cdot 10^{-6} = 1,6476</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p><math>E_{кр}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p><math>y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\Phi} \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 190 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 230 \cdot 20^3) = 0,14404 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math></p> <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p><math>y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\Phi} \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 190 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 230 \cdot 21^3) = 0,12442 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math></p>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.			90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						243
			Изм.	Лист		№ док.

90651-20600-AM-02-225 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	
	Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: $\alpha_M = \frac{y_{\phi} + y'_{\phi M} \cdot b' \cdot \left( b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\phi}} \right) + y''_{\phi M} \cdot b'' \cdot \left( b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\phi}} \right)}{y_{\phi} + y_{\pi} \cdot \left( \frac{D_{\phi}}{D_{\phi}} \right)^2 + y'_{\phi M} \cdot b'^2 + y''_{\phi M} \cdot b''^2}$ $= [0,1445 \cdot 10^{-6} + 0,14404 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5 \cdot (25,5 + 25,5 - 25,5^2 / 139) + 0,12442 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5 \cdot (25,5 + 15,144 - 15,144^2 / 139)] / [0,1445 \cdot 10^{-6} + 0 \cdot (190 / 139)^2 + 0,14404 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2 + 0,14404 \cdot 10^{-4} \cdot 25,5^2]$ $= 1,4635$ $P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,6476 \cdot (1529,2 + (-153,6)) + 1320,9 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 3587,3 \text{ Н}$					
<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)</b> $P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,6476 \cdot (1529,2 + 0) + 1320,9 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 3840,4 \text{ Н}$						
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: $A_{\phi} = n \cdot f_{\phi} = 8 \cdot 225 = 1800 \text{ мм}^2$						
Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: $P_{\phi 2} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\phi} \cdot [\sigma]_{\phi}^{20} \} = \max \{ 1,5066 \cdot 10^5; 0,4 \cdot 1800 \cdot 130 = 93600 \} = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
<b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b>						
<b>Расчёт болтов(шпилек):</b>						
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: $[\sigma]_{\phi}^M = \xi \cdot K_{yp} \cdot K_{yz} \cdot [\sigma]_{\phi}^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$						
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.						
<b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b>						
$P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,6476 \cdot (1529,2 + (-153,6)) + 1320,9 + 4 \cdot 1,4635 \cdot  0  / 139 = 3587,3 \text{ Н}$						
Болтовая нагрузка в условиях затяжки: $P_{\phi}^M = \max \{ P_{\phi 1}; P_{\phi 2} \} = \max \{ 3587,3; 1,5066 \cdot 10^5 \} = 1,5066 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Условие прочности при затяжке: $\sigma_{\phi 1} = \frac{P_{\phi}^M}{A_{\phi}} \leq [\sigma]_{\phi}^M$ $\sigma_{\phi 1} = \frac{P_{\phi}^M}{A_{\phi}} = 1,5066 \cdot 10^5 / 1800 = 83,697 \text{ МПа}$						
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки: $M_{кр} = 0,3 \cdot \frac{P_{\phi}^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 1,5066 \cdot 10^5 \cdot 20 / 8 = 112,99 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0,75 \cdot M_{кр} = 84,743 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
$83,697 \text{ МПа} \leq 210,6 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>						
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР			Лист
						244
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		



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:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\pi} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\pi}) \cdot |M|}{D_{\pi}} = 1,5066 \cdot 10^5 + (1 - 1,6476) \cdot (1529,2 + (-153,6)) + 4 \cdot (1 - 1,4635) \cdot |0| / 139 = 1,4976 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 1,4976 \cdot 10^5 / 1800 = 83,202 \text{ МПа}$$

83,202 МПа ≤ 175,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max \{1; (3,1416 \cdot 190 / 8 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 21 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 1,5066 \cdot 10^5 \cdot 25,5 = 3841,7 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{1,3343 / (1 + 1,5714); 1,0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 96 + 0 + 18 \text{ при } 96 < 20 \cdot (18 - 0) \text{ и } f = 1 = 114 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 3841,7 / (1,4449 \cdot (18 - 0)^2 \cdot 114) = 71,985 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1,0} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,4449 \cdot 21^2 \cdot 25,923 \cdot 96) \cdot 3841,7 = 110,92 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,3958 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 2,3958^2 \cdot \lg 2,3958 / (2,3958^2 - 1)) = 2,3774$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,3958^2 + 1) / (2,3958^2 - 1) = 1,4219$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 2,3774 \cdot 3841,7 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,92 = 58,012 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{мк}}^{20}$$

$$\max \left\{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \right\} = \max \{ |71,985 + 110,92|; |71,985 + 58,012| \} = 182,9 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{мк}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 230 / 96 = 2,3958$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{мк}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
			$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 2,3774 \cdot 3841,7 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,92 = 58,012 \text{ МПа}$					
Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_1$ (п. 8.5.1):								
$\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{нн}}^{20}$								
$\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{71,985 + 110,92;  71,985 + 58,012 \} = 182,9 \text{ МПа}$								
Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):								
$[\sigma]_{\text{нн}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$								
$K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 230 / 96 = 2,3958$								
Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1,2$								
$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{нн}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$								
						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист	
							245	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

182,9 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = (-153,6) + 4 \cdot |0| / 139 = (-153,6) \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = (-153,6) - 4 \cdot |0| / 139 = (-153,6) \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{FM}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{FM}| \cdot e \} = \frac{1 \cdot \max \{ 1,4976 \cdot 10^5 \cdot 25,5 + (1529,2 + (-153,6)) \cdot 15,144; |1529,2 + (-153,6)| \cdot 15,144 \}}{15,144} = 3839,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s<sub>1</sub>:

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 3839,8 / (1,4449 \cdot (18 - 0)^2 \cdot 114) = 71,949 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,71106 \cdot 21 + 25,923) / (1,4449 \cdot 21^2 \cdot 25,923 \cdot 96) \cdot 3839,8 = 110,86 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 2,3774 \cdot 3839,8 / (21^2 \cdot 96) - 1,4219 \cdot 110,86 = 57,984 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>1</sub> (+):

$$\sigma_{\text{лм}}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 96^2 \cdot 0,10083 + (-153,6) + 4 \cdot 0 / (96 + 18)) / (3,1416 \cdot (96 + 18) \cdot (18 - 0)) = 0,089324 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s<sub>1</sub> (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{ж}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |71,949 - 0,089324 + 110,86|; |71,949 - 0,089324 + 57,984|; |71,949 + 0,089324| \} = 182,72 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{ж}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{ж}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

182,72 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении S<sub>1</sub> (-):

$$\sigma_{\text{лм}}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 96^2 \cdot 0,10083 + (-153,6) - 4 \cdot 0 / (96 + 18)) / (3,1416 \cdot (96 + 18) \cdot (18 - 0)) = 0,089324 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{ж}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лм}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |71,949 - 0,089324 + 110,86|; |71,949 - 0,089324 + 57,984|; |71,949 + 0,089324| \} = 182,72 \text{ МПа}$$

182,72 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s<sub>0</sub>:

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 71,985 = 71,985 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении s<sub>0</sub> (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{ж}}^{20}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{ж}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_{\text{ж}}^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

71,985 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s<sub>0</sub>:

Взам. инв. №	$\max \left\{ \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right ; \left  \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right  \right\} = \max \{ 71,949 - 0,089324 + 110,86 \}; \{ 71,949 - 0,089324 + 57,984 \}; \{ 71,949 + 0,089324 \} = 182,72 \text{ МПа}$					
	182,72 МПа ≤ 400,91 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
Подп. и дата	Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении $s_0$ :					
	$\sigma_0^{\pi} = f \cdot \sigma_1^{\pi} = 1 \cdot 71,985 = 71,985 \text{ МПа}$					
	Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_0$ (п. 8.5.2):					
	$\sigma_0^{\pi} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R^{20}$					
Инв. № подл.	Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):					
	$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$					
	$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$					
	71,985 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>					
	Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении $s_0$ :					
					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						246
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 71,945 = 71,945 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 96^2 \cdot 0,10083 + 0 + 4 \cdot 0 / (96 + 7)) / (3,1416 \cdot (96 + 7) \cdot (7 - 0)) = 0,32203 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,10083 \cdot 96 / (2 \cdot (7 - 0)) = 0,69138 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 71,945 \pm 0,32203; |0,3 \cdot 71,945 \pm 0,69138|; |0,7 \cdot 71,945 \pm (0,32203 - 0,69138)| \} = 72,267 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

72,267 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 96^2 \cdot 0,10083 + 0 - 4 \cdot 0 / (96 + 7)) / (3,1416 \cdot (96 + 7) \cdot (7 - 0)) = 0,32203 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 71,945 \pm 0,32203; |0,3 \cdot 71,945 \pm 0,69138|; |0,7 \cdot 71,945 \pm (0,32203 - 0,69138)| \} = 72,267 \text{ МПа}$$

72,267 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  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 0,69138; |0,25422| \} = 0,69138 \text{ МПа}$$

0,69138 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 110,92; |58,012| \} = 110,92 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

110,92 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 110,86; |57,984| \} = 110,86 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

110,86 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

**Жёсткость фланца:**

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\omega = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 3839,8 \cdot 0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,057541^\circ$$

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $110,92 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 110,86;   57,984   \} = 110,86 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $110,86 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b> <b>Жёсткость фланца:</b> Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 3839,8 \cdot 0,14985 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,057541^\circ$						
								90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
			Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		247

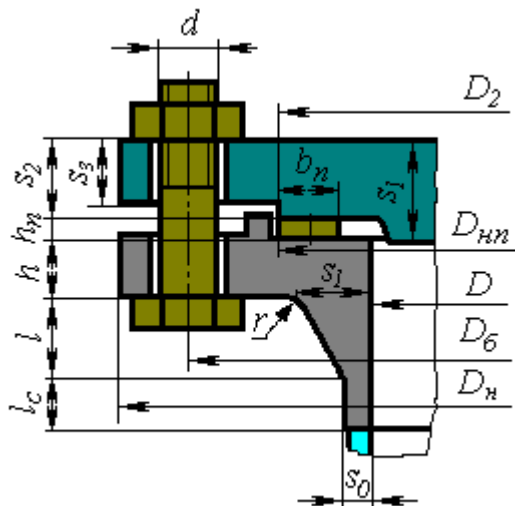
Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР
	Допускаемый угол поворота фланца: $[\varpi] = 0,34377^\circ$ Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: $K_\varpi = 1,3$ Условие выполнения жесткости фланцев: $\varpi \leq K_\varpi \cdot [\varpi] = 1,3 \cdot 0,34377 = 0,44691^\circ$ <b>Условие жёсткости выполнено.</b>				
	<b>Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</b>				
	<b>Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением</b>				
	$\psi = \frac{P_6}{Q_d} = 1,4976 \cdot 10^5 / 1529,2 = 97,934$ $K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{сП}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сП}}}} = 0.41 \cdot [(1 + 3 \cdot 97,934 \cdot (190 / 139 - 1)) / (190 / 139)]^{1/2} = 3,6578$ <p>Нарушено условие применимости расчётных формул:</p> $\frac{s_1 - c}{D_p} \leq 0.11$ <p>В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:</p> $K_p = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left( 6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_p} \right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 \cdot [22 - 0] / 139)^2]^{1/2} = 0,92473$ <p>Допускаемое давление:</p> $[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([22 - 0] / [1 \cdot 3,6578 \cdot 139])^2 \cdot 222,73 \cdot 1 \cdot 0,92473 = 0,38562 \text{ МПа}$ <p>0,38562 МПа <math>\geq</math> 0,10083 МПа Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p><b>Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением</b></p> <p>Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:</p> $s_{\text{ф}} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 3,6578 \cdot 1 \cdot 139 \cdot (0,10083 / [1 \cdot 222,73 \cdot 0,92473])^{1/2} + 0 = 11,249 \text{ мм}$ <p>11,249 мм <math>\leq</math> 22 мм Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p> $K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сП}} - 1} = 0.8 \cdot [190 / 139 - 1]^{1/2} = 0,48458$ <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{20_{кр}} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$ <p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b> Нагрузка от температурных деформаций: <math>Q_t = 0</math> (в условиях испытаний или без учета стесненности температурных деформаций)</p>				
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					248
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4



Крышка плоская Т1



Эскиз элемента

Исходные данные

Параметры крышки:

Материал:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ  
8479 Поковка

Толщина стенки,  $s_1$ :

18 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $s_1$ :

4 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $s_2$ :

0 мм

Прибавка технологическая,  $s_3$ :

0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ :

4 мм

Толщина в месте прокладки,  $s_2$ :

17 мм

Толщина вне уплотнения,  $s_3$ :

13 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части,  $D_2$ :

87 мм

Наружный диаметр крышки,  $D_n$ :

160 мм

Коэффициент прочности сварного шва:

$\varphi_p = 1$

Параметры фланца:

Тип фланца:

Приварные встык

Исполнение фланца:

Выступ-впадина

Диаметр болтовой окружности,  $D_6$ :

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,  $D_n$ :

160 мм

Толщина фланца,  $h$ :

17 мм

Сумма прибавок,  $c$ :

4 мм

Длина конической части втулки,  $l$ :

20 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $l_c$ :

8 мм

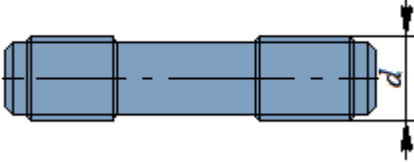
Толщина цилиндрической части втулки,  $s_0$ :

5 мм

Толщина конической части втулки,  $s_1$ :

14 мм

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 250

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР			
Радиус перехода, r:		5 мм						
Шпильки:								
Крепеж								
Материал:		35 Крепеж						
Наружный диаметр, d:		16 мм						
Количество, n:		4						
Контроль затяжки:		Нет						
Прокладка:		Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали						
Материал прокладки:								
Толщина, h <sub>п</sub> :		3,2 мм						
Наружный диаметр, D <sub>н.п</sub> :		87 мм						
Ширина, b <sub>п</sub> :		6,5 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 фланца по ГОСТ 34233.4-2017:								
Свойства материала болтов (шпилек)								
Температура болтов (шпилек), t <sub>б</sub> :		97 °С						
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):								
[σ] <sub>6</sub> = 126 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:								
E <sub>6</sub> =2,1011·10 <sup>5</sup> МПа								
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:								
α <sub>6</sub> =0,111·10 <sup>-4</sup> /°С								
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):								
[σ] <sup>20</sup> <sub>6</sub> = 130 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:								
E <sup>20</sup> <sub>6</sub> =2,13·10 <sup>5</sup> МПа								
Свойства материала смежного элемента фланца 2 Измерение температуры (T1)								
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 100 °С (рабочие условия):								
[σ] <sub>ш</sub> = 160 МПа								
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °С (рабочие условия):								
[σ] <sup>20</sup> <sub>ш</sub> = 183 МПа								
Свойства материала фланца								
Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> :		100 °С						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):								
[σ] <sub>ф</sub> = 144 МПа								
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:								
E <sub>ф</sub> =1,91·10 <sup>5</sup> МПа								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				Лист		
Изм.			Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	251

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

90651-20600-AM-02-225 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																														
<p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С: <math>\alpha_{\phi}=0,116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}</math></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия): <math>[\sigma]^{20}_{\phi}=164,5 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20}_{\phi}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Характеристики прокладки</p> <table><tr><th>Тип и материал прокладки</th><th>Коэффициент m</th><th>Удельное давление обжатия <math>q_{обж}</math>, МПа</th><th>Допускаемое удельное давление [q], МПа</th><th>Коэффициент обжатия K</th><th>Условный модуль сжатия <math>E_n</math>, МПа</th></tr><tr><td>Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали</td><td>3</td><td>69</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> <p>Эффективная ширина прокладки : <math>b_0=6,5 \text{ мм}</math></p> <p>Примечание: <math display="block">\begin{cases} b_0 = b_{\text{пр}} &amp; \text{при } b_{\text{пр}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{пр}}} &amp; \text{при } b_{\text{пр}} &gt; 15,0 \text{ мм} \end{cases}</math></p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки: <math>D_{\text{нпр}} = \min\{D_4; D_{\text{нш}}\} = \min\{87; 87\} = 87 \text{ мм}</math></p> <p>Средний эффективный диаметр прокладки: <math>D_{\text{ст}} = D_{\text{нпр}} - b_0 = 87 - 6,5 = 80,5 \text{ мм}</math></p> <p>Для металлических и асбометаллических прокладок <math>y_n = 0</math>.</p> <p><b>Расчётные параметры болтов (шпилек):</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки): <math>L_{\phi 0} = h + s_2 + h_{\text{ш}} + h_{\text{ш}}^I + h_{\text{ш}}^{II} = 17 + 17 + 3,2 + 0 + 0 = 37,2 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): <math>f_{\phi} = 144 \text{ мм}^2</math></p> <p>Эффективная длина шпильки: <math>L_{\phi} = L_{\phi 0} + 0,56 \cdot d = 37,2 + 0,56 \cdot 16 = 46,16 \text{ мм}</math></p> <p>Податливость шпилек: <math display="block">y_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{E_{\phi}^{20} \cdot f_{\phi} \cdot n} = 46,16 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0,37624 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p><b>Расчётные параметры крышки:</b></p> <p><math display="block">K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 160 / 80,5 = 1,9876</math></p> <p><math display="block">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 (1,9876^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,9876)) - 1)}{(1,9876 - 1) \cdot [1,9876^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,9876^2 + 1) \cdot (18 / 17)^3]} = 0,68799</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20}_{\text{кр}}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td rowspan="3">90651-20600-AM-02-225 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>252</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						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	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист						252					
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																														
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-																														
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист																													
						252																													



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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ  
NEFTECHIMPROEKT

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

РР

Угловая податливость крышки:  
$$\gamma_{кр} = \frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0,68799 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 17^3) = 0,40318 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

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:

$$a = 0$$
$$b = 0,5 \cdot (D_\Phi - D_{сш}) = 0,5 \cdot (125 - 80,5) = 22,25 \text{ мм}$$
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2,8$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20 / (48 \cdot 5)^{1/2} = 1,291$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,8 - 1) \cdot 1,291 / (1,291 + (1 + 2,8) / 4) = 2,0369$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:  
$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2,0369 \cdot 5 = 10,185 \text{ мм}$$
$$e = 0,5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0,5 \cdot (80,5 - 48 - 10,185) = 11,158 \text{ мм}$$

Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:  
$$Q_d = 0,785 \cdot D_{сш}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 80,5^2 \cdot 0,070000 = 356,09 \text{ Н}$$
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:  
$$R_\pi = \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 80,5 \cdot 6,5 \cdot 3 \cdot |0,070000| = 345,21 \text{ Н}$$
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:  
$$P_{обж} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 80,5 \cdot 6,5 \cdot 69 = 56712 \text{ Н}$$

Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)

$$\eta = \gamma_\pi + \gamma_\epsilon + \gamma_\Phi' \cdot b'^{1/2} + \gamma_\Phi'' \cdot b''^{1/2} = 0 + 0,37624 \cdot 10^{-6} + 0,40318 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 + 0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 = 0,93907 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:  
$$\alpha = 1 - \frac{\gamma_\pi - (\gamma_\Phi' \cdot e + \gamma_\Phi'' \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 11,158 + 0,40318 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25) \cdot 22,25) / 0,93907 \cdot 10^{-6} = 1,4855$$
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист  
253

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

90651-20600-AM-02-225 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	
	20 °С: E <sup>20</sup> <sub>кр</sub> =1,99·10 <sup>5</sup> 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: $\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{ст}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{ст}}\right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{ст}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$ $= [0,37624 \cdot 10^{-6} + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25 \cdot (22,25 + 22,25 - 22,25^2 / 80,5) + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25 \cdot (22,25 + 11,158 - 11,158^2 / 80,5)] / [0,37624 \cdot 10^{-6} + 0 \cdot (125 / 80,5)^2 + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2]$ $= 1,2916$ $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{ст}} = 1,4855 \cdot (356,09 + 0) + 345,21 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 874,18 \text{ Н}$ <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)</b> $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{ст}} = 1,4855 \cdot (356,09 + 0) + 345,21 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 874,18 \text{ Н}$ 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: $P_{62} = \max \{P_{обж}; 0,4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20}\} = \max\{56712; 0,4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952\} = 56712 \text{ Н}$ <b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b> <b>Расчёт болтов(шпилек):</b> Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: $\xi = 1,2$ Коэффициент условий работы: $K_{ур} = 1$ Коэффициент условий затяжки: $K_{уз} = 1$ Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: $[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}$ <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)</b> $P_{61} = \alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{ст}} = 1,4855 \cdot (356,09 + 0) + 345,21 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 874,18 \text{ Н}$ Болтовая нагрузка в условиях затяжки: $P_6^M = \max\{P_{61}; P_{62}\} = \max\{874,18; 56712\} = 56712 \text{ Н}$ Условие прочности при затяжке: $\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$ $\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 56712 / 576 = 98,459 \text{ МПа}$					
	Взам. инв. №		Подп. и дата		90651-20600-AM-02-225 РР	
	Инв. № подл.				Лист	
					254	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:					
$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 56712 \cdot 16 / 4 = 68,055 \text{ Н} \cdot \text{м}$					
При наличии смазки величина $M_{кр}$ снижается на 25% и составляет $0.75 \cdot M_{кр} = 51,041 \text{ Н} \cdot \text{м}$					
$98,459 \text{ МПа} \leq 156 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>					
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:					
$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot  M }{D_{от}} = 56712 + (1 - 1,4855) \cdot (356,09 + 0) + 4 \cdot (1 - 1,2916) \cdot  0  / 80,5 = 56540 \text{ Н}$					
Условие прочности в рабочих условиях:					
$\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$					
$\sigma_{6.2} = \frac{P_6^P}{A_6} = 56540 / 576 = 98,159 \text{ МПа}$					
$98,159 \text{ МПа} \leq 126 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>					
<b>Расчёт второго фланца:</b>					
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:					
$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1,2671 \cdot 56712 \cdot 22,25 = 1599 \text{ Н} \cdot \text{м}$					
$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1.0 \right\} = \max \{ 0,44314 / (1 + 1,8); 1.0 \} = 1$					
$D^* = D + c + s_1 \text{ при } (D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$					
Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении $s_1$ :					
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1599 / (2,0242 \cdot (14 - 4)^2 \cdot 62) = 127,41 \text{ МПа}$					
Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_Y \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,65336 \cdot 17 + 15,492) / (2,0242 \cdot 17^2 \cdot 15,492 \cdot 48) \cdot 1599 = 111,24 \text{ МПа}$					
$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,3333 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 3,3333^2 \cdot \lg 3,3333 / (3,3333^2 - 1)) = 1,7043$					
$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,3333^2 + 1) / (3,3333^2 - 1) = 1,1978$					
Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1,7043 \cdot 1599 / (17^2 \cdot 48) - 1,1978 \cdot 111,24 = 63,195 \text{ МПа}$					
Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_1$ (п. 8.5.1):					
$\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$					
$\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{  127,41 + 111,24 ;  127,41 + 63,195  \} = 238,65 \text{ МПа}$					
				Лист	
				255	
Изм.		Лист	№ док.	Подп.	Дата
				90651-20600-AM-02-225 РР	

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:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 246,75 = 296,1 \text{ МПа}$$

238,65 МПа ≤ 296,1 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{\text{FM}}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 80,5 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{FM}}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 80,5 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e; |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e \} = 1,2671 \cdot \max \{ 56540 \cdot 22,25 + (356,09 + 0) \cdot 11,158; |356,09 + 0| \cdot 11,158 \} = 1599,1 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1599,1 / (2,0242 \cdot (14 - 4)^2 \cdot 62) = 127,42 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,65336 \cdot 17 + 15,492) / (2,0242 \cdot 17^2 \cdot 15,492 \cdot 48) \cdot 1599,1 = 111,26 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1,7043 \cdot 1599,1 / (17^2 \cdot 48) - 1,1978 \cdot 111,26 = 63,201 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3,1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 4)) = 0,064999 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |127,42 - 0,064999 + 111,26|; |127,42 - 0,064999 + 63,201|; |127,42 + 0,064999| \} = 238,61 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}} = 1,2 \cdot 1 \cdot 216 = 259,2 \text{ МПа}$$

238,61 МПа ≤ 259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{\text{лмм}}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3,1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 4)) = 0,064999 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{лмм}}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{лмм}}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |127,42 - 0,064999 + 111,26|; |127,42 - 0,064999 + 63,201|; |127,42 + 0,064999| \} = 238,61 \text{ МПа}$$

238,61 МПа ≤ 259,2 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 127,41 = 127,41 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_0$  (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20}$$

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

256

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

127,41 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 127,42 = 127,42 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3,1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 4)) = 0,76037 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 4)) = 1,68 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 127,42 \pm 0,76037; | 0,3 \cdot 127,42 \pm 1,68; | 0,7 \cdot 127,42 \pm (0,76037 - 1,68) \} = 128,18 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 432 = 561,6 \text{ МПа}$$

128,18 МПа ≤ 561,6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3,1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 4)) = 0,76037 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm \left( \sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P \right) \right| \right\} = \max \{ 127,42 \pm 0,76037; | 0,3 \cdot 127,42 \pm 1,68; | 0,7 \cdot 127,42 \pm (0,76037 - 1,68) \} = 128,18 \text{ МПа}$$

128,18 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  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 1,68; | 0,76037 \} = 1,68 \text{ МПа}$$

1,68 МПа ≤ 144 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 111,24; | 63,195 \} = 111,24 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$$

111,24 МПа ≤ 164,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 111,26; | 63,201 \} = 111,26 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		$\max \left\{ \left  \sigma_{0\text{мо}}^P \right ; \left  \sigma_{0\text{мм}}^P \right  \right\} = \max \{ 1,68; \mid 0,76037 \} = 1,68 \text{ МПа}$ 1,68 МПа ≤ 144 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности при затяжке для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{ 111,24; \mid 63,195 \} = 111,24 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 164,5 = 164,5 \text{ МПа}$ 111,24 МПа ≤ 164,5 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b> Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 111,26; \mid 63,201 \} = 111,26 \text{ МПа}$	
		Подп. и дата	

Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 257
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.		



В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:

$$K_p = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left(6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_p}\right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 * [18 - 4] / 80,5)^2]^{1/2} = 0,89969$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([18 - 4] / [1 * 5,4692 * 80,5])^2 * 144 * 1 * 0,89969 = 0,131 \text{ МПа}$$

$$0,131 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

### Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{\Phi} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 5,4692 * 1 * 80,5 * (0,070000 / [1 * 144 * 0,89969])^{1/2} + 4 = 14,234 \text{ мм}$$

$$14,234 \text{ мм} \leq 18 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_{\gamma} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}} - 1 = 0,8 * [125 / 80,5 - 1]^{1/2} = 0,5948$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_{\text{кр}} = 144 \text{ МПа}$$

### Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, с учетом температурной нагрузки)

$$\gamma = \frac{1}{y_{\text{н}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{\text{б}}^{20}}{E_{\text{б}}} + \left( y_{\Phi} \cdot \frac{E_{\Phi}^{20}}{E_{\Phi}} + y_{\text{кр}} \cdot \frac{E_{\text{кр}}^{20}}{E_{\text{кр}}} \right) \cdot b^2} = \frac{1 / (0 + 0,37624 \cdot 10^{-6} * 2,13 \cdot 10^5 / 2,1011 \cdot 10^5 + (0,2482 \cdot 10^{-4} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 + 0,40318 \cdot 10^{-4} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5) * 22,25^2)}{1,91 \cdot 10^5 + 0,40318 \cdot 10^{-4} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5} = 1,0333 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}$$

Нагрузка от температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot \left( \alpha'_{\Phi} \cdot h' + \alpha'_{\text{ш}} \cdot h'_{\text{ш}} \right) \cdot (t_{\Phi 1} - 20^{\circ} \text{C}) + \left( \alpha''_{\Phi} \cdot h'' + \alpha''_{\text{ш}} \cdot h''_{\text{ш}} \right) \cdot (t_{\Phi 2} - 20^{\circ} \text{C}) - \alpha_{\text{б}} \cdot (h' + h'' + h'_{\text{ш}} + h''_{\text{ш}}) \cdot (t_{\text{б}} - 20^{\circ} \text{C})$$

$$= 1,0333 \cdot 10^6 * ((0,116 \cdot 10^{-4} * 17 + 0 * 0) * (100 - 20^{\circ} \text{C}) + ((0,116 \cdot 10^{-4} * 17 + 0 * 0) * (100 - 20^{\circ} \text{C}) - 0,111 \cdot 10^{-4} * (17 + 17 + 0 + 0) * (97 - 20^{\circ} \text{C}))$$

$$= 2575,1 \text{ Н}$$

$$P_{\text{б1}} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}, \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right\} = \max \left\{ 1,4855 * (356,09 + 0) + 345,21 + 4 * 1,2916 * |0| / 80,5 = 874,18; 1,4855 * (356,09 + 0) + 345,21 + 4 * 1,2916 * |0| / 80,5 - 2575,1 = -1700,9 \right\} = 874,18 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\text{б}}^{\text{Р}} = P_{\text{б}}^{\text{М}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} = 56712 + (1 - 1,4855) * (356,09 + 0) + 2575,1 + 4 * (1 - 1,2916) * |0| / 80,5 = 59115 \text{ Н}$$

$$\Phi = \max \left\{ \frac{P_{\text{б}}^{\text{Р}}}{[\sigma]}, \frac{P_{\text{б}}^{\text{М}}}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 59115 / 144; 56712 / 222,73 \} = 410,52 \text{ мм}^2$$

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{2\Phi} + c = \max \left\{ K_{\gamma} \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{сп}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,5948 * 410,52^{1/2}; 0,6 * 410,52 / 80,5 \} + 0 = 12,051 \text{ мм}$$

$$12,051 \text{ мм} \leq 17 \text{ мм}$$

Взам. инв. №	$P_{61} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} - Q_{\text{т}} \right\} = \max \left\{ 1,4855 \cdot (356,09 + 0) + 345,21 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 - 2575,1 = -1700,9 \right\} = 874,18 \text{ Н}$			
	Болтовая нагрузка в рабочих условиях:			
Подп. и дата	$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{м}}) \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 56712 + (1 - 1,4855) \cdot (356,09 + 0) + 2575,1 + 4 \cdot (1 - 1,2916) \cdot  0  / 80,5 = 59115 \text{ Н}$			
	$\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \{ 59115 / 144; 56712 / 222,73 \} = 410,52 \text{ мм}^2$			
Инв. № подл.	Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:			
	$s_{2p} + c = \max \left\{ K_{\gamma} \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{с.п.}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,5948 \cdot 410,52^{1/2}; 0,6 \cdot 410,52 / 80,5 \} + 0 = 12,051 \text{ мм}$			
12,051 мм ≤ 17 мм				
90651-20600-AM-02-225 РР				
Лист				
259				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата





НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
20 °С: E <sup>20<sub>ф</sub></sup> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С: α <sup>20<sub>ф</sub></sup> =0,116·10 <sup>-4</sup> /°С Характеристики прокладки					
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия К
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		3	69	-	-
Условный модуль сжатия E <sub>л</sub> , МПа					
Эффективная ширина прокладки : b <sub>0</sub> =6,5 мм					
Примечание: $\begin{cases} b_0 = b_{\text{пр}} & \text{при } b_{\text{пр}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{пр}}} & \text{при } b_{\text{пр}} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$					
Средний эффективный диаметр прокладки: D <sub>ст</sub> = D <sub>ткр</sub> - b <sub>0</sub> = 87 - 6,5 = 80,5 мм					
Расчётные параметры крышки:					
$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 160 / 80,5 = 1,9876$					
$x_{\text{кр}} = \frac{0,67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{(0,67 \cdot (1,9876^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,9876)) - 1)) / ((1,9876 - 1) \cdot [1,9876^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,9876^2 + 1) \cdot (18 / 17)^3])}{1} = 0,68799$					
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре Т = 20 °С: E <sup>20<sub>кр</sub></sup> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Угловая податливость крышки:					
$y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0,68799 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 17^3) = 0,40318 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$					
Расчётные параметры фланца:					
l <sub>0</sub> = √(D · s <sub>0</sub> ) = (48 · 5) <sup>1/2</sup> = 15,492 мм					
β <sub>F</sub> = 0,65336					
$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,3333^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 3,3333) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 3,3333^2) \cdot (3,3333 - 1)) = 1,1307$					
β <sub>V</sub> = 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:					
$y_{\text{ф}} = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0,91 \cdot 0,074265 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 2,0242 \cdot 5^2 \cdot 15,492) = 0,2482 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$					
Плечи моментов: a = 0					
90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
					261
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР		
<p><math>b = 0.5 \cdot (D_6 - D_{сш}) = 0.5 \cdot (125 - 80,5) = 22,25 \text{ мм}</math></p> <p><math>\beta = \frac{s_1}{s_0} = 14/5 = 2,8</math></p> <p><math>x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 20/(48 \cdot 5)^{1/2} = 1,291</math></p> <p><math>\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</math></p> <p>Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:</p> <p><math>s_3 = \kappa \cdot s_0 = 2,0369 \cdot 5 = 10,185 \text{ мм}</math></p> <p><math>e = 0.5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0.5 \cdot (80,5 - 48 - 10,185) = 11,158 \text{ мм}</math></p> <p><b>Расчёт нагрузок:</b></p> <p>Равнодействующая давления:</p> <p><math>Q_{\pi} = 0.785 \cdot D_{сш}^2 \cdot p = 0.785 \cdot 80,5^2 \cdot 0,10073 = 512,4 \text{ Н}</math></p> <p>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:</p> <p><math>R_{\pi} = \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot  p  = 3,1416 \cdot 80,5 \cdot 6,5 \cdot 3 \cdot  0,10073  = 496,74 \text{ Н}</math></p> <p>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:</p> <p><math>P_{обж} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0.5 \cdot 3,1416 \cdot 80,5 \cdot 6,5 \cdot 69 = 56712 \text{ Н}</math></p> <p><b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки):</p> <p><math>L_{60} = h + s_2 + h_{\pi} + h'_{ш} + h''_{ш} = 17 + 17 + 3,2 + 0 + 0 = 37,2 \text{ мм}</math></p> <p>Эффективная длина шпильки:</p> <p><math>L_6 = L_{60} + 0.56 \cdot d = 37,2 + 0.56 \cdot 16 = 46,16 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):</p> <p><math>f_6 = 144 \text{ мм}^2</math></p> <p>Податливость шпилек:</p> <p><math>y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 46,16 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 144 \cdot 4) = 0,37624 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p><math>\eta = y_{\pi} + y_6 + y_{\Phi}^I \cdot b^{I/2} + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II/2} = 0 + 0,37624 \cdot 10^{-6} + 0,40318 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 + 0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 = 0,93907 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}</math></p> <p>Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:</p> <p><math>\alpha = 1 - \frac{y_{\pi} - (y_{\Phi}^I \cdot e + y_{\Phi}^{II} \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 11,158 + 0,40318 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25) \cdot 22,25) / 0,93907 \cdot 10^{-6} = 1,4855</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:</p> <p><math>E_{кр}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p><math>y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\Phi} \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}</math></p> <p>Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:</p> <p><math>y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E^{20} \cdot D_{\Phi} \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}</math></p>						
Взам. инв. №						Лист
Подп. и дата						262
Инв. № подл.						Формат А4
90651-20600-AM-02-225 РР						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:						
$\alpha_M = \frac{y_{\phi} + y'_{\phi M} \cdot b' \cdot \left( b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\phi}} \right) + y''_{\phi M} \cdot b'' \cdot \left( b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\phi}} \right)}{y_{\phi} + y_{\pi} \cdot \left( \frac{D_{\phi}}{D_{\phi}} \right)^2 + y'_{\phi M} \cdot b'^2 + y''_{\phi M} \cdot b''^2}$						
$= [0,37624 \cdot 10^{-6} + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25 \cdot (22,25 + 22,25 - 22,25^2 / 80,5) + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25 \cdot (22,25 + 11,158 - 11,158^2 / 80,5)] / [0,37624 \cdot 10^{-6} + 0 \cdot (125 / 80,5)^2 + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2 + 0,22181 \cdot 10^{-4} \cdot 22,25^2]$						
$= 1,2916$						
$P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,4855 \cdot (512,4 + 0) + 496,74 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 1257,9 \text{ Н}$						
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)						
$P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,4855 \cdot (512,4 + 0) + 496,74 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 1257,9 \text{ Н}$						
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:						
$A_{\phi} = n \cdot f_{\phi} = 4 \cdot 144 = 576 \text{ мм}^2$						
Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:						
$P_{\phi 2} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\phi} \cdot [\sigma]_{\phi}^{20} \} = \max \{ 56712; 0,4 \cdot 576 \cdot 130 = 29952 \} = 56712 \text{ Н}$						
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: $K_{\text{уз}} = 1$						
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:						
$[\sigma]_{\phi}^{\text{п}} = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\phi}^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$						
Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)						
$P_{\phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\phi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{\phi}} = 1,4855 \cdot (512,4 + 0) + 496,74 + 4 \cdot 1,2916 \cdot  0  / 80,5 = 1257,9 \text{ Н}$						
Болтовая нагрузка в условиях затяжки:						
$P_{\phi}^{\text{п}} = \max \{ P_{\phi 1}; P_{\phi 2} \} = \max \{ 1257,9; 56712 \} = 56712 \text{ Н}$						
Условие прочности при затяжке:						
$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_{\phi}^{\text{п}}}{A_{\phi}} \leq [\sigma]_{\phi}^{\text{п}}$						
$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_{\phi}^{\text{п}}}{A_{\phi}} = 56712 / 576 = 98,459 \text{ МПа}$						
Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:						
$M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_{\phi}^{\text{п}} \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 56712 \cdot 16 / 4 = 68,055 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
При наличии смазки величина $M_{\text{кр}}$ снижается на 25% и составляет $0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 51,041 \text{ Н} \cdot \text{м}$						
$98,459 \text{ МПа} \leq 210,6 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>						
Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:						
$[\sigma]_{\phi}^{\text{р}} = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\phi} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 175,5 \text{ МПа}$						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
						Лист
						263

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

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m) \cdot |M|}{D_{\text{от}}} = 56712 + (1 - 1,4855) \cdot (512,4 + 0) + 4 \cdot (1 - 1,2916) \cdot |0| / 80,5 = 56464 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 56464 / 576 = 98,027 \text{ МПа}$$

98,027 МПа ≤ 175,5 МПа, **Условие прочности 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:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1,2671 \cdot 56712 \cdot 22,25 = 1599 \text{ Н·м}$$

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{0,44314 / (1 + 1,8); 1,0\} = 1$$

$$D^* = D + c + s_{1\text{при}}(D + 2 \cdot c) < 20 \cdot (s_1 - c) \text{ и } f = 1 = 48 + 0 + 14 \text{ при } 48 < 20 \cdot (14 - 0) \text{ и } f = 1 = 62 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 1599 / (2,0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 65,005 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1,0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,65336 \cdot 17 + 15,492) / (2,0242 \cdot 17^2 \cdot 15,492 \cdot 48) \cdot 1599 = 111,24 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,3333 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 3,3333^2 \cdot \lg 3,3333 / (3,3333 - 1)) = 1,7043$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,3333^2 + 1) / (3,3333^2 - 1) = 1,1978$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 1,7043 \cdot 1599 / (17^2 \cdot 48) - 1,1978 \cdot 111,24 = 63,195 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20}$$

$$\max \{ |\sigma_1^M + \sigma_R^M|; |\sigma_1^M + \sigma_T^M| \} = \max \{ 65,005 + 111,24; |65,005 + 63,195| \} = 176,25 \text{ МПа}$$

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:  $K_S = 1,2$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{м}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

176,25 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Взам. инв. №	$\sigma_1 = \frac{h^2 \cdot D}{R^2 \cdot K} = \frac{1000 \cdot (10^{-3})^2 \cdot 11,27 \cdot 10^9}{60,005^2 \cdot 1,2} = 334,09 \text{ МПа}$ Условие статической прочности при затяжке в сечении $s_1$ (п. 8.5.1): $\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right , \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20}$ $\max \left\{ \left  \sigma_1^M + \sigma_R^M \right , \left  \sigma_1^M + \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{65,005 + 111,24;  65,005 + 63,195 \} = 176,25 \text{ МПа}$					
	Подп. и дата	Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1): $[\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$ $K = \frac{D_{\text{н}}}{D} = 160 / 48 = 3,3333$ Коэффициент учета размеров тарелки фланца: $K_S = 1,2$ $K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{н}}^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$ $176,25 \text{ МПа} \leq 400,91 \text{ МПа}$ , <b>Условие прочности выполнено.</b>				
Инв. № подл.						Лист
	90651-20600-AM-02-225 РР				264	
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 80,5 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 80,5 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ P_6^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1,2671 \cdot \max \{ 56464 \cdot 22,25 + (512,4 + 0) \cdot 11,158; |512,4 + 0| \cdot 11,158 \} = 1599,2 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 1599,2 / (2,0242 \cdot (14 - 0)^2 \cdot 62) = 65,014 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,65336 \cdot 17 + 15,492) / (2,0242 \cdot 17^2 \cdot 15,492 \cdot 48) \cdot 1599,2 = 111,26 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_V \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 1,7043 \cdot 1599,2 / (17^2 \cdot 48) - 1,1978 \cdot 111,26 = 63,204 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,10073 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3,1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0,066809 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_m$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |65,014 - 0,066809 + 111,26|; |65,014 - 0,066809 + 63,204|; |65,014 + 0,066809| \} = 176,21 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_m = 1,5 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1,5 \cdot 222,73 = 334,09 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_m = 1,2 \cdot 1 \cdot 334,09 = 400,91 \text{ МПа}$$

176,21 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

$$\sigma_{1mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 48^2 \cdot 0,10073 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 14)) / (3,1416 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 0)) = 0,066809 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_m$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |65,014 - 0,066809 + 111,26|; |65,014 - 0,066809 + 63,204|; |65,014 + 0,066809| \} = 176,21 \text{ МПа}$$

176,21 МПа ≤ 400,91 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 65,005 = 65,005 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

65,005 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

					МПа	
Взам. инв. №		176,21 МПа ≤ 400,91 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>				
		Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s <sub>0</sub> :				
		$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1 \cdot 65,005 = 65,005 \text{ МПа}$				
		Условие статической прочности при затяжке в сечении s <sub>0</sub> (п. 8.5.2):				
		$\sigma_0^M \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R^{20}$				
Подп. и дата		Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):				
		$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_F^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$				
		$1.3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$				
		65,005 МПа ≤ 868,64 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b>				
		Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении s <sub>0</sub> :				
Инв. № подл.					90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						265
	Изм.	Лист	№ док.	Подп.		Дата

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1 \cdot 65,014 = 65,014 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0,10073 + 0 + 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3,1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0,21883 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,10073 \cdot 48 / (2 \cdot (5 - 0)) = 0,4835 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 65,014 \pm 0,21883; | 0.3 \cdot 65,014 \pm 0,4835; | 0.7 \cdot 65,014 \pm (0,21883 - 0,4835) \} = 65,233 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_R = 1.3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

65,233 МПа  $\leq$  868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 48^2 \cdot 0,10073 + 0 - 4 \cdot 0 / (48 + 5)) / (3,1416 \cdot (48 + 5) \cdot (5 - 0)) = 0,21883 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0.3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0.7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ 65,014 \pm 0,21883; | 0.3 \cdot 65,014 \pm 0,4835; | 0.7 \cdot 65,014 \pm (0,21883 - 0,4835) \} = 65,233 \text{ МПа}$$

65,233 МПа  $\leq$  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  $S_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ 0,4835; | 0,21883 \} = 0,4835 \text{ МПа}$$

0,4835 МПа  $\leq$  222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ 111,24; | 63,195 \} = 111,24 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

111,24 МПа  $\leq$  222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ 111,26; | 63,204 \} = 111,26 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$$

111,26 МПа  $\leq$  222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

**Жёсткость фланца:**

Угол поворота фланца в рабочих условиях:

$$\omega = M^P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1599,2 \cdot 0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,039692^\circ$$

Взам. инв. №		$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $111,24 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}, \text{Условие прочности выполнено.}$ Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок: $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$ $\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max\{111,26; 63,204\} = 111,26 \text{ МПа}$ $K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}$ $111,26 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}, \text{Условие прочности выполнено.}$ <b>Жёсткость фланца:</b> Угол поворота фланца в рабочих условиях: $\Theta = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 1599,2 \cdot 0,2482 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,039692^\circ$				
		Подп. и дата				

Инв. № подл.						90651-20600-AM-02-225 PP	Лист
							266
	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

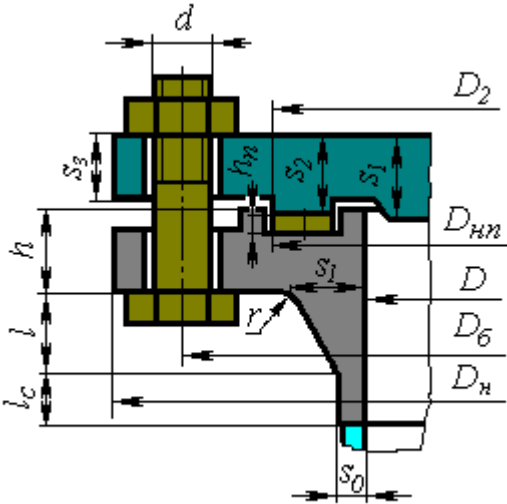
НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
<p>Допускаемый угол поворота фланца: [ϖ] = 0,34377 °</p> <p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: K<sub>ϖ</sub> = 1,3</p> <p>Условие выполнения жесткости фланцев: ϖ ≤ K<sub>ϖ</sub> · [ϖ] = 1,3 * 0,34377 = 0,44691 °</p> <p>Условие жёсткости выполнено.</p> <p>Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</p> <p>Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением</p> $\psi = \frac{P_6}{Q_d} = 56464 / 512,4 = 110,19$ $K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{сп}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сп}}}} = 0.41 * [(1 + 3 * 110,19 * (125 / 80,5 - 1)) / (125 / 80,5)]^{1/2} = 4,46$ <p>Нарушено условие применимости расчётных формул:</p> $\frac{s_1 - c}{D_p} \leq 0.11$ <p>В этом случае поправочный коэффициент для допускаемого давления:</p> $K_p = \frac{2.2}{1 + \sqrt{1 + \left( 6 \cdot \frac{s_1 - c}{D_p} \right)^2}} = 2.2 / [1 + (6 * [18 - 0] / 80,5)^2]^{1/2} = 0,82295$ <p>Допускаемое давление:</p> $[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([18 - 0] / [1 * 4,46 * 80,5])^2 * 222,73 * 1 * 0,82295 = 0,46072 \text{ МПа}$ <p>0,46072 МПа ≥ 0,10073 МПа</p> <p>Заключение: Условие прочности выполнено.</p> <p>Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением</p> <p>Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:</p> $s_{ф} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 4,46 * 1 * 80,5 * (0,10073 / [1 * 222,73 * 0,82295])^{1/2} + 0 = 8,4165 \text{ мм}$ <p>8,4165 мм ≤ 18 мм</p> <p>Заключение: Условие прочности выполнено.</p> $K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сп}} - 1} = 0.8 * [125 / 80,5 - 1]^{1/2} = 0,5948$ <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):</p> $[\sigma]_{20_{кр}} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$ <p>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)</p> <p>Нагрузка от температурных деформаций: Q<sub>t</sub> = 0 (в условиях испытаний или без учета стесненности температурных деформаций)</p>						
90651-20600-AM-02-225 РР						Лист
						267
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		





Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Материал фланца: Смежный элемент: Материал смежного элемента: Толщина стенки смежного элемента: Внутренний диаметр фланца, D: Наружный диаметр фланца, D <sub>н</sub> : Толщина фланца, h: Сумма прибавок, с: Длина конической части втулки, l: Длина цилиндрической части втулки, l <sub>с</sub> : Толщина цилиндрической части втулки, s <sub>0</sub> : Толщина конической части втулки, s <sub>1</sub> : Радиус перехода, r:					09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка Обечайка U1 09Г2С Лист 14 мм 700 мм 840 мм 45 мм 4 мм 33 мм 2 мм 9 мм 20 мм 7 мм	
								Лист 269	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 PP				

Крышка плоская U1



Эскиз элемента

Исходные данные

Параметры крышки:

Материал:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ  
8479 Поковка

Толщина стенки,  $s_1$ :

40 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $s_1$ :

4 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $s_2$ :

0 мм

Прибавка технологическая,  $s_3$ :

0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ :

4 мм

Толщина в месте прокладки,  $s_2$ :

36 мм

Толщина вне уплотнения,  $s_3$ :

30 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части,  $D_2$ :

763 мм

Наружный диаметр крышки,  $D_n$ :

840 мм

Коэффициент прочности сварного шва:

$\varphi_p = 1$

Параметры фланца:

Тип фланца:

Приварные встык

Исполнение фланца:

Шип-паз

Диаметр болтовой окружности,  $D_6$ :

800мм

Материал фланца:

09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ  
8479 Поковка

Смежный элемент:

Обечайка U1

Материал смежного элемента:

09Г2С Лист

Толщина стенки смежного элемента:

14 мм

Внутренний диаметр фланца,  $D$ :

700 мм

Наружный диаметр фланца,  $D_n$ :

840 мм

Толщина фланца,  $h$ :

45 мм

Сумма прибавок,  $c$ :

4 мм

Длина конической части втулки,  $l$ :

33 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $l_c$ :

2 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $s_0$ :

9 мм

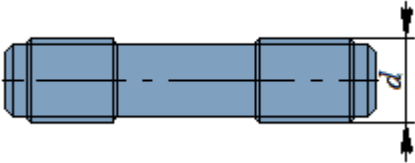
Толщина конической части втулки,  $s_1$ :

20 мм

Радиус перехода,  $r$ :

7 мм

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

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР
<b>Шпильки:</b> <div>  </div> <div>Крепеж</div> <div> <div>Материал:</div> <div>Наружный диаметр, d:</div> <div>Количество, n:</div> <div>Контроль затяжки:</div> <div>Прокладка:</div> <div>Материал прокладки:</div> <div>Толщина, h<sub>п</sub>:</div> <div>Наружный диаметр, D<sub>н.п</sub>:</div> <div>Ширина, b<sub>п</sub>:</div> </div> <div> <div>35 Крепеж</div> <div>20 мм</div> <div>32</div> <div>Нет</div> <div>Прокладка ТРГ универсальная</div> <div>2,9 мм</div> <div>763 мм</div> <div>13 мм</div> </div>					
<b>Расчёт в рабочих условиях</b>					
<b>Условия нагружения:</b> <div> <div>Расчётное осевое сжимающее усилие, F:</div> <div>Расчётный изгибающий момент, M:</div> <div>Расчётное внутреннее избыточное давление, p:</div> </div> <div> <div>2314,8 Н</div> <div>0 Н·м</div> <div>0,070000 МПа</div> </div>					
<b>Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017:</b>					
<b>Свойства материала болтов (шпилек)</b> <div> <div>Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>:</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 97 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]<sub>б</sub>= 126 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>E<sub>б</sub>=2,1011·10<sup>5</sup> МПа</div> <div>Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 97 °С:</div> <div>α<sub>б</sub>=0,111·10<sup>-4</sup>1/°С</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]<sup>20</sup><sub>б</sub>= 130 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:</div> <div>E<sup>20</sup><sub>б</sub>=2,13·10<sup>5</sup> МПа</div> </div>					
<b>Свойства материала смежного элемента фланца 2 Обечайка U1</b> <div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]<sub>ш</sub>= 177 МПа</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]<sup>20</sup><sub>ш</sub>= 196 МПа</div> </div>					
<b>Свойства материала фланца</b> <div> <div>Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>:</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 100 °С (рабочие условия):</div> <div>[σ]<sub>ф</sub>= 144 МПа</div> <div>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С:</div> <div>E<sub>ф</sub>=1,91·10<sup>5</sup> МПа</div> </div>					
<div> <div>90651-20600-AM-02-225 РР</div> </div>					Лист
					270

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР												
<p>Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 100 °С: <math>\alpha_{\phi}=0,116 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}</math></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (рабочие условия): <math>[\sigma]^{20\phi}=164,5 \text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20\phi}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p> <p>Характеристики прокладки</p> <table><tr><th>Тип и материал прокладки</th><th>Коэффициент m</th><th>Удельное давление обжатия <math>q_{обж}, \text{МПа}</math></th><th>Допускаемое удельное давление [q], МПа</th><th>Коэффициент обжатия K</th><th>Условный модуль сжатия <math>E_n, \text{МПа}</math></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 : <math>b_0=12 \text{ мм}</math></p> <p>Примечание: <math display="block">\begin{cases} b_0 = b_{\text{тп}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{тп}}} &amp; \text{при } b_{\text{тп}} &gt; 15,0 \text{ мм} \end{cases}</math></p> <p>Рабочий наружный диаметр прокладки: <math>D_{\text{тп}} = \min\{D_4; D_{\text{кп}}\} = \min\{763; 763\} = 763 \text{ мм}</math></p> <p>Средний эффективный диаметр прокладки: <math>D_{\text{ст}} = D_{\text{тп}} - b_0 = 763 - 12 = 751 \text{ мм}</math></p> <p>Податливость прокладки (п. 3.3): <math display="block">y_{\text{п}} = \frac{h_{\text{п}} \cdot K}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{тп}}} = 2,9 \cdot 1 / (2000 \cdot 3,1416 \cdot 751 \cdot 12) = 0,51215 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}</math></p> <p><b>Расчётные параметры болтов (шпилек):</b></p> <p>Рабочая длина болта (шпильки): <math>L_{\text{б0}} = h + s_2 + h_{\text{п}} + h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}}'' = 36 + 40 + 2,9 + 0 + 0 = 78,9 \text{ мм}</math></p> <p>Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы): <math>f_6 = 225 \text{ мм}^2</math></p> <p>Эффективная длина шпильки: <math>L_6 = L_{\text{б0}} + 0,56 \cdot d = 78,9 + 0,56 \cdot 20 = 90,1 \text{ мм}</math></p> <p>Податливость шпилек: <math display="block">y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} = 90,1 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 32) = 0,58751 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}</math></p> <p><b>Расчётные параметры крышки:</b></p> <p><math display="block">K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 840 / 751 = 1,1185</math></p> <p><math display="block">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 (1,1185^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,1185)) - 1)}{(1,1185 - 1) \cdot [1,1185^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,1185^2 + 1) \cdot (40 / 36)^3]} = 0,90668</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: <math>E^{20\phi}=1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math></p>						Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}, \text{МПа}$	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия $E_n, \text{МПа}$	Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000
Тип и материал прокладки	Коэффициент m	Удельное давление обжатия $q_{обж}, \text{МПа}$	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия $E_n, \text{МПа}$												
Прокладка ТРГ универсальная	3	20	70	1	2000												
					Лист												
90651-20600-AM-02-225 РР					271												
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата													

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

Угловая податливость крышки:

$$y_{кр} = \frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0,90668 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 36^3) = 0,55952 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

**Расчётные параметры фланца:**

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (700 \cdot 9)^{1/2} = 79,373 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0,84142$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 840 / 700 = 1,2$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,2) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 1,2^2) \cdot (1,2 - 1)) = 1,8371$$

$$\beta_V = 0,23316$$

$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,2) - 1) / (1,36 \cdot (1,2^2 - 1) \cdot (1,2 - 1)) = 11,822$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,8371 \cdot 79,373) + 0,23316 \cdot 45^3 / (11,822 \cdot 79,373 \cdot 9^2) = 1,0835$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0,91 \cdot 0,23316 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,0835 \cdot 9^2 \cdot 79,373) = 0,87692 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0,5 \cdot (D_6 - D_{сш}) = 0,5 \cdot (800 - 751) = 24,5 \text{ мм}$$

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 20/9 = 2,2222$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 33 / (700 \cdot 9)^{1/2} = 0,41576$$

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,2222 - 1) \cdot 0,41576 / (0,41576 + (1 + 2,2222) / 4) = 1,4161$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,4161 \cdot 9 = 12,745 \text{ мм}$$

$$e = 0,5 \cdot (D_{сш} - D - s_3) = 0,5 \cdot (751 - 700 - 12,745) = 19,128 \text{ мм}$$

**Расчёт нагрузок:**

Равнодействующая давления:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{сш}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 751^2 \cdot 0,070000 = 30992 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{п} = \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 751 \cdot 12 \cdot 3 \cdot |0,070000| = 5945,5 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{обж} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 751 \cdot 12 \cdot 20 = 2,8312 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)**

$$\eta = y_{п} + y_6 + y_{\Phi}^I \cdot b^{I/2} + y_{\Phi}^{II} \cdot b^{II/2} = 0,51215 \cdot 10^{-7} + 0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,55952 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 + 0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 = 0,26045 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{п} - (y_{\Phi}^I \cdot e + y_{кр} \cdot b)}{\eta} = 1 - (0,51215 \cdot 10^{-7} - (0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 19,128 + 0,55952 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5) \cdot 24,5) / 0,26045 \cdot 10^{-6} = 1,3038$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T =

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

272

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div>20 °С: E<sup>20</sup><sub>кр</sub>=1,99·10<sup>5</sup> МПа Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math>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 800 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 840 \cdot 36^3) = 0,28474 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math> Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math>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 800 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 840 \cdot 45^3) = 0,14578 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н} \cdot \text{м}</math> Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом: <math display="block">\alpha_M = \frac{y_6 + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{от}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{от}}\right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_6}{D_{от}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}</math> <math>= [0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5 \cdot (24,5 + 24,5 - 24,5^2 / 751) + 0,14578 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5 \cdot (24,5 + 19,128 - 19,128^2 / 751)] / [0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,51215 \cdot 10^{-7} \cdot (800 / 751)^2 + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2]</math> <math>= 0,8911</math> <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{от}} = 1,3038 \cdot (30992 + (-2314,8)) + 5945,5 + 4 \cdot 0,8911 \cdot  0  / 751 = 43335 \text{ Н}</math> <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (только давление, без учета температурной нагрузки)</b> <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{от}} = 1,3038 \cdot (30992 + 0) + 5945,5 + 4 \cdot 0,8911 \cdot  0  / 751 = 46353 \text{ Н}</math> Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра: <math>A_6 = n \cdot f_6 = 32 \cdot 225 = 7200 \text{ мм}^2</math> Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов: <math>P_{62} = \max \{P_{обж}; 0,4 \cdot A_6 \cdot [\sigma]_6^{20}\} = \max \{2,8312 \cdot 10^5; 0,4 \cdot 7200 \cdot 130 = 3,744 \cdot 10^5\} = 3,744 \cdot 10^5 \text{ Н}</math> <b>Расчёт без учета стесненности температурных деформаций</b> <b>Расчёт болтов(шпилек):</b> Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке: <math>\xi = 1,2</math> Коэффициент условий работы: <math>K_{ур} = 1</math> Коэффициент условий затяжки: <math>K_{уз} = 1</math> Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке: <math>[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{yt} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 156 \text{ МПа}</math> 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. <b>Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в рабочих условиях (нагрузки + давление, без учета температурной нагрузки)</b> <math>P_{61} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot  M }{D_{от}} = 1,3038 \cdot (30992 + (-2314,8)) + 5945,5 + 4 \cdot 0,8911 \cdot  0  / 751 = 43335 \text{ Н}</math> Болтовая нагрузка в условиях затяжки: <math>P_6^M = \max \{P_{61}; P_{62}\} = \max \{43335; 3,744 \cdot 10^5\} = 3,744 \cdot 10^5 \text{ Н}</math> Условие прочности при затяжке:</div>					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					273
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div><div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div><div><math display="block">\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M</math><math display="block">\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 3,744 \cdot 10^5 / 7200 = 52 \text{ МПа}</math><p>Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:</p><math display="block">M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 3,744 \cdot 10^5 \cdot 20 / 32 = 70,2 \text{ Н·м}</math><p>При наличии смазки величина <math>M_{кр}</math> снижается на 25% и составляет <math>0.75 \cdot M_{кр} = 52,65 \text{ Н·м}</math></p><p>52 МПа ≤ 156 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p>Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:</p><math display="block">[\sigma]_6^P = K_{ур} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 126 = 126 \text{ МПа}</math><p>Болтовая нагрузка в рабочих условиях:</p><math display="block">P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot  M }{D_{ст}} = 3,744 \cdot 10^5 + (1 - 1,3038) \cdot (30992 + (-2314,8)) + 4 \cdot (1 - 0,8911) \cdot  0  / 751 = 3,6569 \cdot 10^5 \text{ Н}</math><p>Условие прочности в рабочих условиях:</p><math display="block">\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P</math><math display="block">\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 3,6569 \cdot 10^5 / 7200 = 50,79 \text{ МПа}</math><p>50,79 МПа ≤ 126 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Расчёт прокладки:</b></p><p>Условие прочности мягких прокладок:</p><math display="block">q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} \leq [q]</math><math display="block">q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{ст} \cdot b_{пр}} = \max\{3,744 \cdot 10^5; 3,6569 \cdot 10^5\} / (3,1416 \cdot 751 \cdot 12) = 13,224 \text{ МПа}</math><p><math>[q] = 70 \text{ МПа}</math></p><p><b>Условие работоспособности выполнено.</b></p><p><b>Расчёт второго фланца:</b></p><p>Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:</p><math display="block">C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n} \cdot \frac{6 \cdot h}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}{\frac{\pi \cdot D_6}{n} \cdot \frac{6 \cdot h}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}}\right\} = \max\{1; (3,1416 \cdot 800 / 32 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 45 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1</math><p>Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:</p><math display="block">M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3,744 \cdot 10^5 \cdot 24,5 = 9172,8 \text{ Н·м}</math><math display="block">D^* = (D + 2 \cdot c)_{при (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c)} = 700 + 2 \cdot 0_{при (700 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (20 - 0)} = 700 \text{ мм}</math><p>Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении <math>s_1</math>:</p><math display="block">\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 9172,8 / (1,0835 \cdot (20 - 4)^2 \cdot 700) = 47,241 \text{ МПа}</math><p>Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:</p><math display="block">\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 0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,0835 \cdot 45^2 \cdot 79,373 \cdot 700) \cdot 9172,8 = 9,7615 \text{ МПа}</math><math display="block">\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,2 - 1) \cdot (0.69 + 5.72 \cdot 1,2^2 \cdot \lg 1,2 / (1,2^2 - 1)) = 10,861</math></div></div>					
Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					274
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

$$\beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,2^2 + 1) / (1,2^2 - 1) = 5,5455$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^M = 10,861 \cdot 9172,8 / (45^2 \cdot 700) - 5,5455 \cdot 9,7615 = 16,153 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |47,241 + 9,7615|; |47,241 + 16,153| \} = 63,395 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1,5 \cdot 164,5 = 246,75 \text{ МПа}$$

$$K = \frac{D_K}{D} = 840 / 700 = 1,2$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца:  $K_S = 1$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1 \cdot 1 \cdot 246,75 = 246,75 \text{ МПа}$$

63,395 МПа ≤ 246,75 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Приведенная нагрузка от внешней силы и момента:

$$Q_{FM}^+ = F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 + 4 \cdot |0| / 751 = 0 \text{ Н}$$

$$Q_{FM}^- = F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{фл}}} = 0 - 4 \cdot |0| / 751 = 0 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при рабочих условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \{ p_E^P \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e; |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \} = 1 \cdot \max \{ 3,6498 \cdot 10^5 \cdot 24,5 + (30992 + 0) \cdot 19,128; |30992 + 0| \cdot 19,128 \} = 9534,9 \text{ Н·м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 9534,9 / (1,0835 \cdot (20 - 4)^2 \cdot 700) = 49,106 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h \cdot l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 \cdot 0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,0835 \cdot 45^2 \cdot 79,373 \cdot 700) \cdot 9534,9 = 10,147 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в рабочих условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_z \cdot \sigma_R^P = 10,861 \cdot 9534,9 / (45^2 \cdot 700) - 5,5455 \cdot 10,147 = 16,791 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (+):

$$\sigma_{1mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0,785 \cdot 700^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (700 + 20)) / (3,1416 \cdot (700 + 20) \cdot (20 - 4)) = 0,74398 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P+} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P+} \right| \right\} = \max \{ |49,106 - 0,74398 + 10,147|; |49,106 - 0,74398 + 16,791|; |49,106 + 0,74398| \} = 65,154 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma]_\Phi = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$$

$$K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_M = 1 \cdot 1 \cdot 216 = 216 \text{ МПа}$$

65,154 МПа ≤ 216 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_1$  (-):

Взам. инв. №	Подп. и дата	$\sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} = \frac{D + s_1}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = \frac{0.785 \cdot 700^2 \cdot 0,070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (700 + 20)}{(3,1416 \cdot (700 + 20) \cdot (20 - 4))} = 0,74398 \text{ МПа}$ <p>Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении <math>s_1</math> (п. 8.5.1):</p> $\max \left\{ \left  \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right ; \left  \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right ; \left  \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right  \right\} \leq K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{ж}}$ $\max \left\{ \left  \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right ; \left  \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right ; \left  \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{лмм}}^{\text{P}+} \right  \right\} = \max \{  49,106 - 0,74398 + 10,147 ;  49,106 - 0,74398 + 16,791 ;  49,106 + 0,74398  \} = 65,154 \text{ МПа}$ <p>Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):</p> $[\sigma]_{\text{м}} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 144 = 216 \text{ МПа}$ $K_{\text{S}} \cdot K_{\text{T}} \cdot [\sigma]_{\text{ж}} = 1 \cdot 1 \cdot 216 = 216 \text{ МПа}$ <p>65,154 МПа ≤ 216 МПа, <b>Условие прочности выполнено.</b></p> <p>Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении <math>S_1</math> (—):</p>				
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

90651-20600-AM-02-225 PP					Лист
					275

$$\sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_1}}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = (0.785 \cdot 700^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (700 + 20)) / (3.1416 \cdot (700 + 20) \cdot (20 - 4)) = 0,74398 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} \right| \right\} \leq K_S \cdot K_T \cdot [\sigma]_{\text{M}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} + \sigma_{\text{R}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_1^{\text{P}} - \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} + \sigma_{\text{T}}^{\text{P}} \right|, \left| \sigma_1^{\text{P}} + \sigma_{\text{lim}}^{\text{P-}} \right| \right\} = \max \{ 49,106 - 0,74398 + 10,147; |49,106 - 0,74398 + 16,791|; |49,106 + 0,74398| \} = 65,154 \text{ МПа}$$

65,154 МПа ≤ 216 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}, 1.0 \right\} = \max \{ 4,2742 / (1 + 1,2222); 1.0 \} = 1,9234$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^{\text{M}} = f \cdot \sigma_1^{\text{M}} = 1,9234 \cdot 47,241 = 90,863 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_{\text{R}}^{20} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 3 \cdot 164,5 = 493,5 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}^{20} = 1.3 \cdot 493,5 = 641,55 \text{ МПа}$$

90,863 МПа ≤ 641,55 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^{\text{P}} = f \cdot \sigma_1^{\text{P}} = 1,9234 \cdot 49,106 = 94,45 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P+}} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 700^2 \cdot 0.070000 + 0 + 4 \cdot 0 / (700 + 9)) / (3.1416 \cdot (700 + 9) \cdot (9 - 4)) = 2,4177 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,070000 \cdot 700 / (2 \cdot (9 - 4)) = 4,9 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mm}}^{\text{P+}} \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P+}} - \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}}) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mm}}^{\text{P+}} \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P+}} - \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}}) \right| \right\} = \max \{ 94,45 \pm 2,4177; |0.3 \cdot 94,45 \pm 4,9|; |0.7 \cdot 94,45 \pm (2,4177 - 4,9)| \} = 96,868 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_{\text{R}} = 3 \cdot [\sigma]_{\text{ф}} = 3 \cdot 144 = 432 \text{ МПа}$$

$$1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}} = 1.3 \cdot 432 = 561,6 \text{ МПа}$$

96,868 МПа ≤ 561,6 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P-}} = \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0.785 \cdot 700^2 \cdot 0.070000 + 0 - 4 \cdot 0 / (700 + 9)) / (3.1416 \cdot (700 + 9) \cdot (9 - 4)) = 2,4177 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mm}}^{\text{P-}} \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P-}} - \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}}) \right| \right\} \leq 1.3 \cdot [\sigma]_{\text{R}}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mm}}^{\text{P-}} \right|, \left| 0.3 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}} \right|, \left| 0.7 \cdot \sigma_0^{\text{P}} \pm (\sigma_{0\text{mm}}^{\text{P-}} - \sigma_{0\text{mo}}^{\text{P}}) \right| \right\} = \max \{ 94,45 \pm 2,4177; |0.3 \cdot 94,45 \pm 4,9|; |0.7 \cdot 94,45 \pm (2,4177 - 4,9)| \} = 96,868 \text{ МПа}$$

96,868 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  $s_0$ :

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист 276
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						



НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР			
<div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div> <div><math>\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}</math><math>\max \left\{ \left  \sigma_{0mo}^P \right ; \left  \sigma_{0mm}^P \right  \right\} = \max\{4,9;   2,2098\} = 4,9 \text{ МПа}</math><math>4,9 \text{ МПа} \leq 144 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math>Условие статической прочности при затяжке для тарелок:<math>\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}</math><math>\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max\{9,7615;   16,153\} = 16,153 \text{ МПа}</math><math>K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 * 164,5 = 164,5 \text{ МПа}</math><math>16,153 \text{ МПа} \leq 164,5 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:<math>\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}</math><math>\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max\{10,147;   16,791\} = 16,791 \text{ МПа}</math><math>K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 * 144 = 144 \text{ МПа}</math><math>16,791 \text{ МПа} \leq 144 \text{ МПа, Условие прочности выполнено.}</math><p><b>Жёсткость фланца:</b> Угол поворота фланца в рабочих условиях: <math>\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 9507,9 * 0,87692 \cdot 10^{-5} * 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5 = 0,086869^{\circ}</math> Допускаемый угол поворота фланца: <math>[\varpi] = 0,41898^{\circ}</math> Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: <math>K_{\varpi} = 1</math> Условие выполнения жесткости фланцев: <math>\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 * 0,41898 = 0,41898^{\circ}</math> <b>Условие жёсткости выполнено.</b> Температура фланца (кольца), <math>t_{\Phi}</math>: <span style="float: right;">100 °C</span> В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия: <math>\max \{t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi c}\} \leq 120^{\circ} \text{C}</math> <math>\max \{t_{\Phi}; t_{\Phi P}; t_{\Phi c}\} = \max\{100; 100; 97\} = 100 / ^{\circ} \text{C}</math><p><b>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</b> Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре <math>T = 100^{\circ} \text{C}</math>: <math>\alpha_{кр} = 0,116 \cdot 10^{-4} / ^{\circ} \text{C}</math> Относительное удлинение : <math display="block">\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_{\Phi} \cdot (h' + h'') \cdot (t_{\Phi} - 20^{\circ} \text{C})}</math><math>= [0,116 \cdot 10^{-4} * 36 * (100 - 20^{\circ} \text{C}) + 0,116 \cdot 10^{-4} * 45 * (100 - 20^{\circ} \text{C})] / [0,111 \cdot 10^{-4} * (36 + 45) * (97 - 20^{\circ} \text{C})]</math><math>= 1,0858</math> В соответствии с п. 4.7 ГОСТ 34233.4–2017 при <math>T_{\max} &lt; 120^{\circ} \text{C}</math> допускается не учитывать нагрузку от температурных деформаций при выполнении условия: <math>\delta_t &gt; 1</math> <b>Расчет с учетом усилий от температурных деформаций не производится.</b> <p><b>Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</b> Коэффициент ослабления для днищ, не имеющих отверстий <math>K_0 = 1.0</math></p></p></p></div>							
Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							277
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

**Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением**

$$\psi = \frac{P_p}{Q_d} = 3,8788 \cdot 10^5 / 30992 = 12,515$$

$$K_6 = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{сп}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сп}}}} = 0,41 \cdot [(1 + 3 \cdot 12,515 \cdot (800 / 750 - 1)) / (800 / 750)]^{1/2} = 0,74301$$

Поправочный коэффициент для допускаемого давления  $K_p = 1,0$

Допускаемое давление:

$$[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = [(40 - 4) / (1 \cdot 0,74301 \cdot 750)]^2 \cdot 144 \cdot 1 \cdot 1 = 0,60097 \text{ МПа}$$

$$0,60097 \text{ МПа} \geq 0,070000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

**Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением**

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0,74301 \cdot 1 \cdot 750 \cdot \sqrt{(0,070000 / (1 \cdot 144 \cdot 1))^{1/2}} + 4 = 16,286 \text{ мм}$$

$$16,286 \text{ мм} \leq 40 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_7 = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{сп}} - 1} = 0,8 \cdot [800 / 750 - 1]^{1/2} = 0,20656$$

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)**

$$\gamma = \frac{1}{y_{п1} + y_{с1} \cdot \frac{E_{с20}}{E_{с6}} + \left( y_{ф1} \cdot \frac{E_{ф20}}{E_{ф6}} + y_{кп1} \cdot \frac{E_{кп20}}{E_{кп6}} \right) \cdot b^2} = \frac{1 / (0,51215 \cdot 10^{-7} + 0,58751 \cdot 10^{-7} \cdot 2,13 \cdot 10^5 / 2,1011 \cdot 10^5 + (0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 = 1,91 \cdot 10^5 + 0,55952 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,91 \cdot 10^5) \cdot 24,5^2)}{3,7374 \cdot 10^6 \text{ Н/мм}}$$

Нагрузка от температурных деформаций:

$$Q_t = \gamma \cdot \left( \alpha'_{ф1} \cdot h'_{ф1} + \alpha'_{ш1} \cdot h'_{ш1} \right) \cdot (t_{ф1} - 20^\circ \text{C}) + \left( \alpha''_{ф1} \cdot h''_{ф1} + \alpha''_{ш1} \cdot h''_{ш1} \right) \cdot (t_{ф2} - 20^\circ \text{C}) - \alpha_{с6} \cdot (h'_{с6} + h''_{с6} + h'_{ш6} + h''_{ш6}) \cdot (t_{с6} - 20^\circ \text{C})$$

$$= 3,7374 \cdot 10^6 \cdot ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 36 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) + ((0,116 \cdot 10^{-4} \cdot 45 + 0 \cdot 0) \cdot (100 - 20^\circ \text{C}) - 0,111 \cdot 10^{-4} \cdot (36 + 45 + 0 + 0) \cdot (97 - 20^\circ \text{C}))$$

$$= 22190 \text{ Н}$$

$$P_{с1} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{м1} \cdot |M|}{D_{сп}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{м1} \cdot |M|}{D_{сп}} - Q_t \right\} = \max \{ 1,3038 \cdot (30992 + (-2314,8)) + 5945,5 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 = 43335, 1,3038 \cdot (30992 + (-2314,8)) + 5945,5 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 - 22190 = 21145 \} = 43335 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_p^p = P_p^m + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{м1}) \cdot |M|}{D_{сп}} = 3,744 \cdot 10^5 + (1 - 1,3038) \cdot (30992 + (-2314,8)) + 22190 + 4 \cdot (1 - 0,8911) \cdot |0| / 751 = 3,8788 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

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

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

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

278

Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия	НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
	$\Phi = \max \left\{ \frac{P_6^P}{[\sigma]}, \frac{P_6^M}{[\sigma]^{20}} \right\}$		$= \max \{ 3,8788 \cdot 10^5 / 144; 3,744 \cdot 10^5 / 222,73 \}$		$= 2693,6 \text{ мм}^2$	
	Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:					
	$s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{с.п.}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,20656 \cdot 2693,6^{1/2}; 0,6 \cdot 2693,6 / 750 \} + 0 = 10,72 \text{ мм}$					
	10,72 мм ≤ 36 мм					
	Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>					
	$K_7' = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0,8 \cdot [800 / 763 - 1]^{1/2} = 0,17617$					
	Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок:					
	$s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,17617 \cdot 2693,6^{1/2}; 0,6 \cdot 2693,6 / 763 \} + 0 = 9,1431 \text{ мм}$					
	9,1431 мм ≤ 30 мм					
Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b>						
<b>Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидро</b>						
<b>Фланец:</b>						
Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:						
$P_{гп} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,099957 \text{ МПа}$						
Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:						
$P_{гп} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1,25 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,099957 \text{ МПа}$						
<b>Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)</b>						
<b>Условия нагружения при испытаниях:</b>						
Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 2603,3 Н						
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м						
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,10092 МПа						
По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:						
$P_{исп} < 1,35 \cdot P_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$						
$1,35 \cdot P_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,070000 \cdot 164,5 / 144 = 0,10795 \text{ МПа} \geq 0,10092 \text{ МПа}$						
<b>Расчёт фланца по ГОСТ 34233.4-2017:</b>						
<b>Свойства материала болтов (шпилек)</b>						
Температура болтов (шпилек), t <sub>б</sub> : 20 °С						
Допускаемые напряжения для материала 35 Крепеж при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):						
[σ] <sup>20<sub>б</sub></sup> = 130 МПа						
Модуль продольной упругости для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:						
E <sup>20<sub>б</sub></sup> = 2,13·10 <sup>5</sup> МПа						
Коэффициент линейного расширения для материала 35 Крепеж при температуре T = 20 °С:						
α <sup>20<sub>б</sub></sup> = 0,111·10 <sup>-4</sup> /°С						
<b>Свойства материала смежного элемента фланца 2 Обечайка U1</b>						
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Лист при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний):						
$[\sigma]^{20_{ш}} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
						279

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ			РР	
<b>Свойства материала фланца</b> Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> : 20 °С Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (условия гидроиспытаний): $[\sigma]^{20}_{\phi} = \frac{R_e / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E <sup>20</sup> <sub>ф</sub> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: α <sup>20</sup> <sub>ф</sub> =0,116·10 <sup>-4</sup> /°С Характеристики прокладки						
Тип и материал прокладки		Коэффициент m	Удельное давление обжатия q <sub>обж</sub> , МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия K	Условный модуль сжатия E <sub>п</sub> , МПа
Прокладка ТРГ универсальная		3	20	70	1	2000
Эффективная ширина прокладки : b <sub>0</sub> =12 мм $\text{Примечание: } \begin{cases} b_0 = b_{\text{ТРГ}} & \text{при } b_{\text{ТРГ}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{ТРГ}}} & \text{при } b_{\text{ТРГ}} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$ Средний эффективный диаметр прокладки: D <sub>ст</sub> = D <sub>нпф</sub> - b <sub>0</sub> = 763 - 12 = 751 мм <b>Расчётные параметры крышки:</b> $K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ст}}} = 840 / 751 = 1,1185$ $x_{\text{кр}} = \frac{0,67 \cdot [K_{\text{кр}}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\text{кр}}) - 1]}{(K_{\text{кр}} - 1) \cdot [K_{\text{кр}}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{\text{кр}}^2 + 1) \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^3]} = \frac{0,67 \cdot (1,1185^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,1185)) - 1)}{(1,1185 - 1) \cdot [1,1185^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,1185^2 + 1) \cdot (40 / 36)^3]} = 0,90668$ Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С: E <sup>20</sup> <sub>кр</sub> =1,99·10 <sup>5</sup> МПа Угловая податливость крышки: $y_{\text{кр}} = \frac{x_{\text{кр}}}{E_{\text{кр}}^{20} \cdot s_2^3} = 0,90668 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 36^3) = 0,55952 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$ <b>Расчётные параметры фланца:</b> $l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (700 \cdot 9)^{1/2} = 79,373 \text{ мм}$ β <sub>F</sub> = 0,84142 $\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,2) - 1) / ((1,05 + 1,945 \cdot 1,2^2) \cdot (1,2 - 1)) = 1,8371$ β <sub>V</sub> = 0,23316 $\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{1,36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,2) - 1) / (1,36 \cdot (1,2^2 - 1) \cdot (1,2 - 1)) = 11,822$						
					Лист	
					280	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	90651-20600-AM-02-225 РР	

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.

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + 1_0}{\beta_T \cdot 1_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot 1_0 \cdot s_0^2} = (0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,8371 \cdot 79,373) + 0,23316 \cdot 45^3 / (11,822 \cdot 79,373 \cdot 9^2) = 1,0835$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot 1_0} = 0,91 \cdot 0,23316 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 1,0835 \cdot 9^2 \cdot 79,373) = 0,87692 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$
$$b = 0,5 \cdot (D_\Phi - D_{\text{сп}}) = 0,5 \cdot (800 - 751) = 24,5 \text{ мм}$$
$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 20/9 = 2,2222$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 33/(700 \cdot 9)^{1/2} = 0,41576$$
$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2,2222 - 1) \cdot 0,41576 / (0,41576 + (1 + 2,2222) / 4) = 1,4161$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot s_0 = 1,4161 \cdot 9 = 12,745 \text{ мм}$$
$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = 0,5 \cdot (751 - 700 - 12,745) = 19,128 \text{ мм}$$

**Расчёт нагрузок:**

Равнодействующая давления:

$$Q_\pi = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 751^2 \cdot 0,10092 = 44683 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_\pi = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,1416 \cdot 751 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 0,10092 = 8572,1 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 751 \cdot 12 \cdot 20 = 2,8312 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (нагрузки + давление)**

Рабочая длина болта (шпильки):

$$L_{\text{б0}} = h + s_2 + h_\pi + h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}}'' = 36 + 40 + 2,9 + 0 + 0 = 78,9 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки:

$$L_\text{б} = L_{\text{б0}} + 0,56 \cdot d = 78,9 + 0,56 \cdot 20 = 90,1 \text{ мм}$$

Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):

$$f_\text{б} = 225 \text{ мм}^2$$

Податливость шпилек:

$$y_\text{б} = \frac{L_\text{б}}{E^{20} \cdot f_\text{б} \cdot n} = 90,1 / (2,13 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 32) = 0,58751 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$
$$\eta = y_\pi + y_\text{б} + y_\Phi' \cdot b'^2 + y_\Phi'' \cdot b''^2 = 0,51215 \cdot 10^{-7} + 0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,55952 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 + 0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 = 0,26045 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_\pi - (y_\Phi \cdot e + y_\pi \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0,51215 \cdot 10^{-7} - (0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 19,128 + 0,55952 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5) \cdot 24,5) / 0,26045 \cdot 10^{-6} = 1,3038$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре T = 20 °С:

$$E^{20}_{\text{кр}} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi\text{М}} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_\Phi}{E^{20} \cdot D_\text{н} \cdot h^3} = (3,1416 / 4)^3 \cdot 800 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 840 \cdot 36^3) = 0,28474 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

Изм.

Лист

№ док.

Подп.

Дата

281

90651-20600-AM-02-225 РР\_изм.0.docx

Формат А4

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi M} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\Phi}}{E \cdot D_{\Phi} \cdot h^3} = (3,1416/4)^3 \cdot 800 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 840 \cdot 45^3) = 0,14578 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н}\cdot\text{м}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M = \frac{y_{\Phi} + y'_{\Phi M} \cdot b' \cdot \left(b' + e' - \frac{e'^2}{D_{\Phi}}\right) + y''_{\Phi M} \cdot b'' \cdot \left(b'' + e'' - \frac{e''^2}{D_{\Phi}}\right)}{y_{\Phi} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\Phi}}{D_{\Phi}}\right)^2 + y'_{\Phi M} \cdot b'^2 + y''_{\Phi M} \cdot b''^2}$$

$$= [0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5 \cdot (24,5 + 24,5 - 24,5^2 / 751) + 0,14578 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5 \cdot (24,5 + 19,128 - 19,128^2 / 751)] / [0,58751 \cdot 10^{-7} + 0,51215 \cdot 10^{-7} \cdot (800 / 751)^2 + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2 + 0,28474 \cdot 10^{-5} \cdot 24,5^2] = 0,8911$$

$$P_{\Phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\Phi} + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\Phi}} = 1,3038 \cdot (44683 + (-2603,3)) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 = 63436 \text{ Н}$$

**Расчетная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в условиях испытаний (только давление)**

$$P_{\Phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\Phi} + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\Phi}} = 1,3038 \cdot (44683 + 0) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 = 66830 \text{ Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\Phi} = n \cdot f_{\Phi} = 32 \cdot 225 = 7200 \text{ мм}^2$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\Phi 2} = \max\{P_{\text{обж}}, 0,4 \cdot A_{\Phi} \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}\} = \max\{2,8312 \cdot 10^5; 0,4 \cdot 7200 \cdot 130 = 3,744 \cdot 10^5\} = 3,744 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

**Расчёт без учета стесненности температурных деформаций**

**Расчёт болтов(шпилек):**

Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке:  $\xi = 1,2$

Коэффициент условий работы:  $K_{\text{уп}} = 1,35$

Коэффициент условий затяжки:  $K_{\text{уз}} = 1$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:

$$[\sigma]_{\Phi}^{\text{м}} = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 210,6 \text{ МПа}$$

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 условиях испытаний (нагрузки + давление)**

$$P_{\Phi 1} = \alpha \cdot (Q_{\Phi} + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\Phi}} = 1,3038 \cdot (44683 + (-2603,3)) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 = 63436 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_{\Phi}^{\text{м}} = \max\{P_{\Phi 1}; P_{\Phi 2}\} = \max\{63436; 3,744 \cdot 10^5\} = 3,744 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{\Phi 1} = \frac{P_{\Phi}^{\text{м}}}{A_{\Phi}} \leq [\sigma]_{\Phi}^{\text{м}}$$

$$\sigma_{\Phi 1} = \frac{P_{\Phi}^{\text{м}}}{A_{\Phi}} = 3,744 \cdot 10^5 / 7200 = 52 \text{ МПа}$$

Взам. инв. №		испытаний (нагрузки + давление)						
		$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot  M }{D_{\text{ст}}} = 1,3038 \cdot (44683 + (-2603,3)) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot  0  / 751 = 63436 \text{ Н}$						
Подп. и дата		Болтовая нагрузка в условиях затяжки:						
		$P_{\text{б}}^{\text{м}} = \max\{P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}\} = \max\{63436; 3,744 \cdot 10^5\} = 3,744 \cdot 10^5 \text{ Н}$						
Инв. № подл.		Условие прочности при затяжке:						
		$\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{м}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{б}}^{\text{м}}$ $\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{м}}}{A_{\text{б}}} = 3,744 \cdot 10^5 / 7200 = 52 \text{ МПа}$						
						90651-20600-AM-02-225 PP	Лист	
							282	
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки:

$$M_{\text{кр}} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 3,744 \cdot 10^5 \cdot 20 / 32 = 70,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При наличии смазки величина  $M_{\text{кр}}$  снижается на 25% и составляет  $0.75 \cdot M_{\text{кр}} = 52,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$

52 МПа ≤ 210,6 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:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{ст}}} = 3,744 \cdot 10^5 + (1 - 1,3038) \cdot (44683 + (-2603,3)) + 4 \cdot (1 - 0,8911) \cdot |0| / 751 = 3,6162 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{6,2} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{6,2} = \frac{P_6^P}{A_6} = 3,6162 \cdot 10^5 / 7200 = 50,224 \text{ МПа}$$

50,224 МПа ≤ 175,5 МПа, **Условие прочности выполнено.**

### Расчёт прокладки:

Условие прочности мягких прокладок:

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} \leq [q]$$

$$q = \frac{\max\{P_6^M, P_6^P\}}{\pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_{\text{пр}}} = \max\{3,744 \cdot 10^5; 3,6162 \cdot 10^5\} / (3,1416 \cdot 751 \cdot 12) = 13,224 \text{ МПа}$$

$$[q] = 70 \text{ МПа}$$

**Условие работоспособности выполнено.**

### Расчёт второго фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max\left\{1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}}\right\} = \max\{1; (3,1416 \cdot 800 / 32 / (2 \cdot 20 + 6 \cdot 45 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 3,744 \cdot 10^5 \cdot 24,5 = 9172,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$D^* = (D + 2 \cdot c)_{\text{при}} (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c) = 700 + 2 \cdot 0 \text{ при } (700 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (20 - 0) = 700 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 9172,8 / (1,0835 \cdot (20 - 0)^2 \cdot 700) = 30,235 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,0835 \cdot 45^2 \cdot 79,373 \cdot 700) \cdot 9172,8 = 9,7615 \text{ МПа}$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,2 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 1,2^2 \cdot \lg 1,2 / (1,2^2 - 1)) = 10,861$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,2^2 + 1) / (1,2^2 - 1) = 5,5455$$

Взам. инв. №		Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении s <sub>1</sub> :					
		$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 9172,8 / (1,0835 \cdot (20 - 0)^2 \cdot 700) = 30,235 \text{ МПа}$					
Подп. и дата		Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:					
		$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,84142 \cdot 45 + 79,373) / (1,0835 \cdot 45^2 \cdot 79,373 \cdot 700) \cdot 9172,8 = 9,7615 \text{ МПа}$					
Инв. № подл.		$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,2 - 1) \cdot (0,69 + 5,72 \cdot 1,2^2 \cdot \lg 1,2 / (1,2^2 - 1)) = 10,861$					
		$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,2^2 + 1) / (1,2^2 - 1) = 5,5455$					
						90651-20600-AM-02-225 РР	Лист
							283
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	





$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{1mm}^{P-} + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{1mm}^{P-} \right| \right\} = \max \{ |31,955 - 0,85812 + 10,317|; |31,955 - 0,85812 + 17,073|; |31,955 + 0,85812| \} = 48,17 \text{ МПа}$$

48,17 МПа ≤ 334,09 МПа, **Условие прочности выполнено.**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; \max \{ 4,2742 / (1 + 1,2222); 1,0 \} \right\} = 1,9234$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1,9234 \cdot 30,235 = 58,152 \text{ МПа}$$

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):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

58,152 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1,9234 \cdot 31,955 = 61,462 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (+):

$$\sigma_{0mm}^{P+} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F + \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 700^2 \cdot 0,10092 + 0 + 4 \cdot 0 / (700 + 9)) / (3,1416 \cdot (700 + 9) \cdot (9 - 0)) = 1,9365 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 0,10092 \cdot 700 / (2 \cdot (9 - 0)) = 3,9248 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P+} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P+} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |61,462 \pm 1,9365|; |0,3 \cdot 61,462 \pm 3,9248|; |0,7 \cdot 61,462 \pm (1,9365 - 3,9248)| \} = 63,399 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ 34233.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 222,73 = 668,18 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 668,18 = 868,64 \text{ МПа}$$

63,399 МПа ≤ 868,64 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в рабочих условиях в сечении  $S_0$  (-):

$$\sigma_{0mm}^{P-} = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot p + F - \frac{4 \cdot M}{D + s_0}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = (0,785 \cdot 700^2 \cdot 0,10092 + 0 - 4 \cdot 0 / (700 + 9)) / (3,1416 \cdot (700 + 9) \cdot (9 - 0)) = 1,9365 \text{ МПа}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^{P-} \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^{P-} - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |61,462 \pm 1,9365|; |0,3 \cdot 61,462 \pm 3,9248|; |0,7 \cdot 61,462 \pm (1,9365 - 3,9248)| \} = 63,399 \text{ МПа}$$

63,399 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  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ |3,9248|; |1,8067| \} = 3,9248 \text{ МПа}$$

3,9248 МПа ≤ 222,73 МПа, **Условие прочности выполнено.**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

285

НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ		РР	
<div><div><div>Этот документ является собственностью "НЕФТЕХИМПРОЕКТ" и не подлежит копированию и распространению без его согласия</div></div></div> <div><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^M \right ; \left  \sigma_T^M \right  \right\} = \max \{ 9,7615; 16,153 \} = 16,153 \text{ МПа}</math><math display="block">K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}</math><math display="block">16,153 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}, \text{Условие прочности выполнено.}</math><p>Условие статической прочности в рабочих условиях для тарелок:</p><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}</math><math display="block">\max \left\{ \left  \sigma_R^P \right ; \left  \sigma_T^P \right  \right\} = \max \{ 10,317; 17,073 \} = 17,073 \text{ МПа}</math><math display="block">K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1 \cdot 222,73 = 222,73 \text{ МПа}</math><math display="block">17,073 \text{ МПа} \leq 222,73 \text{ МПа}, \text{Условие прочности выполнено.}</math><p><b>Жёсткость фланца:</b></p><p>Угол поворота фланца в рабочих условиях:</p><math display="block">\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 9664,5 \cdot 0,87692 \cdot 10^{-5} \cdot 1,99 \cdot 10^5 / 1,99 \cdot 10^5 = 0,084750^{\circ}</math><p>Допускаемый угол поворота фланца:</p><math display="block">[\varpi] = 0,41898^{\circ}</math><p>Коэффициент увеличения допускаемого угла поворота фланцев: <math>K_{\varpi} = 1,3</math></p><p>Условие выполнения жесткости фланцев:</p><math display="block">\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1,3 \cdot 0,41898 = 0,54467^{\circ}</math><p><b>Условие жёсткости выполнено.</b></p><p><b>Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017</b></p><p><b>Днища и крышки с дополнительным краевым моментом, нагруженные избыточным давлением</b></p><math display="block">\psi = \frac{P^P}{Q_d} = 3,6162 \cdot 10^5 / 44683 = 8,0929</math><math display="block">K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left( \frac{D_3}{D_{с\pi}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{с\pi}}}} = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 8,0929 \cdot (800 / 750 - 1)}{800 / 750}} = 0,64239</math><p>Поправочный коэффициент для допускаемого давления <math>K_p = 1.0</math></p><p>Допускаемое давление:</p><math display="block">[p] = \left( \frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([40 - 0] / [1 \cdot 0,64239 \cdot 750])^2 \cdot 222,73 \cdot 1 \cdot 1 = 1,5352 \text{ МПа}</math><math display="block">1,5352 \text{ МПа} \geq 0,10092 \text{ МПа}</math><p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p><p><b>Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением</b></p><p>Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:</p><math display="block">s_{\Phi} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0,64239 \cdot 1 \cdot 750 \cdot \sqrt{(0,10092 / [1 \cdot 222,73 \cdot 1])^{1/2}} + 0 = 10,256 \text{ мм}</math><math display="block">10,256 \text{ мм} \leq 40 \text{ мм}</math><p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено.</b></p><math display="block">K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_{с\pi}}} - 1 = 0.8 \cdot \sqrt{800 / 750} - 1 = 0,20656</math><p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.КП 245 ГОСТ 8479 Поковка при температуре 20 °С (усло-</p></div>					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР		Лист
					286
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

90651-20600-AM-02-225 РР изм.0.docx

Формат А4

вия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_{кр} = \frac{R_{\sigma} / 20}{n_T} = 245 / 1,1 = 222,73 \text{ МПа}$$

**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)

$$P_{\sigma 1} = \max \left\{ \begin{aligned} &\alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\sigma\pi}} \\ &\alpha \cdot (Q_{\pi} + F) + R_{\pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\sigma\pi}} - Q_t \end{aligned} \right\} = \max \left\{ \begin{aligned} &1,3038 \cdot (44683 + (-2603,3)) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 = 63436 \\ &1,3038 \cdot (44683 + (-2603,3)) + 8572,1 + 4 \cdot 0,8911 \cdot |0| / 751 - 0 = 63436 \end{aligned} \right\} = 63436 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\sigma}^P = P_{\sigma}^M + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\pi} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\sigma\pi}} = \frac{3,744 \cdot 10^5 + (1 - 1,3038) \cdot (44683 + (-2603,3)) + 0 + 4 \cdot (1 - 0,8911) \cdot |0| / 751}{3,6162 \cdot 10^5} = 3,6162 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\Phi = \max \left\{ \frac{P_{\sigma}^P}{[\sigma]}, \frac{P_{\sigma}^M}{[\sigma]^{20}} \right\} = \max \left\{ \frac{3,6162 \cdot 10^5}{222,73}, \frac{3,744 \cdot 10^5}{222,73} \right\} = 1681 \text{ мм}^2$$

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{2p} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}, \frac{0,6}{D_{\sigma\pi}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,20656 \cdot 1681^{1/2}; 0,6 \cdot 1681 / 750 \} + 0 = 8,4689 \text{ мм}$$

$$8,4689 \text{ мм} \leq 36 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

$$K_7' = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{D_3}{D_2} - 1} = 0,8 \cdot [800 / 763 - 1]^{1/2} = 0,17617$$

Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок:

$$s_{3p} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}, \frac{0,6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,17617 \cdot 1681^{1/2}; 0,6 \cdot 1681 / 763 \} + 0 = 7,2229 \text{ мм}$$

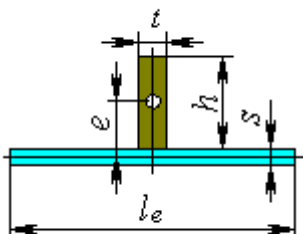
$$7,2229 \text{ мм} \leq 30 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	90651-20600-AM-02-225 РР					Лист
								287
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

Кольцо жёсткости 1, 2, 3, 4

Расчет представлен для кольца жесткости 1.



### Эскиз элемента

## Исходные данные

Элемент, несущий кольцо:	Обечайка цилиндрическая
Материал:	09Г2С
Расположение кольца:	Снаружи обечайки
Диаметр обечайки, D:	3000 мм
Ширина приваренного участка, t:	16 мм
Расстояние от края несущего элемента до осевой линии кольца, $l_0$ :	1940 мм
Высота кольца, h:	100 мм
Коэффициент прочности сварного шва кольца:	
$\varphi_p = 1$	

## Расчёт в рабочих условиях

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, Т: 100 °C  
Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,096479 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):  
 $[\sigma]_k = 177 \text{ МПа}$

Площадь поперечного сечения:

$$A_k = h \cdot t = 100 \cdot 16 = 1600 \text{ mm}^2$$

Расстояние от центра тяжести сечения до срединной поверхности обечайки:

$$e = \frac{h + s - c}{2} = (100 + 16 - 4,8) / 2 = 55,6 \text{ mm}$$

Расстояние между центром тяжести поперечного сечения и поверхностью обечайки:

$$e_k = e - \frac{s - c}{2} = 55,6 - (16 - 4,8) / 2 = 50 \text{ mm}$$

Момент инерции сечения:

$$I_k = \frac{t \cdot h^3}{12} = 16 \cdot 100^3 / 12 = 1,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Расстояние до элемента жёсткости:

$$l_1 = 2300 \text{ mm}$$

Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:

$$l_{1e} = \min \left[ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \right] = \min \{ 2300; 16 + 1.1 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} \} = 217,63 \text{ mm}$$

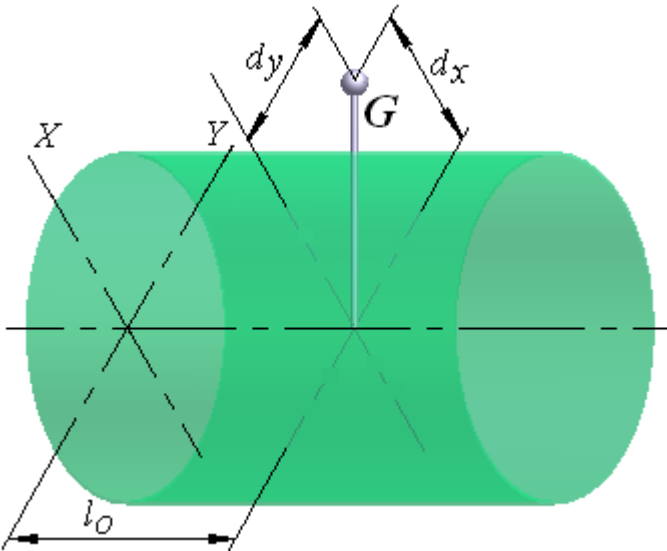
Взам. инв. №	<p>Расстояние от центра тяжести сечения до срединной поверхности обечайки:</p> $e = \frac{h + s - c}{2} = (100 + 16 - 4,8) / 2 = 55,6 \text{ мм}$ <p>Расстояние между центром тяжести поперечного сечения и поверхностью обечайки:</p> $e_k = e - \frac{s - c}{2} = 55,6 - (16 - 4,8) / 2 = 50 \text{ мм}$													
	Подп. и дата	<p>Момент инерции сечения:</p> $I_k = \frac{t \cdot h^3}{12} = 16 \cdot 100^3 / 12 = 1,3333 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$ <p>Расстояние до элемента жёсткости:</p> <p><math>l_1 = 2300 \text{ мм}</math></p> <p>Эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции:</p> $l_{le} = \min \left\{ l_1; t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \right\} = \min \{ 2300; 16 + 1.1 \cdot (3000 \cdot (16 - 4,8))^{1/2} \} = 217,63 \text{ мм}$												
Инв. № подл.														
	<table><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-02-225 PP

Лист  
288



Обогреватель



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, $l_0$ :	6200 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Да
Присутствует в условиях испытаний:	Да

Расчёт в рабочих условиях

Весовая нагрузка, $G$ :	9000 Н
Смещение по $x$ , $d_x$ :	0 мм
Смещение по $y$ , $d_y$ :	(-1020) мм

Расчёт в условиях монтажа

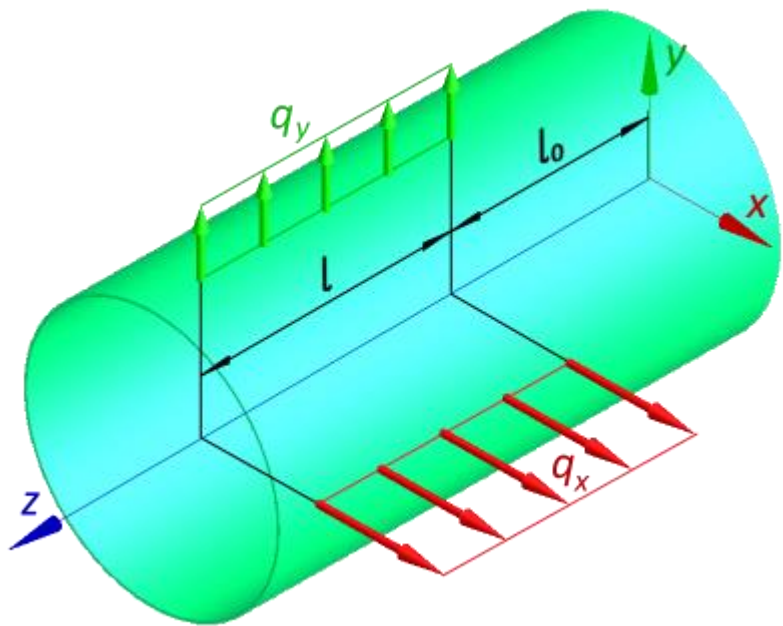
Весовая нагрузка, $G$ :	9000 Н
Смещение по $x$ , $d_x$ :	0 мм
Смещение по $y$ , $d_y$ :	(-1020) мм

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Весовая нагрузка, $G$ :	9000 Н
Смещение по $x$ , $d_x$ :	0 мм
Смещение по $y$ , $d_y$ :	(-1020) мм

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

Распределенная нагрузка от грунта



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Обечайка цилиндрическая
Расстояние от начала элемента, $l_0$ :	1 мм
Длина распределения, $l$ :	10878 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Да

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

$q_x$	=0Н/мм
$q_y$	=(-136)Н/мм

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

$q_x$	=0Н/мм
$q_y$	=(-136)Н/мм

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

Взам. инв. №

Подп. и дата

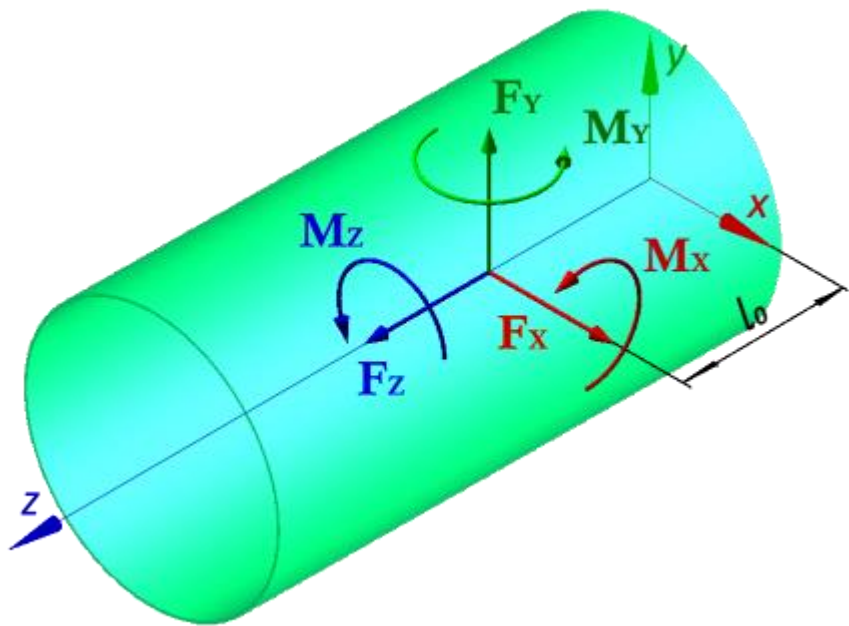
Изм. № подл.

90651-20600-AM-02-225 РР

Лист

291

Давление грунта 1



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Днище эллиптическое правое
Расстояние от начала элемента, $l_0$ :	0,10000 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

Расчёт в рабочих условиях

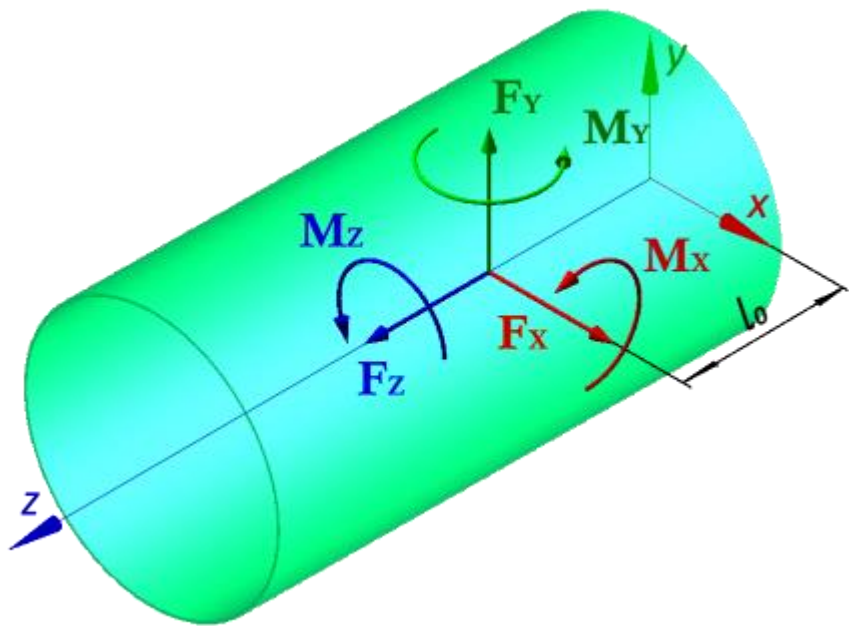
Условия нагружения:

$F_x = 0$  Н  
 $F_y = 0$  Н  
 $F_z = 8,945 \cdot 10^5$  Н  
 $M_x = 0$  Н·м  
 $M_y = 0$  Н·м  
 $M_z = 0$  Н·м

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



Давление грунта 2



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Днище эллиптическое левое
Расстояние от начала элемента, $l_0$ :	0,10000 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

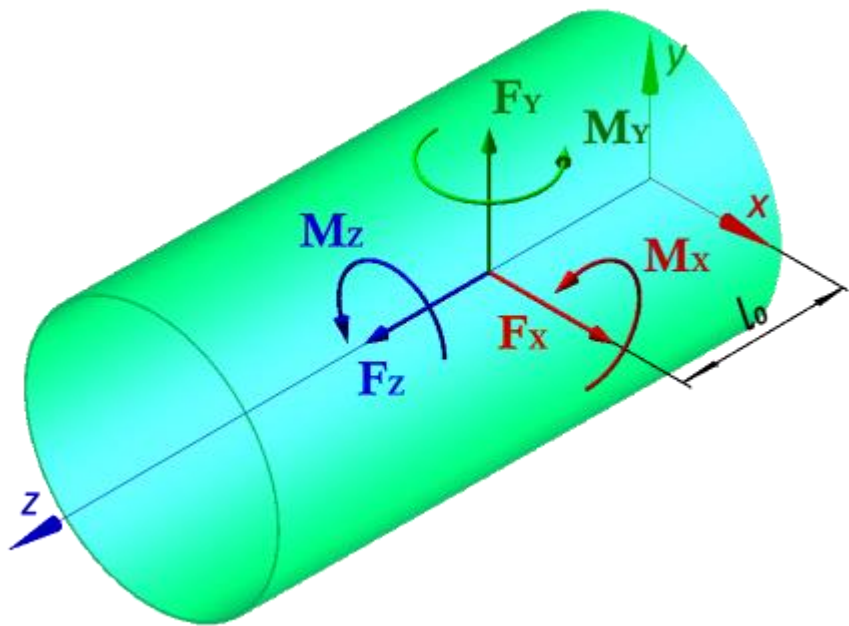
Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

$F_x = 0$	Н
$F_y = 0$	Н
$F_z = (-8,945 \cdot 10^5)$	Н
$M_x = 0$	Н·м
$M_y = 0$	Н·м
$M_z = 0$	Н·м

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

Внешние нагрузки от I1



Расчетная схема

Исходные данные

Несущий элемент:	Днище эллиптическое ле- вое
Расстояние от начала элемента, $l_0$ :	500 мм
Присутствует в условиях монтажа:	Нет
Присутствует в условиях испытаний:	Нет

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

$F_x = 4400$	Н
$F_y = (-4400)$	Н
$F_z = 4400$	Н
$M_x = 4900$	Н·м
$M_y = 4900$	Н·м
$M_z = (-4900)$	Н·м

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

Список литературы

- ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 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.
- ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- ГОСТ 34283-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках.
- ГОСТ 34347-2017. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	<div>90651-20600-AM-02-225 РР</div> <div>Лист 295</div>				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

[illegible]

296



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					PP.1	
Содержание											
Применяемые нормы, правила и стандарты .....										3	
Цель расчета.....										3	
Исходные данные .....										4	
Расчёт на прочность по МКЭ в рабочих условиях.....										7	
Выводы.....										10	
Лист регистрации изменений .....										11	

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.1	
Применяемые нормы, правила и стандарты						
<div>Нормы и методы расчета на прочность ГОСТ 34233.1-12 2017 Расчет на прочность при внешних статических нагрузках на штуцер Метод конечных элементов, реализованный в системе "Штуцер-МКЭ 3.4"</div>						
Цель расчета						
Оценка прочности мест врезки нагруженного штуцера "I1", расположенного не по нормали к несущей поверхности.						
					Лист	
90651-20600-AM-02-225 РР.1					3	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

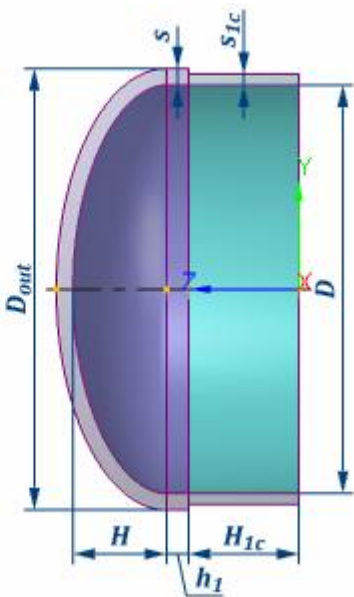
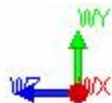
Исходные данные

Название проекта:

Вход продукта (I1)

Тип несущего элемента:

Эллиптическое днище



Материал днища:

09Г2С

Внутренний диаметр днища

D 3000 мм

Наружный диаметр днища

D\_out 3032 мм

Толщина стенки днища

s 16 мм

Сумма прибавок к толщине днища

c 4,8 мм

Высота днища

H 750 мм

Высота отбортовки

h\_1 60 мм

Высота цил. участка

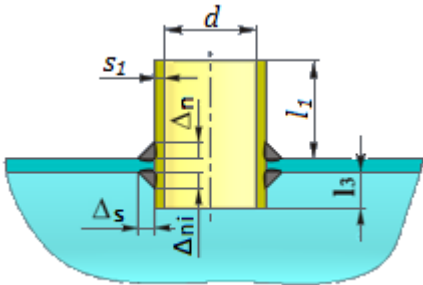
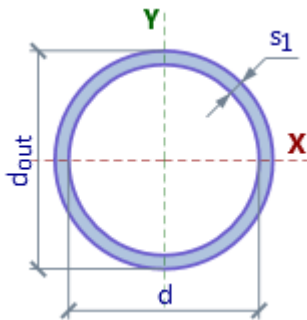
H\_1c 375 мм

Толщина цил. участка

s\_1c 16 мм

Коэффициент прочности сварного шва,

φ 1



Параметры штуцера:

Форма поперечного сечения:

Цилиндрическая

Тип врезки штуцера:

2 - Проходящий без укрепления

Материал штуцера:

09Г2С : (1)

Длина штуцера,

l\_1 199 мм

Внутренний диаметр,

d 199 мм

Наружный диаметр,

d\_out 219 мм

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

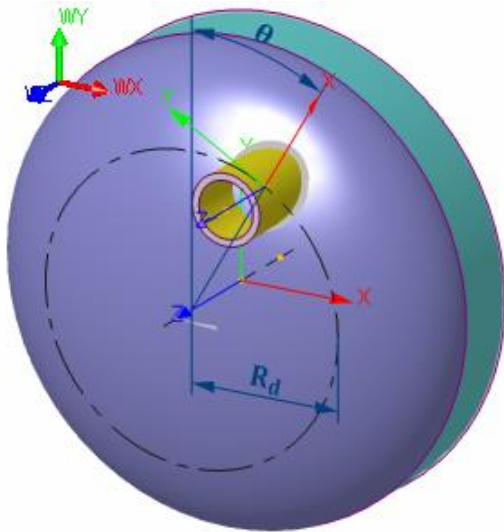
90651-20600-AM-02-225 РР.1

Лист

4



Толщина стенки,	$s_1$	10 мм
Суммарная прибавка к толщине,	$c_s$	4 мм
Длина внутренней части,	$l_3$	200 мм
Толщина внутренней части,	$s_3$	0 мм
Прибавка на коррозию,	$c_{s3}$	0 мм



**Расположение штуцера:**

Смещение оси,	$R_d$	1100 мм
Угол поворота оси в XY,	$\theta$	0 °
Расчетный угол отклонения оси штуцера от нормали,	$\gamma$	28,048 °
Расчетный угол отклонения оси штуцера в кас. плоскости,	$\omega$	180 °

**Сварные швы:**

Коэффициент прочности продольного шва штуцера,	$\varphi_n$	1
Размер шва на обечайке,	$\Delta_s$	10 мм
Размер шва на штуцере,	$\Delta_n$	10 мм
Коэффициент прочности шва врезки,	$\varphi_j$	1
Размер шва на внутренней части штуцера,	$\Delta_{ni}$	10 мм
Коэффициент прочности шва врезки на внутренней части,	$\varphi_i$	1
Размер шва на конце прикрепления,	$\Delta_{ne}$	0 мм

**Исходные нагрузки**

**Расчет в рабочих условиях:**

Параметры			Значения
Уровень разбивки			5
Коэффициент запаса, учитывающий уровень разбивки		$K_m$	1
Расчётное давление:			
Внутреннее избыточное давление	$p$	МПа	0,07
Учёт гидростатического давления			Нет

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

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

Расчетная температура:			
Штуцер	$T_n$	°C	100
Несущий элемент	$T_s$	°C	100
Цилиндрическая часть	$T_{cyl}$	°C	100
Температура сборки	$T_0$	°C	20
Учёт температурных деформаций			Нет

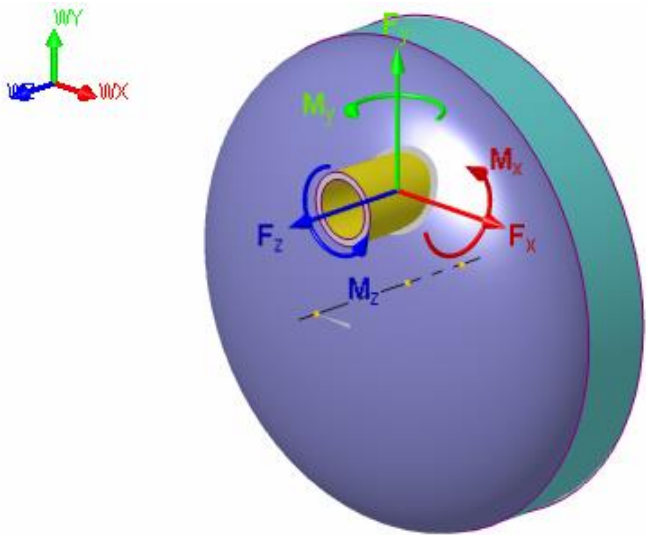


Рис. 1. Система координат штуцера (обечайки СК)

Нагрузки на штуцер в месте врезки:

Значения нагрузок			в месте врезки (обечайки СК)
Силы	$F_x$	Н	4400
	$F_y$		4400
	$F_z$		4400
Моменты	$M_x$	Н·м	4900
	$M_y$		4900
	$M_z$		4900

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

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Расчёт на прочность по МКЭ в рабочих условиях

Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ 34233.1-2017

Уровень разбивки: 5  
Коэффициент запаса, учитывающий уровень разбивки:  $K_m = 1$

Свойства материала "09Г2С" несущего элемента при температуре 100 °С:

Модуль продольной упругости:  
 $E = 2 \cdot 10^5$  МПа  
Допускаемые напряжения:  
 $[\sigma] = \eta \cdot [\sigma]_{\text{таб}} / K_m = 1 \cdot 177 / 1,00 = 177$  МПа  
 $[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma] = 1,5 \cdot 177 = 265,5$  МПа  
 $[\sigma]_R = 3,0 \cdot [\sigma] = 3,0 \cdot 177 = 531$  МПа

Свойства материала "09Г2С" цилиндрической части днища при температуре 100 °С:

Модуль продольной упругости:  
 $E_c = 2 \cdot 10^5$  МПа  
Допускаемые напряжения:  
 $[\sigma]_c = \eta \cdot [\sigma]_{\text{таб}} / K_m = 1 \cdot 177 / 1,00 = 177$  МПа  
 $[\sigma]_{M(c)} = 1,5 \cdot [\sigma]_c = 1,5 \cdot 177 = 265,5$  МПа  
 $[\sigma]_{R(c)} = 3,0 \cdot [\sigma]_c = 3,0 \cdot 177 = 531$  МПа

Свойства материала "09Г2С : (1)" штуцера при температуре 100 °С:

Модуль продольной упругости:  
 $E_1 = 2 \cdot 10^5$  МПа  
Допускаемые напряжения:  
 $[\sigma]_1 = \eta \cdot [\sigma]_{\text{таб}} / K_m = 1 \cdot 160 / 1,00 = 160$  МПа  
 $[\sigma]_{M(1)} = 1,5 \cdot [\sigma]_1 = 1,5 \cdot 160 = 240$  МПа  
 $[\sigma]_{R(1)} = 3,0 \cdot [\sigma]_1 = 3,0 \cdot 160 = 480$  МПа

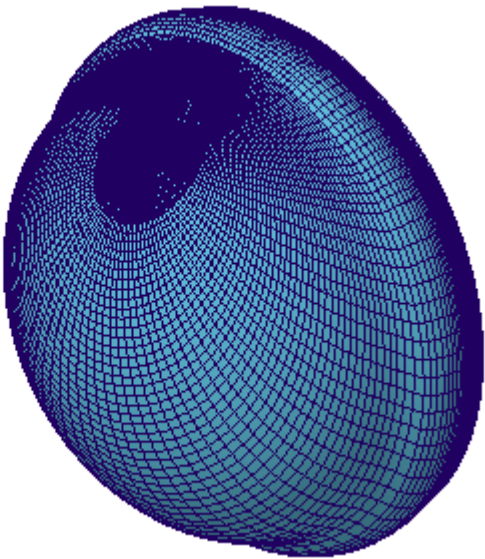


Рис. 2. Конечно-элементная модель

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

Проверка условий прочности в соответствии с ГОСТ 34233.1-2017

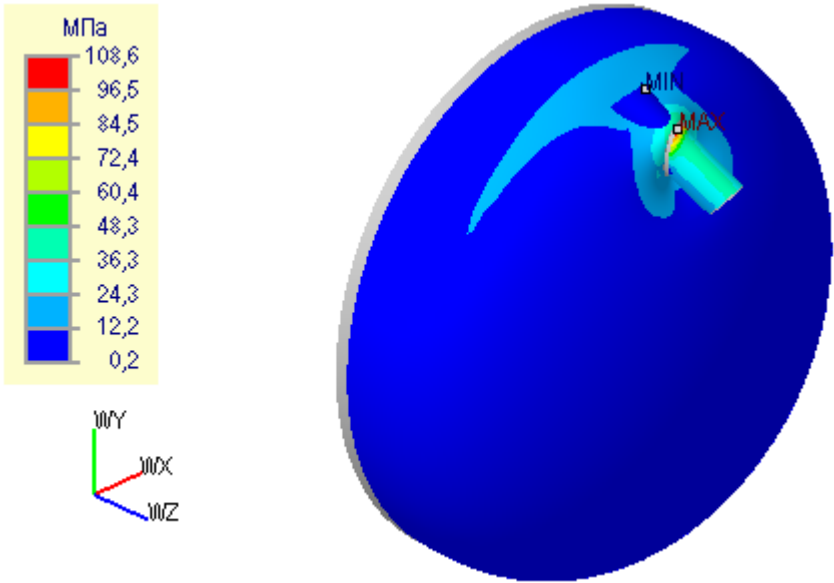


Рис. 3. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа

Заключение

Для несущего элемента:  
 $\sigma_{mL} + \sigma_{и} = 48,4 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_M = 1 \cdot 265,5 = 265,5 \text{ МПа}$ .  
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для штуцера:  
 $\sigma_{mL\{1\}} + \sigma_{и\{1\}} = 108,6 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_{M\{1\}} = 1 \cdot 240 = 240 \text{ МПа}$ .  
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для цилиндрической части днища:  
 $\sigma_{mL\{C\}} + \sigma_{и\{C\}} = 6,7 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_{M\{C\}} = 1 \cdot 265,5 = 265,5 \text{ МПа}$ .  
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

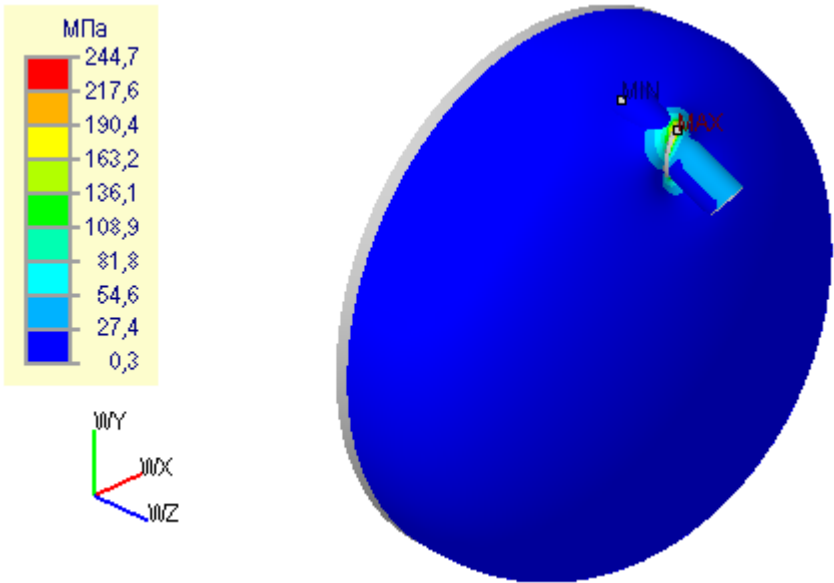


Рис. 4. Эквивалентные суммарные напряжения на внешней поверхности, МПа

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

Заключение

Для несущего элемента:  
 $\sigma_{mL} + \sigma_{и} + \sigma_{иL} + \sigma_{т} + \sigma_{тL} = 171,5 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_R = 1 \cdot 531 = 531 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для штуцера:  
 $\sigma_{mL\{1\}} + \sigma_{и\{1\}} + \sigma_{иL\{1\}} + \sigma_{т\{1\}} + \sigma_{тL\{1\}} = 244,7 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_{R\{1\}} = 1 \cdot 480 = 480 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для цилиндрической части днища:  
 $\sigma_{mL\{C\}} + \sigma_{и\{C\}} + \sigma_{иL\{C\}} + \sigma_{т\{C\}} + \sigma_{тL\{C\}} = 10,3 \text{ МПа} \leq \varphi \cdot [\sigma]_{R\{C\}} = 1 \cdot 531 = 531 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

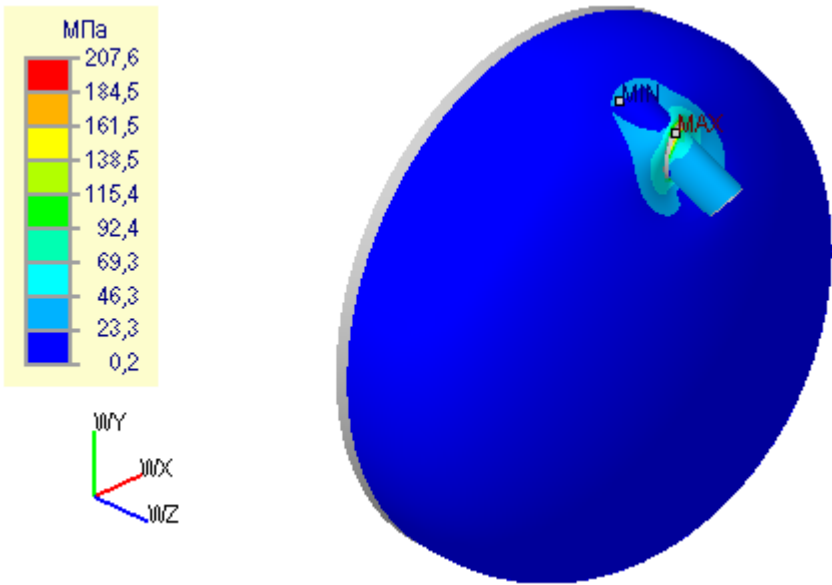


Рис. 5. Эквивалентные суммарные напряжения на внутренней поверхности, МПа

Заключение

Для несущего элемента:  
 $\sigma_{mL} + \sigma_{и} + \sigma_{иL} + \sigma_{т} + \sigma_{тL} = 119,6 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_R = 1 \cdot 531 = 531 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для штуцера:  
 $\sigma_{mL\{1\}} + \sigma_{и\{1\}} + \sigma_{иL\{1\}} + \sigma_{т\{1\}} + \sigma_{тL\{1\}} = 207,6 \text{ МПа} \leq \varphi_j \cdot [\sigma]_{R\{1\}} = 1 \cdot 480 = 480 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Для цилиндрической части днища:  
 $\sigma_{mL\{C\}} + \sigma_{и\{C\}} + \sigma_{иL\{C\}} + \sigma_{т\{C\}} + \sigma_{тL\{C\}} = 6,9 \text{ МПа} \leq \varphi \cdot [\sigma]_{R\{C\}} = 1 \cdot 531 = 531 \text{ МПа}.$   
Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**

Минимальный расчетный коэффициент запаса: **1,961**.  
Общее заключение: **Условия прочности выполнены.**

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

В таблице ниже сведены вместе заключения о прочности рассмотренных вариантов нагружений:

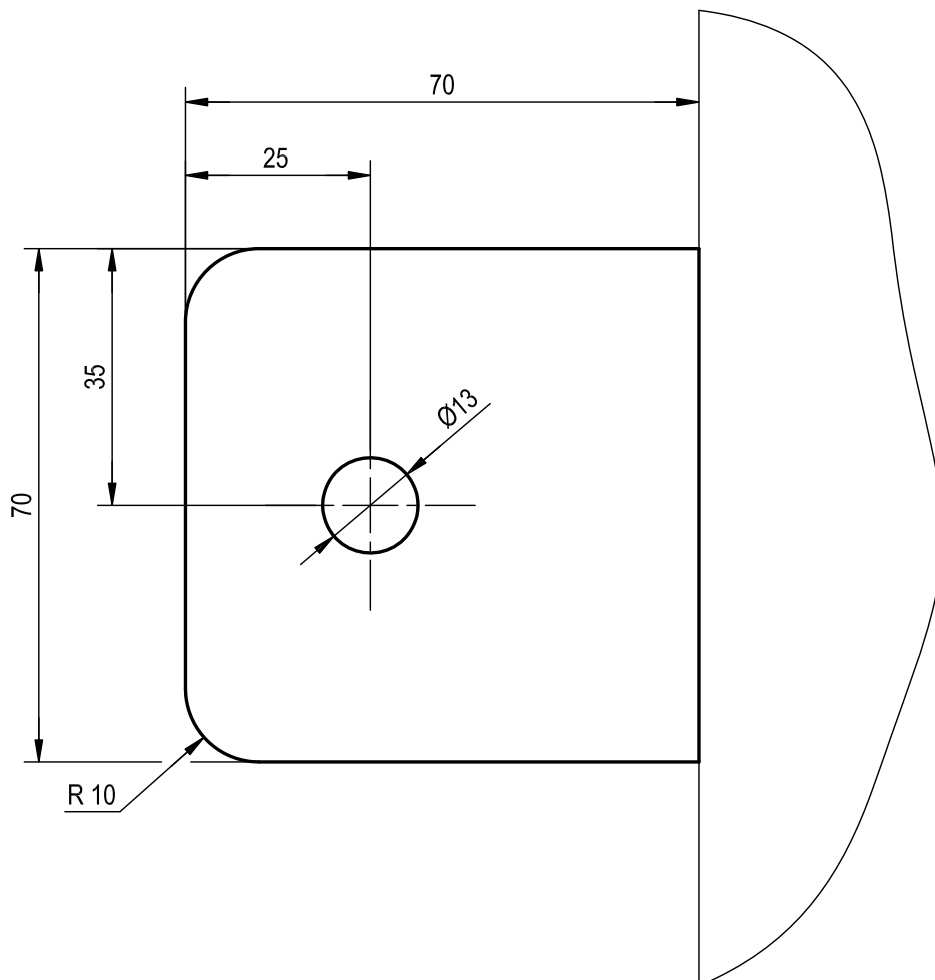
Варианты нагружения	Коэффициент запаса	Условия прочности
<b>Рабочие условия</b> (Расчёт на прочность по МКЭ в рабочих условиях)	1,961	Выполнены

Общее заключение: Условия прочности выполнены.

Формат А4

[illegible]

11

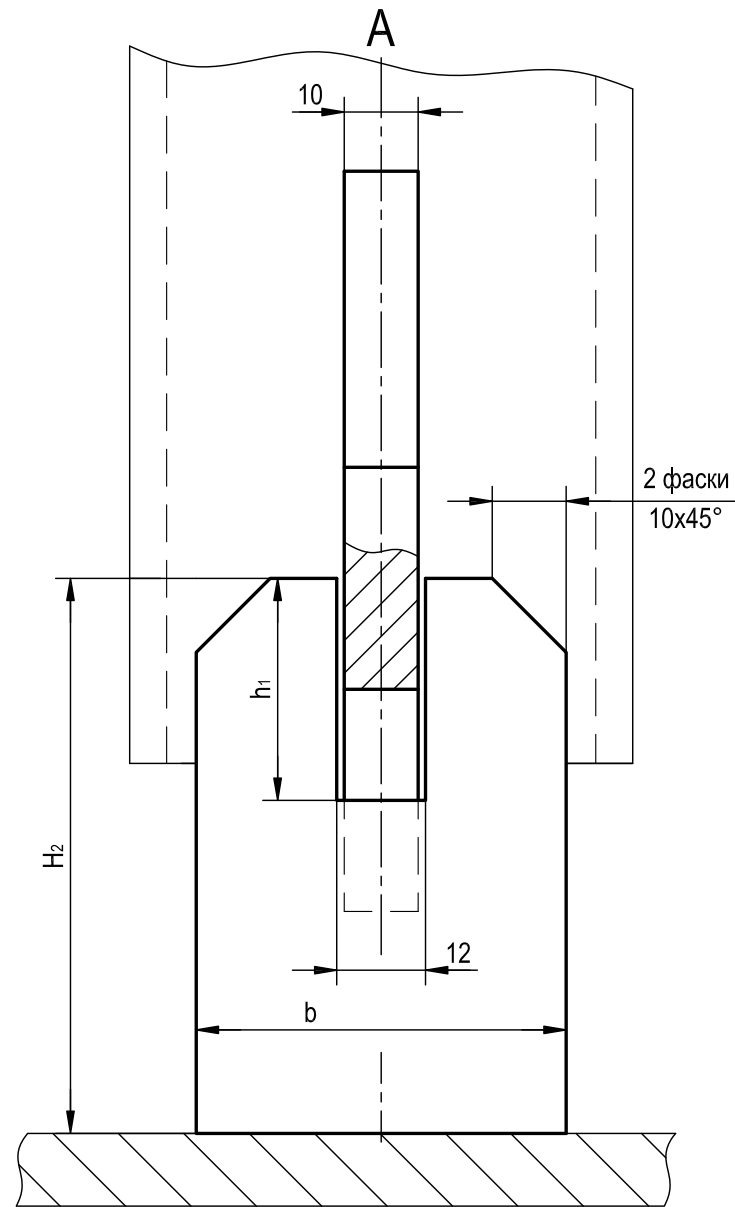
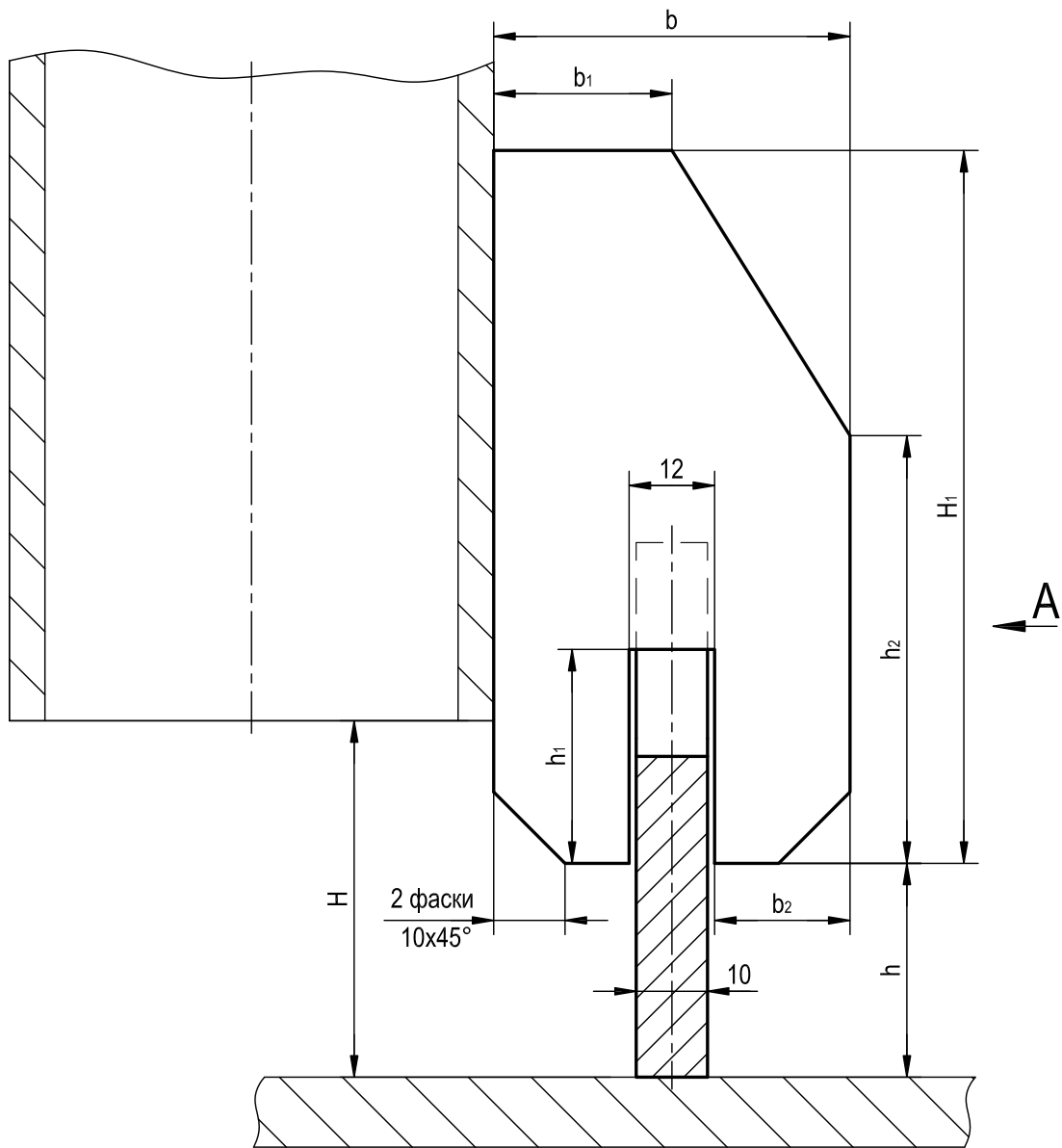


Взам. инв. №		Подп. и дата																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										</
--------------	--	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----





AM-02-ДТ-03-01








Примечания:  
1. Материальное исполнение определяется техническим проектом.

Обозначение	Размеры, мм									Масса, кг не более
	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	
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

					AM-02-ДТ-03-01			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Фиксатор трубы	Лит.	Масса	Масштаб
							См. табл.	-
Разраб.	Зеленин	Зеленин	04.06.20					
Проверил	Ковалёв	Ковалёв	04.06.20					
					Лист 1			
					НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT			
Н. контр.	Сотник	Сотник	04.06.20					
Утв.	Гилёв	Гилёв	04.06.20					

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ  
ПРЕДЛОЖЕНИЯМ ПОСТАВЩИКА

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

					27-АМ-02 Д			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Требования к техническим предложениям поставщика	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Ковалёв		02.09.22		Т	1	3
Проверил		Островский		02.09.22		НЕФТЕХИМПРОЕКТ NEFTECHIMPROEKT		
Нач. отд.		Гилёв		02.09.22				
Н. контр.		Сотник		02.09.22				
Утвердил		Сырков		02.09.22				

## 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	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			Лист
							2

Поставщик может представить альтернативное предложение с отступлением от требований ТП при условии выполнения следующих условий:

- а) Получено предварительное согласие Заказчика.
- б) Представлены технические обоснования отступлений, показывающие преимущества предлагаемых альтернативных решений (в отношении цены, поставки, транспортировки, монтажа и т. д.).

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.

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

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

27-АМ-02 Д

Лист

3






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.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

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