

ООО «РБС – Холдинг»

Змеевик гидроочистки печи П-1

Расчет на прочность

РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР

г. Москва
2013 г.

Изменение

Инв. № дубл.	
--------------	--

Подпись и дата	
----------------	--

Инв. № подл.	

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ														РР									
Печь П-1																									
Лист	Изменение																								
	A	B	C	D							0	1	2	3	4	5									
25											X	X													
26											X	X													
27											X	X													
28											X	X													
29											X	X													
30											X	X													
31											X	X													
32											X	X													
33											X	X													
34											X	X													
35											X	X													
36											X	X													
37											X	X													
38											X	X													
39											X	X													
40											X	X													
41											X	X													
42											X	X													
43											X	X													
44											X	X													
45											X	X													
46											X	X													
47											X	X													
48											X	X													
49											X	X													
50											X	X													
Змеевик гидроочистки печи П-1												РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР												Изм.	Лист
																									3
Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата																	

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<div>СОДЕРЖАНИЕ</div> <div><div>1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. 5</div><div>2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗМЕЕВИКЕ ПО РД 26-02-80-2004. 7</div><div>3. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ. 7</div><div>4. ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ..... 29</div></div>					
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					4

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.					
1.1 Техническая характеристика змеевика приведена в табл. 1.					
Таблица 1		Техническая характеристика			
Наименование		Показатели			
		Начало цикла			
		Гидроочистка			
Ступени нагрева		Конвекц.	1 камера		
Число труб, шт		60	16		
Температура продукта, °С	на входе	-	-		
	на выходе	-	-		
Давление, МПа (кгс/см²)	рабочее	3,6 (36,0)			
	максимальное	4,0 (40,0)			
	пробное	6,3 (63,0)			
Перепад давления, МПа (кгс/см²)		0,1 (1,0)			
Макс. температура стенки трубы, °С		500			
Среда	внутри	газосырьевая смесь			
	снаружи	дымовые газы			
Ступени нагрева		Конец цикла			
		Гидроочистка			
		Конвекц.	1 камера		
Число труб, шт		60	16		
Температура продукта, °С	на входе	190			
	на выходе		340		
Давление, МПа (кгс/см²)	рабочее	3,6 (36,0)			
	максимальное	4,0 (40,0)			
	пробное	6,3 (63,0)			
Перепад давления, МПа (кгс/см²)		0,1 (1,0)			
Макс. температура стенки трубы, °С		500			
Среда	внутри	газосырьевая смесь			
	снаружи	дымовые газы			
Режим регенерации					
Температура продукта, °С	на входе	150 ÷ 280			
	на выходе	290 ÷ 420			
Давление, МПа (кгс/см²)	рабочее на входе	1,6 (16,0)			
	рабочее на выходе	1,4 (14,0)			
	расчетное	2,0 (20,0)			
Расчетная температура, °С		450			
Среда	внутри	N ₂ (80–100% об.), O ₂ (0,1–12% об.), CO ₂ (0,1–11% об.)			
	снаружи	дымовые газы			
1.2 Трубы применяемые для змеевика печи:					
- камера конвекции: труба Б-325х20-15Х5М-У ГОСТ 550-75; Б-219х17-15Х5М-У ГОСТ 550-75.					
- камера радиации: Б-219х17-15Х5М-У ГОСТ 550-75.					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					5

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
1.3 Отводы по ТУ 1468-001-17192736-01 ООО НПП «Форт».					
1.4 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.					
<p>Р – расчетное давление, МПа; t_{пр} – максимальная температура продукта, °С; t_{ст} – максимальная температура стенки трубы, °С; Дн – наружный диаметр, мм; d – внутренний диаметр/диаметр отверстия, мм; S_o – минимальная расчетная толщина стенки без учета прибавок и ослаблений, мм; S_{op} – минимальная расчетная толщина стенки отвода без учета прибавок и ослаблений, мм; S_{oш} – минимальная расчетная толщина стенки штуцера без учета прибавок и ослаблений, мм; S_ш – толщина стенки штуцера, мм; h_ш – высота укрепленной части штуцера, мм; b_н – ширина накладки для укрепления штуцера, мм; S_н – толщина накладки для укрепления штуцера, мм; S – номинальная толщина стенки, мм; C₁ – прибавка к толщине стенки для компенсации коррозии, мм; C₂ – прибавка к толщине стенки для компенсации минусового допуска, мм; C – суммарная прибавка к толщине стенки, мм; C_{2ш} – прибавка к толщине стенки для компенсации минусового допуска штуцера, мм; C_ш – суммарная прибавка к толщине стенки штуцера, мм; C_{2отв} – прибавка к толщине стенки для компенсации минусового допуска отвода, мм; C_{отв} – суммарная прибавка к толщине стенки отвода, мм; Y – коэффициент перенапряжения гнутой трубы; [б] – допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа; φ_d – коэффициент прочности трубы, ослабленной неукрепленными отверстиями; φ_c – коэффициент прочности трубы, ослабленной одиночным укрепленным отверстием отверстием; Σf – сумма компенсирующих площадей укрепляющих деталей, мм²; f_ш – компенсирующая площадь штуцера, мм²; f_н – компенсирующая площадь накладки, мм².</p>					
Подпись и дата		Име. № дубл.		Взам. инв. №	
Подпись и дата		Име. № подл.			
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					6

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗМЕЕВИКЕ ПО РД 26-02-80-2004.					
2.1. Расчет пробного давления (расчет выполнен для крепежа из стали 25Х1МФ).					
Рпр.=1,25хРх[б]20 / [б]тст. max=1,25х4х238/196=6,07 МПа, где:					
[б]20 – допускаемое напряжение для материала змеевика или его элементов при температуре 20 °С, МПа,					
[б]тст. max – допускаемое напряжение для материала змеевика или его элементов при максимальной температуре стенки змеевика, МПа.					
3. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.					
Расчет труб и отводов произведен по РТМ 26-02-67-84 «Методика расчета на прочность элементов печей, работающих под давлением».					
Коэффициент f по РТМ 26-02-67-84 принят равным 1.					
3.1. Камера радиации (режим гидроочистки)					
3.1.1. Расчет трубы 219х17					
Дн=219 мм					
tст = 550 °С					
Р=4,0 МПа					
[б]=60,5 МПа					
C1=4 мм					
C2=0,125х17=2,125 мм					
C=C1+C2=4+2,125=6,125 мм					
$S_o = \frac{P \times D_n}{2 \times [б] + P} = \frac{4 \times 219}{2 \times 60,5 + 4} = 7 \text{ мм}$					
S > Sо+С > 7+6,125 > 13 мм					
Принимаем трубы 219х17 сталь 15Х5М-У					
3.1.2. Отводы змеевика					
C2отв=0,15х22=3,3 мм					
Cотв=C1+C2отв=4+3,3=7,3 мм					
Sop=SoхY					
Y=(R/Дн), при R/Дн = 200/219=0,91, Y=1,5					
Sотв. > SoхY+Cотв > 7х1,5+7,3 > 17,8					
Принимаем отводы 219х22 с радиусомгиба R=200 мм, сталь 15Х5М-У					
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1
					РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР
					Изм.
					Лист
					7

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
3.2. Камера радиации (режим регенерации)					
См. п.3.1. как расчет с более жесткими условиями процесса.					
3.3. Камера конвекции. Расчет коллектора (режим гидроочистки)					
Расчет выпуклого днища.					
Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007					
Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)					
Элемент: Эллиптическое днище, работающее под действием внутреннего давления					
Режим:Рабочий					
Исходные данные					
Материал днища				15Х5М, Лист	
Расчетная температура		T	220	°C	
Расчетное давление		p	4	МПа	
Внутренний диаметр днища		D	285	мм	
Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части		H	61	мм	
Исполнительная толщина стенки днища		s ₁	20	мм	
Прибавка на коррозию и эрозию		c ₁	4	мм	
Прибавка – минусовый допуск		c ₂	0.8	мм	
Прибавка технологическая		c ₃	3	мм	
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки		c	7.8	мм	
Коэффициент прочности сварного шва		φ	1	-	
Допускаемое напряжение		[σ]	131	МПа	
Длина цилиндрической отбортовки		h ₁	25	мм	
Результаты расчета					
Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища:				$R = \frac{D^2}{4H} = 332.9 \text{ мм}$	
Расчетная толщина стенки эллиптического или полусферического днища от действия внутреннего давления:				$s_{1p} = \frac{pR}{2\phi[\sigma] - 0,5p} = 5.121 \text{ мм}$	
Расчетная толщина стенки днища от действия давления с учетом прибавки:				$s_{1p} + c = 12.92 \text{ мм}$	
Допускаемое внутреннее давление для эллиптического или полусферического днища:				9.429 МПа	
Изм.	Лист	Змеевик гидроочистки печи		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	
		П-1			
				8	

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
$[p] = \frac{2(s_1 - c)\phi[\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} =$					
Днище отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007					
Расчет цилиндрической обечайки (трубы 325x20).					
Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007					
Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)					
Элемент: Гладкая цилиндрическая обечайка, работающая под действием внутреннего давления Режим: Рабочий					
Исходные данные					
Материал обечайки				15Х5М-У, Труба	
Расчетная температура				T	220 °С
Расчетное давление в сосуде				P	4 МПа
Внутренний диаметр обечайки				D	285 мм
Толщина стенки обечайки				S	20 мм
Прибавка на коррозию				c ₁	4 мм
Прибавка – минусовый допуск				c ₂	2 мм
Прибавка технологическая				c ₃	1 мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки				c	7 мм
Коэффициент прочности продольного сварного шва				φ _p	1
Допускаемое напряжение				[σ]	223 МПа
Результаты расчета					
Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления					
$S_p = \frac{pD}{2[\sigma]\phi_p - p} =$				2.579 мм	
Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления с учетом прибавки					
$S \geq S_p + C =$				9.579 мм	
Допускаемое внутреннее давление					
$[p] = \frac{2[\sigma]\phi_p(S - C)}{D + (S - C)} =$				19.46 МПа	
Обечайка отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					9

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Име. № подл.

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																																																																																															
<p>Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17.</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах</p> <p>Внутреннее давление</p> <p>Отверстие в цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет укрепления одиночного отверстия</p> <p>Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером</p> <p>Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда</p> <p>Расчет с учетом внешних нагрузок по ГОСТ Р -52857.3-2007</p> <p>Внешние нагрузки определялись без учета стесненности температурных деформаций</p> <p>Внешние нагрузки приложены на краю штуцера</p> <p>Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td colspan="5">15X5M-Y, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td colspan="5">15X5M-Y, Труба</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T</td> <td>220</td> <td colspan="3">°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P</td> <td>4</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D</td> <td>285</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>s</td> <td>20</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$</td> <td>223</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d</td> <td>185</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>s_1</td> <td>17</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1</td> <td>60</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$</td> <td>223</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k</td> <td>350</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Вылет штуцера</td> <td>L_f</td> <td>60</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Осевая нагрузка на штуцер</td> <td>F_z</td> <td>8004</td> <td colspan="3">Н</td> </tr> <tr> <td>Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер</td> <td>M_x</td> <td>5.286e+06</td> <td colspan="3">Н*мм</td> </tr> <tr> <td>Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер</td> <td>M_y</td> <td>5.286e+06</td> <td colspan="3">Н*мм</td> </tr> <tr> <td>Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер</td> <td>F_x</td> <td>1.601e+04</td> <td colspan="3">Н</td> </tr> <tr> <td>Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер</td> <td>F_y</td> <td>1.601e+04</td> <td colspan="3">Н</td> </tr> <tr> <td>Модуль продольной упругости материала штуцера</td> <td>E_1</td> <td>1.965e+05</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5M-Y, Труба					Материал штуцера	15X5M-Y, Труба					Расчетная температура днища	T	220	°C			Расчетное давление	P	4	МПа			Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм			Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм			Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1				Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	223	МПа			Внутренний диаметр штуцера	d	185	мм			Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм			Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	60	мм			Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	223	МПа			Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1				Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	350	мм			Вылет штуцера	L_f	60	мм			Осевая нагрузка на штуцер	F_z	8004	Н			Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер	M_x	5.286e+06	Н*мм			Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер	M_y	5.286e+06	Н*мм			Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер	F_x	1.601e+04	Н			Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер	F_y	1.601e+04	Н			Модуль продольной упругости материала штуцера	E_1	1.965e+05	МПа		
Материал корпуса	15X5M-Y, Труба																																																																																																																																		
Материал штуцера	15X5M-Y, Труба																																																																																																																																		
Расчетная температура днища	T	220	°C																																																																																																																																
Расчетное давление	P	4	МПа																																																																																																																																
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм																																																																																																																																
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм																																																																																																																																
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1																																																																																																																																	
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	223	МПа																																																																																																																																
Внутренний диаметр штуцера	d	185	мм																																																																																																																																
Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм																																																																																																																																
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	60	мм																																																																																																																																
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	223	МПа																																																																																																																																
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1																																																																																																																																	
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	350	мм																																																																																																																																
Вылет штуцера	L_f	60	мм																																																																																																																																
Осевая нагрузка на штуцер	F_z	8004	Н																																																																																																																																
Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер	M_x	5.286e+06	Н*мм																																																																																																																																
Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер	M_y	5.286e+06	Н*мм																																																																																																																																
Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер	F_x	1.601e+04	Н																																																																																																																																
Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер	F_y	1.601e+04	Н																																																																																																																																
Модуль продольной упругости материала штуцера	E_1	1.965e+05	МПа																																																																																																																																
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.	Лист																																																																																																																											
					П-1			10																																																																																																																											

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса		c_1	4	мм
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса		c_2	2	мм
Прибавка технологическая стенки корпуса		c_3	1	мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера		c_{s1}	4	мм
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера		c_{s2}	2.125	мм
Прибавка технологическая стенки штуцера		c_{s3}	1	мм
Результаты расчета				
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки		$D_p = D =$	285 мм	
Расчетная толщина стенки корпуса		$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$	2.579 мм	
Расчетный диаметр отверстия		$d_p = d + 2c_s =$	199.2 мм	
Расчетная толщина стенки штуцера		$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]\varphi_1 - p} =$	1.803 мм	
Расчетная длина штуцера		$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1.25 \sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \right\} =$	55.45 мм	
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса		$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$	1	
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$L_o = \sqrt{D_p(s - c)} =$	60.87 мм	
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$l_p =$	60.87 мм	
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия		$d_{оп} = 0.4 \sqrt{D_p(s - c)} =$	24.35 мм	
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера		$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(s_1 - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3}{l_p(s - c)}}{1 + 0.5 \frac{d_p - d_{оп}}{l_p} + K_1 \frac{d + 2c_s}{D_p} \frac{\varphi l_{1p}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$	0.5505	
Допускаемое давление для узла врезки штуцера		$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} V =$	10.92 МПа	
где			1	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм. Лист II

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
<div>Подпись и дата</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Име. № подл.</div>		$K_1 =$ Допускаемое осевое усилие $[F_x] = [\sigma](s - c)^2 \max[C_1; 1,81] =$ 1.158e+05 Н Допускаемый изгибающий момент вдоль оси Х $[M_x] = [\sigma](s - c)^2 \frac{d_c}{4} \max[C_2; 4,9] =$ 1.034e+07 Н*мм Допускаемый изгибающий момент вдоль оси Y $[M_y] = [\sigma](s - c)^2 \frac{d_c}{4} \max[C_3; 4,9] =$ 2.843e+07 Н*мм Условие прочности по давлению $\Phi_p = \left \frac{p}{[p]} \right \leq 1 =$ 0.3661 Условие прочности по осевой нагрузке $\Phi_z = \left \frac{F_z}{[F_z]} \right \leq 1 =$ 0.06911 Условие прочности по изгибающему моменту $\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]} \right)^2} \leq 1$ 0.4727 Условие прочности при совместном действии нагрузок $\sqrt{\left[\max \left(\left \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right , \left \Phi_z \right , \left \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2\Phi_z \right \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$ 0.6425 Максимальное продольное растягивающее напряжение в штуцере $\frac{p(d + s_1)}{4(s_1 - c_s)} + \frac{4\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi(d + s_1)^2(s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi(d + s_1)(s_1 - c_s)} \leq [\sigma] =$ 45.74 МПа Условие устойчивости штуцера $\frac{p}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{ F_z }{[F]} \leq 1 =$ 0.1219 Коэффициент по п. 6.1.1.а $\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_s}} =$ 2.586 Допускаемая сжимающая продольная сила из условия устойчивости по ГОСТ Р 52857.2-2007 $[F]_{уст} =$ 1.348e+06 Н Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости по ГОСТ Р 52857.2-2007 $[M]_{уст} =$ 6.234e+07 Н*мм Расчетный изгибающий момент вокруг оси Х в точке пересечения образующей корпуса с осью штуцера $M_{x_{расч}} =$ 4.325e+06 Н*мм		
		Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>12</div>

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<div>Расчетный изгибающий момент вокруг оси Y в точке пересечения образующей корпуса с осью штуцера</div> <div>$M_{Y\text{ расч}} =$6.247e+06 Н*мм</div> <div>Эквивалентная толщина обечайки</div> <div>$s_s = (s - c) =$20 мм</div> <div>Коэффициент C1 по п. 6.1.2.2.</div> <div>$C_1 =$3.073</div> <div>Коэффициент C2 по п. 6.1.2.3.</div> <div>$C_2 =$5.43</div> <div>Коэффициент C3 по п. 6.1.2.5.</div> <div>$C_3 =$14.94</div> <div>Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007</div>					
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					13

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ				РР																																																																																																																																									
<p style="text-align: center;">Фланцевые соединения</p> <p style="text-align: center;">Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007</p> <p style="text-align: center;">Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p style="text-align: center;">Элемент: Фланцевое соединение Два одинаковых фланца Овальная или восьмигранная прокладка Шпильки Приварной в стык фланец Приварной в стык фланец Расчет на статическую прочность Неизолированное фланцевое соединение Между фланцами только прокладка Внешняя осевая сила отсутствует Не контролируемая затяжка Режим :Рабочий</p> <p style="text-align: center;">Исходные данные</p> <table><tr><td>Материал 1-го фланца (крышки)</td><td colspan="7">15X5M, Поковка</td></tr><tr><td>Материал и диаметр болтов (шпилек)</td><td colspan="7">25X2M1Ф, Diam = 2-M30</td></tr><tr><td>Материал прокладки</td><td colspan="7">Сталь 08X18H10T</td></tr><tr><td>Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)</td><td>D_b</td><td>345</td><td>мм</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Наружный диаметр болта (шпильки)</td><td>d</td><td>30</td><td>мм</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра</td><td>f_b</td><td>452</td><td>мм²</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Число болтов (шпилек)</td><td>n</td><td>12</td><td></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек</td><td>$L_{в.о}$</td><td>95</td><td>мм</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки</td><td>$D_{с.к}$</td><td>265</td><td>мм</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Ширина прокладки</td><td>b_n</td><td>11</td><td>мм</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Расчетная температура</td><td>t</td><td>220</td><td>°C</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Расчетная температура болта (шпильки)</td><td>t_b</td><td>190</td><td>°C</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке</td><td>$[\sigma]_н$</td><td>238</td><td>МПа</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях</td><td>$[\sigma]_р$</td><td>231</td><td>МПа</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С</td><td>E_b^{20}</td><td>2.15e+05</td><td>МПа</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре</td><td>E_b</td><td>2.08e+05</td><td>МПа</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td>Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)</td><td>α_b</td><td>1.285e-05</td><td>1/°C</td><td colspan="4"></td></tr></table>								Материал 1-го фланца (крышки)	15X5M, Поковка							Материал и диаметр болтов (шпилек)	25X2M1Ф, Diam = 2-M30							Материал прокладки	Сталь 08X18H10T							Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	D_b	345	мм					Наружный диаметр болта (шпильки)	d	30	мм					Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра	f_b	452	мм ²					Число болтов (шпилек)	n	12						Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек	$L_{в.о}$	95	мм					Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки	$D_{с.к}$	265	мм					Ширина прокладки	b_n	11	мм					Расчетная температура	t	220	°C					Расчетная температура болта (шпильки)	t_b	190	°C					Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке	$[\sigma]_н$	238	МПа					Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях	$[\sigma]_р$	231	МПа					Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С	E_b^{20}	2.15e+05	МПа					Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре	E_b	2.08e+05	МПа					Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)	α_b	1.285e-05	1/°C				
Материал 1-го фланца (крышки)	15X5M, Поковка																																																																																																																																														
Материал и диаметр болтов (шпилек)	25X2M1Ф, Diam = 2-M30																																																																																																																																														
Материал прокладки	Сталь 08X18H10T																																																																																																																																														
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	D_b	345	мм																																																																																																																																												
Наружный диаметр болта (шпильки)	d	30	мм																																																																																																																																												
Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра	f_b	452	мм ²																																																																																																																																												
Число болтов (шпилек)	n	12																																																																																																																																													
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек	$L_{в.о}$	95	мм																																																																																																																																												
Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки	$D_{с.к}$	265	мм																																																																																																																																												
Ширина прокладки	b_n	11	мм																																																																																																																																												
Расчетная температура	t	220	°C																																																																																																																																												
Расчетная температура болта (шпильки)	t_b	190	°C																																																																																																																																												
Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке	$[\sigma]_н$	238	МПа																																																																																																																																												
Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях	$[\sigma]_р$	231	МПа																																																																																																																																												
Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С	E_b^{20}	2.15e+05	МПа																																																																																																																																												
Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре	E_b	2.08e+05	МПа																																																																																																																																												
Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)	α_b	1.285e-05	1/°C																																																																																																																																												
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист																																																																																																																																					
										14																																																																																																																																					

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Подпись и дата	Прокладочный коэффициент	η_2	6.5	
	Удельное давление обжатия прокладки	$q_{обж}$	180	МПа
	Внутренний диаметр фланца	D	198	мм
	Наружный диаметр фланца (бурта, крышки)	D_n	405	мм
	Толщина тарелки фланца (бурта)	δ_1	41	мм
	Толщина втулки приварного встык фланца в месте присоединения к тарелке	S_1	33	мм
	Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке (трубе), толщина обечайки (трубы) плоского фланца или бурта свободного фланца	S_0	12	мм
	Длина конической втулки приварного встык фланца	l	52.5	мм
	Длина цилиндрической втулки приварного встык фланца	$l_{цил}$	16.5	мм
	Расчетная температура фланца	t_ϕ	212	°C
	Расчетное давление (внутреннее – положительное, наружное – отрицательное)	p	4	МПа
	Прибавка на коррозию	c	4	мм
	Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при температуре 20С в соответствии с ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]^{20}$	146	МПа
	Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при расчетной температуре в соответствии с ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]$	132	МПа
	Модуль продольной упругости материала фланца при температуре 20С	E_1^{20}	2.15e+05	МПа
	Модуль продольной упругости материала фланца при расчетной температуре	E_1	1.97e+05	МПа
	Температурный коэффициент линейного расширения материала фланца	α_ϕ	1.265e-05	1/°C
	Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_M$	219	МПа
	Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_M$	198	МПа
	Име. № дубл.	Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_R$	438
Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1		$[\sigma]_R$	396	МПа
Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Име. № подл.				
Результаты расчета				
Расчет вспомогательных величин -для прокладки и шпилек				
Эффективная ширина прокладки				
$b_0 = \frac{b_n}{4} = 2.75 \text{ мм}$				
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.
				Лист 15

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Податливость прокладки					
		$y_n =$	0 мм/Н		
Податливость болтов (шпилек)		$y_b = \frac{L_b}{E_b^{20} f_b n} =$	9.587e-08 мм/Н		
где		$L_b = L_{b0} + 0,56d =$	111.8 мм		
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра		$A_b = n f_b =$	5424 мм²		
Плечо усилий в болтах (шпильках)		$b = 0,5(D_b - D_{an}) =$	40 мм		
		- для фланцев			
Плечо усилия от действия давления внутри фланца		$e = 0,5(D_{an} - D - S_j) =$	21.89 мм		
где эквивалентная толщина втулки фланца		$S_j = \zeta S_0 =$	23.23 мм		
		$\zeta = 1 + (\beta - 1) \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} =$	1.936 мм		
Параметр длины втулки		$l_0 = \sqrt{DS_0} =$	48.74 мм		
Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру		$K = \frac{D_n}{D} =$	2.045		
Расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца (бурта)		$\beta_T = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 K^2)(K - 1)} =$	1.489		
		$\beta_U = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)} =$	3.159		
		$\beta_V = \frac{1}{K - 1} \left(0,69 + 5,72 \frac{K^2 \lg K}{K^2 - 1} \right) =$	2.894		
		$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} =$	1.628		
Отношение толщины втулки в сечении S1 к толщине в сечении S0		$\beta = \frac{S_1}{S_0} =$	2.75		
Относительная длина втулки фланца		$x = \frac{l}{\sqrt{DS_0}} =$	1.077		
Расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров втулки фланца			0.685		
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					16

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР															
<div><div>$\beta_F =$ $\beta_V =$</div><div>Коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении S0 приварного встык фланца</div><div>$f =$</div><div>Коэффициент</div><div>$\lambda = \frac{\beta_F l_0^2 + l_0}{\beta_F l_0} + \frac{\beta_V l_0^3}{\beta_V l_0 S_0^2} =$</div><div>Угловая податливость фланца (бурта) при затяжке</div><div>$\gamma_\phi = \frac{0,91\beta_V}{E^{20} l_0 S_0^2} =$</div><div>Угловая податливость фланца (бурта), нагруженного внешним изгибающим моментом</div><div>$\gamma_{\phi\kappa} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_\phi}{E_{20} D_\kappa l_0^3} =$</div><div>Коэффициенты жесткости фланцевого соединения</div><div>Жесткость фланцевого соединения</div><div>$\gamma = \frac{1}{\gamma_\kappa + \gamma_\phi \frac{E_\phi^{20}}{E_\phi} + \left(\gamma_{\phi 1} \frac{E_1^{20}}{E_1} + \gamma_{\phi 2} \frac{E_2^{20}}{E_2}\right) b^2} =$</div><div>Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой</div><div>$\alpha = 1$</div><div>Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом</div><div>$\alpha_\kappa = \frac{\gamma_\phi + 2\gamma_{\phi\kappa} b \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\kappa n}}\right)}{\gamma_\phi + \gamma_\kappa \left(\frac{D_\phi}{D_{\kappa n}}\right)^2 + 2\gamma_{\phi\kappa} b^2} =$</div><div>Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность без учета нагрузки вызванной стесненностью температурных деформаций</div><div>Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке</div><div>$P_{рвж} = 0,5\pi D_{\kappa n} b_0 q_{рвж} =$</div><div>Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения</div><div>$R_\kappa = \pi D_{\kappa n} b_0 m p =$</div><div>Равнодействующая давления</div><div>$Q_d = 0,785 D_{\kappa n}^2 p =$</div><div>Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента</div><div>$Q_{FM} = F \pm \frac{4 M }{D_{\kappa n}} =$</div></div>					0.08716	1	1.329	3.953e-11 1/Н мм	2.785e-11 1/Н мм	4.322e+06 Н/мм	1	1.242				2.06e+05 Н	5.953e+04 Н	2.205e+05 Н	0 Н
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР			Изм.	Лист													
						17													

5.164e+05 H

$$P_{\sigma 2} = \max \left\{ P_{\sigma \text{ex}}, 0, 4 A_{\sigma} [\sigma]_N^6 \right\} =$$

2.8e+05 H

$$P_{s1} = \alpha(Q_s + F) + R_x + \frac{4a_M |M|}{D_x} =$$

5.164e+05 H

$$P_{\text{E}}^{\text{H}} = \max\{P_{\text{E}1}, P_{\text{E}2}\} =$$

5.164e+05 H

$$P_s^y = P_s^M + (1 - \alpha) (Q_d + F) + \frac{4(1 - \alpha_M) |M|}{D_\infty} =$$

Расчетное напряжение в болтах (шпильках) при затяжке

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} < [\sigma]_x^6$$

$$95.2\text{MPa} \leq 285.6\text{MPa}$$

Расчетное напряжение в болтах (шпильках) в рабочих условиях

$$\sigma_{\varepsilon 2} = \frac{P_{\varepsilon}^{\varepsilon}}{A_{\varepsilon}} < [\sigma]_{\varepsilon}$$

$$95.2 \text{ MPa} \leq 231 \text{ MPa}$$

- допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке

$$[\sigma]_x^{\mathbb{F}} = \xi_{\gamma_2} K_{\gamma_2} K_{\gamma_3} K_{\gamma_4} [\sigma]_x^{\mathbb{F}} \quad 285.6 \text{ MIIa}$$

231 МПа

$$[\sigma]_y^6 = K_{yy} K_{yz} K_{y\pi} [\sigma]_y =$$

1.2

$$K =$$

1

$$K_{\mathcal{W}} =$$

1

$$K_{\nu\bar{\nu}} =$$

1

$$K_{\text{max}} =$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке

$$M^{\rm M} = C_{\rm F} P_{\rm G}^{\rm M} b = 2.065\text{e}+07 \text{ H}_{\rm MM}$$

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях				
$M^P = C_F \max \left\{ \left[F_6^P b + (Q_d + Q_{FM}) e \right]; Q_d + Q_{FM} e \right\} =$			2.548e+07 Н мм	
Где				
$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi D_6}{n}}{2d + \frac{6h}{m + 0,5}}} \right\} =$			1	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S1				
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$			79.97 МПа	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S0				
$\sigma_0^M = f \sigma_1^M =$			79.97 МПа	
Где				
$D^* = \begin{cases} D & \text{при } D \geq 20 S_1 \\ D + S_0 & \text{при } D < 20 S_1 \text{ и } f > 1 \\ D + S_1 & \text{при } D < 20 S_1 \text{ и } f = 1 \end{cases} =$			231 мм	
Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки				
$\sigma_R^M = \frac{(1,33 \beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^M =$			82.44 МПа	
Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки				
$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M =$			45.39 МПа	
Расчетные меридиональные изгибные напряжения в рабочих условиях в сечении S1:				
$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$			98.65 МПа	
в сечении S0:				
$\sigma_0^P = f \sigma_1^P =$			98.65 МПа	
Меридиональные мембранные напряжения в рабочих условиях (в сечении S1)				
$\sigma_{L.M.M}^P = \frac{Q_d + F \pm \frac{4 M }{D_{сн}}}{\pi (D + S_1)(S_1 - c)} =$			10.48 МПа	
Меридиональные мембранные напряжения в рабочих условиях (в сечении S0)				
$\sigma_{0L.M.M}^P = \frac{Q_d + F \pm \frac{4 M }{D_{сн}}}{\pi (D + S_0)(S_0 - c)} =$			41.78 МПа	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм. Лист 19

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Окружные мембранные напряжения в рабочих условиях в сечении S0				
$\sigma_{\text{ок.о}}^p = \frac{pD}{2(S_0 - c)} =$			49.5 МПа	
Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях				
$\sigma_R^p = \frac{(1,33\beta_F k + l_0)}{\lambda k^2 l_0 D} M^p =$			101.7 МПа	
Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях				
$\sigma_T^p = \frac{\beta_T M^p}{k^2 D} - \beta_Z \sigma_R^p =$			55.99 МПа	
Условия статической прочности фланца (K _T =1)				
Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке				
$\max \left\{ \left \sigma_1^m + \sigma_R^m \right ; \left \sigma_1^m + \sigma_T^m \right \right\} \leq K_T [\sigma]_m$			162.4 МПа ≤ 219МПа	
Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях				
$\max \left\{ \left \sigma_1^p - \sigma_{\text{м.м}}^p + \sigma_R^p \right ; \left \sigma_1^p - \sigma_{\text{м.м}}^p + \sigma_R^p \right ; \left \sigma_1^p + \sigma_{\text{м.м}}^p \right \right\} \leq K_T [\sigma]_m$			189.9 МПа ≤ 198МПа	
Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 при затяжке				
$\sigma_0^m \leq 1,3 [\sigma]_R$			79.97 МПа ≤ 569.4МПа	
Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях				
$\max \left\{ \left \sigma_0^p \pm \sigma_{\text{ок.м}}^p \right ; \left 0,3\sigma_0^p \pm \sigma_{\text{ок.о}}^p \right ; \left 0,7\sigma_0^p \pm (\sigma_{\text{ок.м}}^p - \sigma_{\text{ок.о}}^p) \right \right\} \leq 1,3 [\sigma]_R$			140.4 МПа ≤ 514.8МПа	
Расчетные мембранные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях				
$\max \left\{ \left \sigma_{\text{ок.о}}^p \right ; \left \sigma_{\text{ок.м}}^p \right \right\} \leq [\sigma]$			49.5 МПа ≤ 132МПа	
Расчетное напряжение в тарелке фланца при затяжке				
$\max \left\{ \left \sigma_R^m \right ; \left \sigma_T^m \right \right\} \leq K_T [\sigma]$			82.44 МПа ≤ 146МПа	
Расчетное напряжение в тарелке фланца в рабочих условиях				
$\max \left\{ \left \sigma_R^p \right ; \left \sigma_T^p \right \right\} \leq K_T [\sigma]$			101.7 МПа ≤ 132МПа	
Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца или бурта свободного фланца в рабочих условиях				
$\theta = M^p \gamma_\Phi \frac{E^{20}}{E} \leq K_\theta [\theta]$			0.001099 рад ≤ 0.006рад	
где:				
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.
				Лист
				20

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
		$[\theta] =$	0.006 рад	
		$K_{\theta} =$	1	
<p>Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность с учетом нагрузки, вызванной стесненностью температурных деформаций</p> <p>Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций</p> $Q_t = \gamma [\alpha_{\varphi 1} h_1 (t_{\varphi 1} - 20) + \alpha_{\varphi 2} h_2 (t_{\varphi 2} - 20) - \alpha_{\varphi} (h_1 + h_2) (t_{\varphi} - 20)] =$ 8.658e+04 Н				
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения</p> $P_{\varphi 1} = \max \left[\begin{array}{l} \alpha (Q_{\delta} + F) + R_n + \frac{4\alpha_M M }{D_{сн}} \\ \alpha (Q_{\delta} + F) + R_n + \frac{4\alpha_M M }{D_{сн}} - Q_t \end{array} \right]$ 2.8e+05 Н				
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке фланцевого соединения</p> $P_{\varphi}^M = \max \{P_{\varphi 1}, P_{\varphi 2}\} =$ 5.164e+05 Н				
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях</p> $P_{\varphi}^P = P_{\varphi}^M + (1 - \alpha)(Q_{\delta} + F) + Q_t + \frac{4(1 - \alpha_M) M }{D_{сн}}$ 6.029e+05 Н				
Подпись и дата		<p>Проверка прочности болтов (шпилек) с учетом температурных деформаций</p> <p>Расчетное напряжение в болтах (шпильках) при затяжке</p> $\sigma_{\varphi 1} = \frac{P_{\varphi}^M}{A_{\varphi}} =$ 95.2 МПа		
		<p>Расчетное напряжение в болтах (шпильках) в рабочих условиях</p> $\sigma_{\varphi 2} = \frac{P_{\varphi}^P}{A_{\varphi}} =$ 111.2 МПа		
Инв. № дубл.		<p>где: Допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке</p> $[\sigma]_{\kappa}^{\varphi} = \xi K_{\varphi\varphi} K_{\varphi 2} K_{\varphi\gamma} [\sigma]_{\kappa}^{\varphi} =$ 371.3 МПа		
Взам. инв. №		<p>Допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях и при расчете на условия испытания</p> $[\sigma]_{\kappa}^{\varphi} = K_{\varphi\varphi} K_{\varphi 2} K_{\varphi\gamma} [\sigma]_{\kappa}^{\varphi} =$ 300.3 МПа		
		<p>Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций</p> $K_{\varphi\gamma\kappa} =$ 1.3		
Подпись и дата		<p>Остальные коэффициенты, используемые при определении допускаемых напряжений для болтов (шпилек) те же, что и при расчете без учета усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций</p> <p>Расчет фланцев на статическую прочность с учетом усилий вызванных стесненностью температурных деформаций</p> <p>Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке</p> $M^M = C_F P_{\varphi}^M b =$ 2.065e+07 Н мм		
Инв. № подл.		Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>21</div>

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях					
$M^P = C_F \max \left\{ \left[F_6^P b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) e \right]; Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}} e \right\} =$				2.894e+07 Н мм	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S1					
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$				79.97 МПа	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S0					
$\sigma_0^M = f \sigma_1^M =$				79.97 МПа	
Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки					
$\sigma_R^M = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^M =$				82.44 МПа	
Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки					
$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M =$				45.39 МПа	
Расчетные меридиональные изгибные напряжения в рабочих условиях в сечении S1:					
$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$				112.1 МПа	
в сечении S0:					
$\sigma_0^P = f \sigma_1^P =$				112.1 МПа	
Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях					
$\sigma_R^P = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^P =$				115.5 МПа	
Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях					
$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y M^P}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^P =$				63.6 МПа	
Напряжения во фланце, не зависящие от усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций, такие же, как при расчете на статическую прочность без учета температурных деформаций.					
Условия статической прочности фланца ($K_T = 1.3$)					
Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке					
$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T [\sigma]_{\text{м}}$				162.4 МПа ≤ 284.7 МПа	
Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях					
$\max \left\{ \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{м.м}}^P + \sigma_R^P \right ; \left \sigma_1^P - \sigma_{\text{м.м}}^P + \sigma_R^P \right ; \left \sigma_1^P + \sigma_{\text{м.м}}^P \right \right\} \leq K_T [\sigma]_{\text{м}}$				217.1 МПа ≤ 257.4 МПа	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					22

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 при затяжке</p> $\sigma_0^M \leq 1,3[\sigma]_R$ $79.97 \text{ МПа} \leq 569.4 \text{ МПа}$ <p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{\text{мк.мк}}^P \right ; \left 0,3\sigma_0^P \pm \sigma_{\text{мк.о}}^P \right ; \left 0,7\sigma_0^P \pm (\sigma_{\text{мк.мк}}^P - \sigma_{\text{мк.о}}^P) \right \right\} \leq 1,3[\sigma]_R$ $153.8 \text{ МПа} \leq 514.8 \text{ МПа}$ <p>где допускаемая величина условных упругих напряжений в сечении S0 при затяжке</p> $[\sigma]_0 = \frac{1,3}{K_T} [\sigma]_R = 438 \text{ МПа}$ <p>где допускаемая величина условных упругих напряжений в сечении S0 в рабочих условиях</p> $[\sigma]_0 = \frac{1,3}{K_T} [\sigma]_R = 396 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца при затяжке</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $82.44 \text{ МПа} \leq 189.8 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^P \right ; \left \sigma_T^P \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $115.5 \text{ МПа} \leq 171.6 \text{ МПа}$ <p>Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца или бурта свободного фланца в рабочих условиях</p> $\theta = M^P \gamma_\phi \frac{E^{20}}{E} \leq K_\theta [\theta]$ $0.001249 \text{ рад} \leq 0.006 \text{ рад}$ <p>где:</p> $[\theta] = 0.006 \text{ рад}$ $K_\theta = 1$ <p>Таким образом, рассмотренное фланцевое соединение отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.4-2007</p>					
Изм. № дубл.	Подпись и дата				
Взам. инв. №	Изм. инв. №				
Изм. № подл.	Подпись и дата				
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					23

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																													
<p>Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 x17(1).</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p><i>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</i></p> <p>Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах Внутреннее давление Отверстие в цилиндрической обечайке Расчет укрепления одиночного отверстия Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда Только расчет укрепления отверстия Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td colspan="2">15X5M-Y, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td colspan="2">15X5M-Y, Труба</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T 220</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P 4</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D 285</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>s 20</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$ 223</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d' 185</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>s_1 17</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1 152</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$ 223</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k 125</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса</td> <td>c_1 4</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса</td> <td>c_2 2</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки корпуса</td> <td>c_3 1</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера</td> <td>c_{s1} 4</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера</td> <td>c_{s2} 2.125</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки штуцера</td> <td>c_{s3} 1</td> <td>мм</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5M-Y, Труба		Материал штуцера	15X5M-Y, Труба		Расчетная температура днища	T 220	°C	Расчетное давление	P 4	МПа	Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285	мм	Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s 20	мм	Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1		Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 223	МПа	Внутренний диаметр штуцера	d' 185	мм	Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1 17	мм	Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 152	мм	Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 223	МПа	Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1		Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 125	мм	Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1 4	мм	Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2 2	мм	Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3 1	мм	Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1} 4	мм	Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2} 2.125	мм	Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3} 1	мм
Материал корпуса	15X5M-Y, Труба																																																																
Материал штуцера	15X5M-Y, Труба																																																																
Расчетная температура днища	T 220	°C																																																															
Расчетное давление	P 4	МПа																																																															
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285	мм																																																															
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s 20	мм																																																															
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1																																																																
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 223	МПа																																																															
Внутренний диаметр штуцера	d' 185	мм																																																															
Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1 17	мм																																																															
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 152	мм																																																															
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 223	МПа																																																															
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1																																																																
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 125	мм																																																															
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1 4	мм																																																															
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2 2	мм																																																															
Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3 1	мм																																																															
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1} 4	мм																																																															
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2} 2.125	мм																																																															
Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3} 1	мм																																																															
Изм.	Лист	Змеевик гидроочистки печи		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР																																																													
		П-1																																																															
				24																																																													

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Результаты расчета					
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки		$D_p = D =$		285 мм	
Расчетная толщина стенки корпуса		$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$		2.579 мм	
Расчетный диаметр отверстия		$d_p = d + 2c_s =$		199.2 мм	
Расчетная толщина стенки штуцера		$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1\varphi_1 - p} =$		1.803 мм	
Расчетная длина штуцера		$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \right\} =$		55.45 мм	
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса		$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$		1	
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$L_o = \sqrt{D_p(s - c)} =$		60.87 мм	
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$l_p =$		60.87 мм	
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия		$d_{op} = 0,4\sqrt{D_p(s - c)} =$		24.35 мм	
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера		$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(s_1 - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3}{l_p(s - c)}}{1 + 0,5\frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1\frac{d + 2c_s}{D_p}\frac{\varphi l_{1p}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$		0.5505	
Допускаемое давление для узла врезки штуцера		$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} =$		10.92 МПа	
где		$K_1 =$		1	
Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					25

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																									
<p>Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 x17(2).</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах</p> <p>Внутреннее давление</p> <p>Отверстие в цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет укрепления одиночного отверстия</p> <p>Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером</p> <p>Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда</p> <p>Только расчет укрепления отверстия</p> <p>Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td>15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td>15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T 220 °С</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P 4 МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D 285 мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>δ 20 мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ 1</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$ 223 МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d 185 мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>δ_1 17 мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1 152 мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$ 223 МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1 1</td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k 575 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса</td> <td>c_1 4 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса</td> <td>c_2 2 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки корпуса</td> <td>c_3 1 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера</td> <td>c_{s1} 4 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера</td> <td>c_{s2} 2.125 мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки штуцера</td> <td>c_{s3} 1 мм</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5М-У, Труба	Материал штуцера	15X5М-У, Труба	Расчетная температура днища	T 220 °С	Расчетное давление	P 4 МПа	Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285 мм	Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	δ 20 мм	Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1	Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 223 МПа	Внутренний диаметр штуцера	d 185 мм	Исполнительная толщина стенки штуцера	δ_1 17 мм	Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 152 мм	Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 223 МПа	Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1	Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 575 мм	Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1 4 мм	Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2 2 мм	Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3 1 мм	Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1} 4 мм	Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2} 2.125 мм	Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3} 1 мм
Материал корпуса	15X5М-У, Труба																																												
Материал штуцера	15X5М-У, Труба																																												
Расчетная температура днища	T 220 °С																																												
Расчетное давление	P 4 МПа																																												
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285 мм																																												
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	δ 20 мм																																												
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1																																												
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 223 МПа																																												
Внутренний диаметр штуцера	d 185 мм																																												
Исполнительная толщина стенки штуцера	δ_1 17 мм																																												
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 152 мм																																												
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 223 МПа																																												
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1																																												
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 575 мм																																												
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1 4 мм																																												
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2 2 мм																																												
Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3 1 мм																																												
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1} 4 мм																																												
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2} 2.125 мм																																												
Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3} 1 мм																																												
Изм.	Лист	Змеевик гидроочистки печи		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР																																									
		П-1																																											
				26																																									

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Результаты расчета					
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки					
$D_p = D =$			285 мм		
Расчетная толщина стенки корпуса					
$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$			2.579 мм		
Расчетный диаметр отверстия					
$d_p = d + 2c_s =$			199.2 мм		
Расчетная толщина стенки штуцера					
$s_{lp} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]\varphi_1 - p} =$			1.803 мм		
Расчетная длина штуцера					
$l_{lp} = \min \left\{ l_1; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \right\} =$			55.45 мм		
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса					
$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$			1		
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$L_o = \sqrt{D_p(s - c)} =$			60.87 мм		
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$l_p =$			60.87 мм		
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия					
$d_{op} = 0,4\sqrt{D_p(s - c)} =$			24.35 мм		
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера					
$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{lp}(s_1 - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3}{l_p(s - c)}}{1 + 0,5\frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1\frac{d + 2c_s}{D_p}\frac{\varphi l_{lp}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$			0.5505		
Допускаемое давление для узла врезки штуцера					
$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} =$			10.92 МПа		
где					
$K_1 =$			1		
Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					27

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																															
<p>Расчет на взаимное влияние узлов врезки штуцеров на цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет цилиндрической обечайки (трубы 325х20).</p> <p>Расчет по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Цилиндрическая обечайка не содержит взаимно-влияющих узлов укрепления отверстий.</p> <p>Области влияния штуцеров:</p> <table><thead><tr><th>Название штуцера</th><th>Радиус влияния штуцера (мм)</th></tr></thead><tbody><tr><td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)</td><td>60.869</td></tr><tr><td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)</td><td>60.869</td></tr><tr><td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)</td><td>60.869</td></tr></tbody></table> <p>3.4. Камера конвекции. Расчет коллектора (режим регенерации)</p> <p>Расчет выпуклого днища.</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Элемент: Эллиптическое днище, работающее под действием внутреннего давления</p> <p>Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table><thead><tr><th colspan="2">Материал днища</th><th colspan="2">15Х5М, Лист</th></tr></thead><tbody><tr><td>Расчетная температура</td><td>T</td><td>320</td><td>°С</td></tr><tr><td>Расчетное давление</td><td>p</td><td>2</td><td>МПа</td></tr><tr><td>Внутренний диаметр днища</td><td>D</td><td>285</td><td>мм</td></tr><tr><td>Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части</td><td>H</td><td>61</td><td>мм</td></tr><tr><td>Исполнительная толщина стенки днища</td><td>s₁</td><td>20</td><td>мм</td></tr><tr><td>Прибавка на коррозию и эрозию</td><td>c₁</td><td>4</td><td>мм</td></tr><tr><td>Прибавка – минусовый допуск</td><td>c₂</td><td>0.8</td><td>мм</td></tr><tr><td>Прибавка технологическая</td><td>c₃</td><td>3</td><td>мм</td></tr><tr><td>Сумма прибавок к расчетной толщине стенки</td><td>c</td><td>7.8</td><td>мм</td></tr><tr><td>Коэффициент прочности сварного шва</td><td>φ</td><td>1</td><td>-</td></tr><tr><td>Допускаемое напряжение</td><td>[σ]</td><td>117.5</td><td>МПа</td></tr></tbody></table> <table><tr><td rowspan="2">Змеевик гидроочистки печи П-1</td><td rowspan="2">РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР</td><td>Изм.</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td>28</td></tr></table>						Название штуцера	Радиус влияния штуцера (мм)	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)	60.869	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)	60.869	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)	60.869	Материал днища		15Х5М, Лист		Расчетная температура	T	320	°С	Расчетное давление	p	2	МПа	Внутренний диаметр днища	D	285	мм	Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части	H	61	мм	Исполнительная толщина стенки днища	s ₁	20	мм	Прибавка на коррозию и эрозию	c ₁	4	мм	Прибавка – минусовый допуск	c ₂	0.8	мм	Прибавка технологическая	c ₃	3	мм	Сумма прибавок к расчетной толщине стенки	c	7.8	мм	Коэффициент прочности сварного шва	φ	1	-	Допускаемое напряжение	[σ]	117.5	МПа	Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.	Лист		28
Название штуцера	Радиус влияния штуцера (мм)																																																																		
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)	60.869																																																																		
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)	60.869																																																																		
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)	60.869																																																																		
Материал днища		15Х5М, Лист																																																																	
Расчетная температура	T	320	°С																																																																
Расчетное давление	p	2	МПа																																																																
Внутренний диаметр днища	D	285	мм																																																																
Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части	H	61	мм																																																																
Исполнительная толщина стенки днища	s ₁	20	мм																																																																
Прибавка на коррозию и эрозию	c ₁	4	мм																																																																
Прибавка – минусовый допуск	c ₂	0.8	мм																																																																
Прибавка технологическая	c ₃	3	мм																																																																
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки	c	7.8	мм																																																																
Коэффициент прочности сварного шва	φ	1	-																																																																
Допускаемое напряжение	[σ]	117.5	МПа																																																																
Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.	Лист																																																																
			28																																																																
Подпись и дата		Име. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Име. № подл.																																																											

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Длина цилиндрической отбортовки h_1 25 мм Результаты расчета Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища: $R = \frac{D^2}{4H} = 332.9 \text{ мм}$ Расчетная толщина стенки эллиптического или полусферического днища от действия внутреннего давления: $s_{1p} = \frac{pR}{2[\sigma] - 0.5p} = 2.845 \text{ мм}$ Расчетная толщина стенки днища от действия давления с учетом прибавки: $s_{1p+c} = 10.65 \text{ мм}$ Допускаемое внутреннее давление для эллиптического или полусферического днища: $[p] = \frac{2(s_1 - c)[\sigma]}{R + 0.5(s_1 - c)} = 8.457 \text{ МПа}$ Днище отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007.					
Расчет цилиндрической обечайки (трубы 325x20). Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007 Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)					
Элемент: Гладкая цилиндрическая обечайка, работающая под действием внутреннего давления Режим: Рабочий					
Исходные данные					
Материал обечайки		15Х5М-У, Труба			
Расчетная температура		T	320	°C	
Расчетное давление в сосуде		P	2	МПа	
Внутренний диаметр обечайки		D	285	мм	
Толщина стенки обечайки		S	20	мм	
Прибавка на коррозию		c ₁	4	мм	
Прибавка – минусовый допуск		c ₂	2	мм	
Прибавка технологическая		c ₃	1	мм	
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки		c	7	мм	
Коэффициент прочности продольного сварного шва		φ _p	1		
Допускаемое напряжение		[σ]	206	МПа	
Результаты расчета					
Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					29

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<div> <div> $S_p = \frac{pD}{2[\sigma]_p - p} =$ </div> <div>1.39 мм</div> </div> <div> <div>Расчетная толщина стенки обечайки от действия давления с учетом прибавки</div> <div> $S \geq S_p + C =$ </div> <div>8.39 мм</div> </div> <div> <div>Допускаемое внутреннее давление</div> <div> $[p] = \frac{2[\sigma]_p (S - C)}{D + (S - C)} =$ </div> <div>17.97 МПа</div> </div> <div>Обечайка отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007</div>					
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
<div> <div>Змеевик гидроочистки печи</div> <div>П-1</div> </div> <div> <div>РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР</div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> </div> <div> <div></div> <div>30</div> </div>					

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																														
<p align="center">Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 x 17.</p> <p align="center">Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p align="center"><i>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</i></p> <p align="center">Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах Внутреннее давление Отверстие в цилиндрической обечайке Расчет укрепления одиночного отверстия Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда Расчет с учетом внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007 Внешние нагрузки определялись без учета стесненности температурных деформаций Внешние нагрузки приложены на краю штуцера Режим:Рабочий</p> <p align="center">Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td>15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td>15X5М-У, Труба</td> </tr> </table> <table border="0"> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T 320</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P 2</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D 285</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>s 20</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$ 206</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d 185</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>s_1 17</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1 60</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$ 206</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k 350</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Вылет штуцера</td> <td>L_f 60</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Осевая нагрузка на штуцер</td> <td>F_z 8004</td> <td>Н</td> </tr> <tr> <td>Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер</td> <td>M_x 5.286e+06</td> <td>Н*мм</td> </tr> <tr> <td>Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер</td> <td>M_y 5.286e+06</td> <td>Н*мм</td> </tr> <tr> <td>Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер</td> <td>F_x 1.601e+04</td> <td>Н</td> </tr> <tr> <td>Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер</td> <td>F_y 1.601e+04</td> <td>Н</td> </tr> <tr> <td>Модуль продольной упругости материала штуцера</td> <td>E_1 1.875e+05</td> <td>МПа</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5М-У, Труба	Материал штуцера	15X5М-У, Труба	Расчетная температура днища	T 320	°C	Расчетное давление	P 2	МПа	Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285	мм	Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s 20	мм	Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1		Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 206	МПа	Внутренний диаметр штуцера	d 185	мм	Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1 17	мм	Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 60	мм	Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 206	МПа	Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1		Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 350	мм	Вылет штуцера	L_f 60	мм	Осевая нагрузка на штуцер	F_z 8004	Н	Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер	M_x 5.286e+06	Н*мм	Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер	M_y 5.286e+06	Н*мм	Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер	F_x 1.601e+04	Н	Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер	F_y 1.601e+04	Н	Модуль продольной упругости материала штуцера	E_1 1.875e+05	МПа
Материал корпуса	15X5М-У, Труба																																																																	
Материал штуцера	15X5М-У, Труба																																																																	
Расчетная температура днища	T 320	°C																																																																
Расчетное давление	P 2	МПа																																																																
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D 285	мм																																																																
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s 20	мм																																																																
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ 1																																																																	
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$ 206	МПа																																																																
Внутренний диаметр штуцера	d 185	мм																																																																
Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1 17	мм																																																																
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1 60	мм																																																																
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$ 206	МПа																																																																
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1 1																																																																	
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k 350	мм																																																																
Вылет штуцера	L_f 60	мм																																																																
Осевая нагрузка на штуцер	F_z 8004	Н																																																																
Изгибающий момент вокруг оси X действующий на штуцер	M_x 5.286e+06	Н*мм																																																																
Изгибающий момент вокруг оси Y действующий на штуцер	M_y 5.286e+06	Н*мм																																																																
Перерезывающая сила вдоль оси X действующая на штуцер	F_x 1.601e+04	Н																																																																
Перерезывающая сила вдоль оси Y действующая на штуцер	F_y 1.601e+04	Н																																																																
Модуль продольной упругости материала штуцера	E_1 1.875e+05	МПа																																																																
Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1																																																													
					РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР																																																													
					Изм. Лист <div></div> <div>31</div>																																																													

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса		c_1	4	мм
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса		c_2	2	мм
Прибавка технологическая стенки корпуса		c_3	1	мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера		c_{s1}	4	мм
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера		c_{s2}	2.125	мм
Прибавка технологическая стенки штуцера		c_{s3}	1	мм
Результаты расчета				
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки		$D_p = D =$	285 мм	
Расчетная толщина стенки корпуса		$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$	1.39 мм	
Расчетный диаметр отверстия		$d_p = d + 2c_s =$	199.2 мм	
Расчетная толщина стенки штуцера		$s_{ip} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]\varphi_1 - p} =$	0.972 мм	
Расчетная длина штуцера		$l_{ip} = \min \{l_1; 1.25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)}\} =$	55.45 мм	
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса		$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$	1	
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$L_0 = \sqrt{D_p(s - c)} =$	60.87 мм	
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру		$l_p =$	60.87 мм	
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия		$d_{оп} = 0.4\sqrt{D_p(s - c)} =$	24.35 мм	
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера		$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{ip}(s_1 - c_s)}{l_p} \chi_1 + \frac{l_{ip}s_2}{l_p} \chi_2 + \frac{l_{ip}(s_3 - c_s - c_{s1})}{l_p} \chi_3}{1 + 0.5 \frac{d_p - d_{оп}}{l_p} + K_1 \frac{d + 2c_s}{D_p} \frac{\varphi l_{ip}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$	0.5505	
Допускаемое давление для узла врезки штуцера		$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} V =$	10.09 МПа	
где			1	
Инв. № подл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.
				Лист 32

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
<div>Име. № подл.</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Подпись и дата</div>		$K_1 =$ Допускаемое осевое усилие $[F_x] = [\sigma](s - c)^2 \max[C_1; 1,81] =$ 1.07e+05 Н Допускаемый изгибающий момент вдоль оси Х $[M_x] = [\sigma](s - c)^2 \frac{d_c}{4} \max[C_2; 4,9] =$ 9.547e+06 Н*мм Допускаемый изгибающий момент вдоль оси Y $[M_y] = [\sigma](s - c)^2 \frac{d_c}{4} \max[C_3; 4,9] =$ 2.626e+07 Н*мм Условие прочности по давлению $\Phi_p = \left \frac{p}{[p]} \right \leq 1 =$ 0.1982 Условие прочности по осевой нагрузке $\Phi_z = \left \frac{F_z}{[F_z]} \right \leq 1 =$ 0.07481 Условие прочности по изгибающему моменту $\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]} \right)^2} \leq 1$ 0.5117 Условие прочности при совместном действии нагрузок $\sqrt{\left[\max \left(\left \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right , \left \Phi_z \right , \left \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2\Phi_z \right \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$ 0.5799 Максимальное продольное растягивающее напряжение в штуцере $\frac{p(d + s_1)}{4(s_1 - c_s)} + \frac{4\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi(d + s_1)^2(s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi(d + s_1)(s_1 - c_s)} \leq [\sigma] =$ 35.51 МПа Условие устойчивости штуцера $\frac{p}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{ F_z }{[F]} \leq 1 =$ 0.1319 Коэффициент по п. 6.1.1.a $\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_s}} =$ 2.586 Допускаемая сжимающая продольная сила из условия устойчивости по ГОСТ Р 52857.2-2007 $[F]_{уст} =$ 1.245e+06 Н Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости по ГОСТ Р 52857.2-2007 $[M]_{уст} =$ 5.759e+07 Н*мм Расчетный изгибающий момент вокруг оси Х в точке пересечения образующей корпуса с осью штуцера $M_{x_{расч}} =$ 4.325e+06 Н*мм		
		Змеевик гидроочистки печи П-1		Изм.
		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Лист
				33

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<div>Расчетный изгибающий момент вокруг оси Y в точке пересечения образующей корпуса с осью штуцера</div> <div><div>$M_{y_{расч}} =$</div><div>6.247e+06 Н*мм</div></div> <div>Эквивалентная толщина обечайки</div> <div><div>$s_s = (s - c) =$</div><div>20 мм</div></div> <div>Коэффициент C1 по п. 6.1.2.2.</div> <div><div>$C_1 =$</div><div>3.073</div></div> <div>Коэффициент C2 по п. 6.1.2.3.</div> <div><div>$C_2 =$</div><div>5.43</div></div> <div>Коэффициент C3 по п. 6.1.2.5.</div> <div><div>$C_3 =$</div><div>14.94</div></div> <div>Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007</div>					
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.		
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					34

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																															
<p align="center">Фланцевые соединения</p> <p align="center">Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007</p> <p align="center"><i>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</i></p> <p align="center"> Элемент: Фланцевое соединение Два одинаковых фланца Овальная или восьмигранная прокладка Шпильки Приварной в стык фланец Приварной в стык фланец Расчет на статическую прочность Неизолированное фланцевое соединение Между фланцами только прокладка Внешняя осевая сила отсутствует Не контролируемая затяжка Режим :Рабочий </p> <p align="center">Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал 1-го фланца (крышки)</td> <td>15X5M, Поковка</td> </tr> <tr> <td>Материал и диаметр болтов (шпилек)</td> <td>25X2M1Ф, Diam = 2-M30</td> </tr> <tr> <td>Материал прокладки</td> <td>Сталь 08X18H10T</td> </tr> </table> <table border="0"> <tr> <td>Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)</td> <td>D_b</td> <td>345</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Наружный диаметр болта (шпильки)</td> <td>d</td> <td>30</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра</td> <td>f_b</td> <td>452</td> <td>мм²</td> </tr> <tr> <td>Число болтов (шпилек)</td> <td>n</td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек</td> <td>L_{bo}</td> <td>95</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки</td> <td>D_{cn}</td> <td>265</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Ширина прокладки</td> <td>b_n</td> <td>11</td> <td>мм</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура</td> <td>t</td> <td>320</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура болта (шпильки)</td> <td>t_b</td> <td>275</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке</td> <td>$[\sigma]_k^p$</td> <td>238</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях</td> <td>$[\sigma]_k^p$</td> <td>222</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С</td> <td>E_b^{20}</td> <td>2.15e+05</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре</td> <td>E_b</td> <td>2.035e+05</td> <td>МПа</td> </tr> <tr> <td>Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)</td> <td>α_b</td> <td>1.32e-05</td> <td>1/°C</td> </tr> </table>						Материал 1-го фланца (крышки)	15X5M, Поковка	Материал и диаметр болтов (шпилек)	25X2M1Ф, Diam = 2-M30	Материал прокладки	Сталь 08X18H10T	Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	D_b	345	мм	Наружный диаметр болта (шпильки)	d	30	мм	Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра	f_b	452	мм ²	Число болтов (шпилек)	n	12		Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек	L_{bo}	95	мм	Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки	D_{cn}	265	мм	Ширина прокладки	b_n	11	мм	Расчетная температура	t	320	°C	Расчетная температура болта (шпильки)	t_b	275	°C	Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке	$[\sigma]_k^p$	238	МПа	Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях	$[\sigma]_k^p$	222	МПа	Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С	E_b^{20}	2.15e+05	МПа	Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре	E_b	2.035e+05	МПа	Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)	α_b	1.32e-05	1/°C
Материал 1-го фланца (крышки)	15X5M, Поковка																																																																		
Материал и диаметр болтов (шпилек)	25X2M1Ф, Diam = 2-M30																																																																		
Материал прокладки	Сталь 08X18H10T																																																																		
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	D_b	345	мм																																																																
Наружный диаметр болта (шпильки)	d	30	мм																																																																
Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра	f_b	452	мм ²																																																																
Число болтов (шпилек)	n	12																																																																	
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек	L_{bo}	95	мм																																																																
Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки	D_{cn}	265	мм																																																																
Ширина прокладки	b_n	11	мм																																																																
Расчетная температура	t	320	°C																																																																
Расчетная температура болта (шпильки)	t_b	275	°C																																																																
Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке	$[\sigma]_k^p$	238	МПа																																																																
Номинальное допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях	$[\sigma]_k^p$	222	МПа																																																																
Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при температуре 20С	E_b^{20}	2.15e+05	МПа																																																																
Модуль продольной упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре	E_b	2.035e+05	МПа																																																																
Температурный коэффициент линейного расширения материала болта (шпильки)	α_b	1.32e-05	1/°C																																																																
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1																																																														
					РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР																																																														
					Изм.																																																														
					Лист 35																																																														

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
<div>Подпись и дата</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Име. № подл.</div>		Прокладочный коэффициент	m 6.5	
		Удельное давление обжатия прокладки	$q_{обж}$ 180	МПа
		Внутренний диаметр фланца	D 198	мм
		Наружный диаметр фланца (бурта, крышки)	D_n 405	мм
		Толщина тарелки фланца (бурта)	k_1 41	мм
		Толщина втулки приварного встык фланца в месте присоединения к тарелке	S_1 33	мм
		Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке (трубе), толщина обечайки (трубы) плоского фланца или бурта свободного фланца	S_0 12	мм
		Длина конической втулки приварного встык фланца	l 52.5	мм
		Длина цилиндрической втулки приварного встык фланца	$l_{цм}$ 16.5	мм
		Расчетная температура фланца	t_{ϕ} 308	°C
		Расчетное давление (внутреннее – положительное, наружное – отрицательное)	p 2	МПа
		Прибавка на коррозию	c 4	мм
		Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при температуре 20С в соответствии с ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]^{20}$ 146	МПа
		Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при расчетной температуре в соответствии с ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]$ 119	МПа
		Модуль продольной упругости материала фланца при температуре 20С	E_1^{20} 2.15e+05	МПа
		Модуль продольной упругости материала фланца при расчетной температуре	E_1 1.89e+05	МПа
		Температурный коэффициент линейного расширения материала фланца	α_{ϕ} 1.32e-05	1/°C
		Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_M$ 219	МПа
		Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_M$ 178.5	МПа
		Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_R$ 438	МПа
		Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ Р 52857.1	$[\sigma]_R$ 357	МПа
		Результаты расчета		
		Расчет вспомогательных величин -для прокладки и шпилек		
		Эффективная ширина прокладки		
		$b_0 = \frac{b_n}{4} = 2.75 \text{ мм}$		
Име. № подл.		Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.
				Лист 36

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Податливость прокладки		$y_n =$		0 мм/Н	
Податливость болтов (шпилек)		$y_b = \frac{L_b}{E_b^{20} f_b n} =$		9.587e-08 мм/Н	
где		$L_b = L_{b0} + 0,56d =$		111.8 мм	
Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра		$A_b = n f_b =$		5424 мм ²	
Плечо усилий в болтах (шпильках)		$b = 0,5(D_b - D_{cn}) =$ - для фланцев		40 мм	
Плечо усилия от действия давления внутри фланца		$e = 0,5(D_{cn} - D - S_j) =$		21.89 мм	
где эквивалентная толщина втулки фланца		$S_j = \zeta S_0 =$		23.23 мм	
		$\zeta = 1 + (\beta - 1) \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} =$		1.936 мм	
Параметр длины втулки		$l_0 = \sqrt{DS_0} =$		48.74 мм	
Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру		$K = \frac{D_n}{D} =$		2.045	
Расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца (бурта)		$\beta_T = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 K^2)(K - 1)} =$		1.489	
		$\beta_U = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)} =$		3.159	
		$\beta_V = \frac{1}{K - 1} \left(0,69 + 5,72 \frac{K^2 \lg K}{K^2 - 1} \right) =$		2.894	
		$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} =$		1.628	
Отношение толщины втулки в сечении S1 к толщине в сечении S0		$\beta = \frac{S_1}{S_0} =$		2.75	
Относительная длина втулки фланца		$x = \frac{l}{\sqrt{DS_0}} =$		1.077	
Расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров втулки фланца				0.685	
Инв. № подл.		Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	
Взам. инв. №				Изм.	
Инв. № дубл.				Лист	
Подпись и дата				37	

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
		$\beta_F =$		
		$\beta_V =$	0.08716	
Коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении S0 приварного встык фланца		$f =$	1	
Коэффициент		$\lambda = \frac{\beta_F l_0^2 + l_0}{\beta_F l_0} + \frac{\beta_V l_0^3}{\beta_V l_0 S_0^2} =$	1.329	
Угловая податливость фланца (бурта) при затяжке		$\gamma_\phi = \frac{0,9 \beta_V}{E^{20} \lambda S_0^2 l_0} =$	3.953e-11 1/Н мм	
Угловая податливость фланца (бурта), нагруженного внешним изгибающим моментом		$\gamma_{\phi,н} = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \frac{D_\phi}{E_{20} D_n h^3} =$	2.785e-11 1/Н мм	
Коэффициенты жесткости фланцевого соединения				
Жесткость фланцевого соединения		$\gamma = \frac{1}{\gamma_n + \gamma_\phi \frac{E_\phi^{20}}{E_\phi} + \left(\gamma_{\phi 1} \frac{E_1^{20}}{E_1} + \gamma_{\phi 2} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2} =$	4.228e+06 Н/мм	
Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой		$\alpha = 1$	1	
Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом		$\alpha_n = \frac{\gamma_\phi + 2\gamma_{\phi,н} b \left(b + e - \frac{e^2}{D_{cn}} \right)}{\gamma_\phi + \gamma_n \left(\frac{D_\phi}{D_{cn}} \right)^2 + 2\gamma_{\phi,н} b^2} =$	1.242	
Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность без учета нагрузки вызванной стесненностью температурных деформаций				
Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке		$P_{сбж} = 0,5 \pi D_{cn} b_0 q_{сбж} =$	2.06e+05 Н	
Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения		$R_n = \pi D_{cn} b_0 m p =$	2.976e+04 Н	
Равнодействующая давления		$Q_d = 0,785 D_{cn}^2 p =$	1.103e+05 Н	
Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента		$Q_{FM} = F \pm \frac{4 M }{D_{cn}} =$	0 Н	
Име. № подл.		Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.
				Лист 38

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек)</p> $P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обжм}}; 0,4 A_{\text{б}} [\sigma]_{\text{н}}^{\text{б}} \} =$ <p style="text-align: right;">5.164e+05 Н</p>					
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения</p> $P_{\text{б1}} = \alpha (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{н}} + \frac{4\alpha_{\text{м}} M }{D_{\text{сн}}} =$ <p style="text-align: right;">1.4e+05 Н</p>					
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке фланцевого соединения</p> $P_{\text{б}}^{\text{н}} = \max \{ P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}} \} =$ <p style="text-align: right;">5.164e+05 Н</p>					
<p>Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях</p> $P_{\text{б}}^{\text{р}} = P_{\text{б}}^{\text{н}} + (1 - \alpha) (Q_{\text{д}} + F) + \frac{4(1 - \alpha_{\text{м}}) M }{D_{\text{сн}}} =$ <p style="text-align: right;">5.164e+05 Н</p>					
<p>Проверка прочности болтов (шпилек)</p> <p>Расчетное напряжение в болтах (шпильках) при затяжке</p> $\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{н}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{н}}^{\text{б}}$ <p style="text-align: center;">95.2МПа ≤ 285.6МПа</p> <p>Расчетное напряжение в болтах (шпильках) в рабочих условиях</p> $\sigma_{\text{б2}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{р}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{р}}^{\text{б}}$ <p style="text-align: center;">95.2МПа ≤ 222МПа</p>					
<p>где:</p> <p>- допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке</p> $[\sigma]_{\text{н}}^{\text{б}} = \xi K_{\text{уп}} K_{\text{уз}} K_{\text{ум}} [\sigma]_{\text{н}} =$ <p style="text-align: right;">285.6 МПа</p>					
<p>- допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях и при расчете на условия испытания</p> $[\sigma]_{\text{р}}^{\text{б}} = K_{\text{уп}} K_{\text{уз}} K_{\text{ум}} [\sigma]_{\text{н}}^{\text{б}} =$ <p style="text-align: right;">222 МПа</p>					
<p>- коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке для фланцевых соединений</p> $\xi =$ <p style="text-align: right;">1.2</p>					
<p>- коэффициент условий работы</p> $K_{\text{уп}} =$ <p style="text-align: right;">1</p>					
<p>- коэффициент условий затяжки</p> $K_{\text{уз}} =$ <p style="text-align: right;">1</p>					
<p>- коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций</p> $K_{\text{ум}} =$ <p style="text-align: right;">1</p>					
<p>Расчет фланцев на статическую прочность</p> <p>Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке</p> $M^{\text{н}} = C_{\text{р}} P_{\text{б}}^{\text{н}} b =$ <p style="text-align: right;">2.065e+07 Н мм</p>					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					39

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях				
$M^P = C_F \max \left\{ \left[F_6^P b + (Q_n + Q_{FM}) e \right]; Q_n + Q_{FM} e \right\} =$			2.307e+07 Н мм	
Где				
$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi D_6}{n}}{2d + \frac{6h}{m + 0,5}}} \right\} =$			1	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S1				
$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$			79.97 МПа	
Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S0				
$\sigma_0^M = f \sigma_1^M =$			79.97 МПа	
Где				
$D^* = \begin{cases} D & \text{при } D \geq 20S_1 \\ D + S_0 & \text{при } D < 20S_1 \text{ и } f > 1 \\ D + S_1 & \text{при } D < 20S_1 \text{ и } f = 1 \end{cases} =$			231 мм	
Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки				
$\sigma_R^M = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^M =$			82.44 МПа	
Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки				
$\sigma_T^M = \frac{\beta_V M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M =$			45.39 МПа	
Расчетные меридиональные изгибные напряжения в рабочих условиях в сечении S1:				
$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} =$			89.31 МПа	
в сечении S0:				
$\sigma_0^P = f \sigma_1^P =$			89.31 МПа	
Меридиональные мембранные напряжения в рабочих условиях (в сечении S1)				
$\sigma_{L.M}^P = \frac{Q_n + F \pm \frac{4 M }{D_{\alpha}}}{\pi (D + S_1)(S_1 - c)} =$			5.239 МПа	
Меридиональные мембранные напряжения в рабочих условиях (в сечении S0)				
$\sigma_{0L.M}^P = \frac{Q_n + F \pm \frac{4 M }{D_{\alpha}}}{\pi (D + S_0)(S_0 - c)} =$			20.89 МПа	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм. Лист 40

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
<p>Окружные мембранные напряжения в рабочих условиях в сечении S0</p> $\sigma_{\text{ок.о}}^p = \frac{pD}{2(S_0 - c)} = 24.75 \text{ МПа}$ <p>Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях</p> $\sigma_R^p = \frac{(1,33\beta_F k_2 + l_0)}{\lambda k_2^2 l_0 D} M^p = 92.08 \text{ МПа}$ <p>Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях</p> $\sigma_T^p = \frac{\beta_Y M^p}{k^2 D} - \beta_Z \sigma_R^p = 50.69 \text{ МПа}$ <p>Условия статической прочности фланца ($K_T = 1$)</p> <p>Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке</p> $\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T [\sigma]_{\text{жк}}$ $162.4 \text{ МПа} \leq 219 \text{ МПа}$ <p>Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_1^p - \sigma_{\text{м.м}}^p + \sigma_R^p \right ; \left \sigma_1^p - \sigma_{\text{м.м}}^p + \sigma_T^p \right ; \left \sigma_1^p + \sigma_{\text{м.м}}^p \right \right\} \leq K_T [\sigma]_{\text{жк}}$ $176.1 \text{ МПа} \leq 178.5 \text{ МПа}$ <p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 при затяжке</p> $\sigma_0^M \leq 1,3 [\sigma]_R$ $79.97 \text{ МПа} \leq 569.4 \text{ МПа}$ <p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_0^p \pm \sigma_{\text{ок.м}}^p \right ; \left 0,3 \sigma_0^p \pm \sigma_{\text{ок.о}}^p \right ; \left 0,7 \sigma_0^p \pm (\sigma_{\text{ок.м}}^p - \sigma_{\text{ок.о}}^p) \right \right\} \leq 1,3 [\sigma]_R$ $110.2 \text{ МПа} \leq 464.1 \text{ МПа}$ <p>Расчетные мембранные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_{\text{ок.о}}^p \right ; \left \sigma_{\text{ок.м}}^p \right \right\} \leq [\sigma]$ $24.75 \text{ МПа} \leq 119 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца при затяжке</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $82.44 \text{ МПа} \leq 146 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^p \right ; \left \sigma_T^p \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $92.08 \text{ МПа} \leq 119 \text{ МПа}$ <p>Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца или бурта свободного фланца в рабочих условиях</p> $\theta = M^p y_{\Phi} \frac{E^{20}}{E} \leq K_{\theta} [\theta]$ $0.001037 \text{ рад} \leq 0.006 \text{ рад}$ <p>где:</p>				
Изм.	Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	
			41	

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР
		$[\theta] =$	0.006 рад	
		$K_{\theta} =$	1	
Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность с учетом нагрузки, вызванной стесненностью температурных деформаций				
Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций				
$Q_z = \gamma [\alpha_{\varphi 1} h_1 (t_{\varphi 1} - 20) + \alpha_{\varphi 2} h_2 (t_{\varphi 2} - 20) - \alpha_{\sigma} (h_1 + h_2) (t_{\sigma} - 20)] =$			1.51e+05 Н	
Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения				
$P_{\phi 1} = \max \left[\begin{array}{l} \alpha(Q_z + F) + R_x + \frac{4\alpha_M M }{D_{ca}} \\ \alpha(Q_z + F) + R_x + \frac{4\alpha_M M }{D_{ca}} - Q_z \end{array} \right]$			1.4e+05 Н	
Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке фланцевого соединения				
$P_{\phi}^M = \max \{P_{\phi 1}; P_{\phi 2}\} =$			5.164e+05 Н	
Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях				
$P_{\phi}^P = P_{\phi}^M + (1 - \alpha)(Q_z + F) + Q_z + \frac{4(1 - \alpha_M) M }{D_{ca}}$			6.674e+05 Н	
Проверка прочности болтов (шпилек) с учетом температурных деформаций				
Расчетное напряжение в болтах (шпильках) при затяжке				
$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_{\phi}^M}{A_{\phi}} =$			95.2 МПа	
Расчетное напряжение в болтах (шпильках) в рабочих условиях				
$\sigma_{\phi 2} = \frac{P_{\phi}^P}{A_{\phi}} =$			123 МПа	
где: Допускаемое напряжение для болтов (шпилек) при затяжке				
$[\sigma]_{\phi}^{\phi} = \xi K_{\varphi\varphi} K_{\varphi z} K_{\varphi r} [\sigma]_{\phi}^{\phi} =$			371.3 МПа	
Допускаемое напряжение для болтов (шпилек) в рабочих условиях и при расчете на условия испытания				
$[\sigma]_{\phi}^{\phi} = K_{\varphi\varphi} K_{\varphi z} K_{\varphi r} [\sigma]_{\phi}^{\phi} =$			288.6 МПа	
Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций				
$K_{\varphi\varphi} =$			1.3	
Остальные коэффициенты, используемые при определении допускаемых напряжений для болтов (шпилек) те же, что и при расчете без учета усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций				
Расчет фланцев на статическую прочность с учетом усилий вызванных стесненностью температурных деформаций				
Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке				
$M^M = C_F P_{\phi}^M b =$			2.065e+07 Н мм	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм. Лист
				42

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M^P = C_F \max \left\{ \left[F_s^P b + (Q_{\pi} + Q_{FM}) e \right]; |Q_{\pi} + Q_{FM}| e \right\} = 2.911e+07 \text{ Н мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S1

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} = 79.97 \text{ МПа}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца в сечении S0

$$\sigma_0^M = f \sigma_1^M = 79.97 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки

$$\sigma_R^M = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^M = 82.44 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M = 45.39 \text{ МПа}$$

Расчетные меридиональные изгибные напряжения в рабочих условиях в сечении S1:

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda (S_1 - c)^2 D^*} = 112.7 \text{ МПа}$$

в сечении S0:

$$\sigma_0^P = f \sigma_1^P = 112.7 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях

$$\sigma_R^P = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^P = 116.2 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y M^P}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^P = 63.97 \text{ МПа}$$

Напряжения во фланце, не зависящие от усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций, такие же, как при расчете на статическую прочность без учета температурных деформаций.

Условия статической прочности фланца ($K_T = 1.3$)

Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_M$$

$$162.4 \text{ МПа} \leq 284.7 \text{ МПа}$$

Расчетные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{FM}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{FM}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{FM}^P \right| \right\} \leq K_T [\sigma]_M$$

$$223.7 \text{ МПа} \leq 232.1 \text{ МПа}$$

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
<p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 при затяжке</p> $\sigma_0^* \leq 1,3[\sigma]_R$ $79.97 \text{ МПа} \leq 569.4 \text{ МПа}$ <p>Расчетные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_0^p \pm \sigma_{\text{м.л.}}^p \right ; \left 0,3\sigma_0^p \pm \sigma_{\text{м.о.}}^p \right ; \left 0,7\sigma_0^p \pm \left(\sigma_{\text{м.л.}}^p - \sigma_{\text{м.о.}}^p \right) \right \right\} \leq 1,3[\sigma]_R$ $133.6 \text{ МПа} \leq 464.1 \text{ МПа}$ <p>где допускаемая величина условных упругих напряжений в сечении S0 при затяжке</p> $[\sigma]_0 = \frac{1,3}{K_T} [\sigma]_R = 438 \text{ МПа}$ <p>где допускаемая величина условных упругих напряжений в сечении S0 в рабочих условиях</p> $[\sigma]_0 = \frac{1,3}{K_T} [\sigma]_R = 357 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца при затяжке</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^M \right ; \left \sigma_T^M \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $82.44 \text{ МПа} \leq 189.8 \text{ МПа}$ <p>Расчетное напряжение в тарелке фланца в рабочих условиях</p> $\max \left\{ \left \sigma_R^p \right ; \left \sigma_T^p \right \right\} \leq K_T [\sigma]$ $116.2 \text{ МПа} \leq 154.7 \text{ МПа}$ <p>Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца или бурта свободного фланца в рабочих условиях</p> $\theta = M^* \gamma_\phi \frac{E^{20}}{E} \leq K_\theta [\theta]$ $0.001309 \text{ рад} \leq 0.006 \text{ рад}$ <p>где:</p> $[\theta] = 0.006 \text{ рад}$ $K_\theta = 1$ <p>Таким образом, рассмотренное фланцевое соединение отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.4-2007</p>					
Ине. № подл.	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата		
Ине. № подл.	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата		
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					44

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																																																																																									
<p>Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 x17(1).</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах</p> <p>Внутреннее давление</p> <p>Отверстие в цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет укрепления одиночного отверстия</p> <p>Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером</p> <p>Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда</p> <p>Только расчет укрепления отверстия</p> <p>Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td colspan="5">15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td colspan="5">15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T</td> <td>320</td> <td colspan="3">°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P</td> <td>2</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D</td> <td>285</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>s</td> <td>20</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$</td> <td>206</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d'</td> <td>185</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>s_1</td> <td>17</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1</td> <td>152</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$</td> <td>206</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k</td> <td>125</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса</td> <td>c_1</td> <td>4</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса</td> <td>c_2</td> <td>2</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки корпуса</td> <td>c_3</td> <td>1</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера</td> <td>c_{s1}</td> <td>4</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера</td> <td>c_{s2}</td> <td>2.125</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки штуцера</td> <td>c_{s3}</td> <td>1</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5М-У, Труба					Материал штуцера	15X5М-У, Труба					Расчетная температура днища	T	320	°C			Расчетное давление	P	2	МПа			Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм			Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм			Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1				Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	206	МПа			Внутренний диаметр штуцера	d'	185	мм			Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм			Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	152	мм			Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	206	МПа			Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1				Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	125	мм			Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1	4	мм			Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2	2	мм			Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3	1	мм			Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1}	4	мм			Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2}	2.125	мм			Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3}	1	мм		
Материал корпуса	15X5М-У, Труба																																																																																																																												
Материал штуцера	15X5М-У, Труба																																																																																																																												
Расчетная температура днища	T	320	°C																																																																																																																										
Расчетное давление	P	2	МПа																																																																																																																										
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм																																																																																																																										
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм																																																																																																																										
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1																																																																																																																											
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	206	МПа																																																																																																																										
Внутренний диаметр штуцера	d'	185	мм																																																																																																																										
Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм																																																																																																																										
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	152	мм																																																																																																																										
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	206	МПа																																																																																																																										
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1																																																																																																																											
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	125	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1	4	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2	2	мм																																																																																																																										
Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3	1	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1}	4	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2}	2.125	мм																																																																																																																										
Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3}	1	мм																																																																																																																										
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1																																																																																																																								
					РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР																																																																																																																								
					Изм.																																																																																																																								
					Лист 45																																																																																																																								

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Результаты расчета					
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки					
$D_p = D =$			285 мм		
Расчетная толщина стенки корпуса					
$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$			1.39 мм		
Расчетный диаметр отверстия					
$d_p = d + 2c_s =$			199.2 мм		
Расчетная толщина стенки штуцера					
$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_{s,})}{2[\sigma] \varphi_1 - p} =$			0.972 мм		
Расчетная длина штуцера					
$l_{1p} = \min \{l_1; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_{s,})}\} =$			55.45 мм		
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса					
$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$			1		
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$L_b = \sqrt{D_p(s - c)} =$			60.87 мм		
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$l_p =$			60.87 мм		
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия					
$d_{оп} = 0,4\sqrt{D_p(s - c)} =$			24.35 мм		
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера					
$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(s_1 - c_{s,})\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_{s,} - c_{s,1})\chi_3}{l_p(s - c)}}{1 + 0,5\frac{d_p - d_{оп}}{l_p} + K_1\frac{d + 2c_s}{D_p}\frac{\varphi l_{1p}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$			0.5505		
Допускаемое давление для узла врезки штуцера					
$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} V =$			10.09 МПа		
где					
$K_1 =$			1		
Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					46

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР																																																																																																																									
<p>Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 x17(2).</p> <p>Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</p> <p>Элемент: Укрепление отверстий в обечайках и днищах</p> <p>Внутреннее давление</p> <p>Отверстие в цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет укрепления одиночного отверстия</p> <p>Укрепление непропущенным (непроходящим) штуцером</p> <p>Штуцер с осью нормальной к корпусу сосуда</p> <p>Только расчет укрепления отверстия</p> <p>Режим:Рабочий</p> <p>Исходные данные</p> <table border="0"> <tr> <td>Материал корпуса</td> <td colspan="5">15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Материал штуцера</td> <td colspan="5">15X5М-У, Труба</td> </tr> <tr> <td>Расчетная температура днища</td> <td>T</td> <td>320</td> <td colspan="3">°C</td> </tr> <tr> <td>Расчетное давление</td> <td>P</td> <td>2</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия</td> <td>D</td> <td>285</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища</td> <td>s</td> <td>20</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ</td> <td>φ</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре</td> <td>$[\sigma]$</td> <td>206</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Внутренний диаметр штуцера</td> <td>d</td> <td>185</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная толщина стенки штуцера</td> <td>s_1</td> <td>17</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)</td> <td>l_1</td> <td>152</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Допускаемое напряжение для материала штуцера</td> <td>$[\sigma]_1$</td> <td>206</td> <td colspan="3">МПа</td> </tr> <tr> <td>Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера</td> <td>φ_1</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)</td> <td>L_k</td> <td>575</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса</td> <td>c_1</td> <td>4</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса</td> <td>c_2</td> <td>2</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки корпуса</td> <td>c_3</td> <td>1</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера</td> <td>c_{s1}</td> <td>4</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера</td> <td>c_{s2}</td> <td>2.125</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> <tr> <td>Прибавка технологическая стенки штуцера</td> <td>c_{s3}</td> <td>1</td> <td colspan="3">мм</td> </tr> </table>						Материал корпуса	15X5М-У, Труба					Материал штуцера	15X5М-У, Труба					Расчетная температура днища	T	320	°C			Расчетное давление	P	2	МПа			Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм			Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм			Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1				Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	206	МПа			Внутренний диаметр штуцера	d	185	мм			Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм			Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	152	мм			Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	206	МПа			Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1				Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	575	мм			Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1	4	мм			Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2	2	мм			Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3	1	мм			Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1}	4	мм			Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2}	2.125	мм			Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3}	1	мм		
Материал корпуса	15X5М-У, Труба																																																																																																																												
Материал штуцера	15X5М-У, Труба																																																																																																																												
Расчетная температура днища	T	320	°C																																																																																																																										
Расчетное давление	P	2	МПа																																																																																																																										
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода, в месте расположения отверстия	D	285	мм																																																																																																																										
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	20	мм																																																																																																																										
Коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ	φ	1																																																																																																																											
Допускаемое напряжение для материала обечайки, перехода или днища при расчетной температуре	$[\sigma]$	206	МПа																																																																																																																										
Внутренний диаметр штуцера	d	185	мм																																																																																																																										
Исполнительная толщина стенки штуцера	s_1	17	мм																																																																																																																										
Исполнительная длина штуцера (для заведомо длинных штуцеров $l_1=0$)	l_1	152	мм																																																																																																																										
Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	206	МПа																																																																																																																										
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1																																																																																																																											
Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (или $L_k=0$)	L_k	575	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса	c_1	4	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки корпуса	c_2	2	мм																																																																																																																										
Прибавка технологическая стенки корпуса	c_3	1	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки штуцера	c_{s1}	4	мм																																																																																																																										
Прибавка для компенсации минусового допуска стенки штуцера	c_{s2}	2.125	мм																																																																																																																										
Прибавка технологическая стенки штуцера	c_{s3}	1	мм																																																																																																																										
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Змеевик гидроочистки печи П-1	РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР	Изм.	Лист																																																																																																																					
								47																																																																																																																					

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
Результаты расчета					
Расчетный внутренний диаметр цилиндрической обечайки					
$D_p = D =$			285 мм		
Расчетная толщина стенки корпуса					
$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} =$			1.39 мм		
Расчетный диаметр отверстия					
$d_p = d + 2c_s =$			199.2 мм		
Расчетная толщина стенки штуцера					
$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]\varphi_1 - p} =$			0.972 мм		
Расчетная длина штуцера					
$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \right\} =$			55.45 мм		
Отношение допускаемых напряжений штуцера и корпуса					
$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} =$			1		
Ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$L_6 = \sqrt{D_p(s - c)} =$			60.87 мм		
Расчетная ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру					
$l_p =$			60.87 мм		
Расчетный диаметр неукрепляемого отверстия					
$d_{оп} = 0,4\sqrt{D_p(s - c)} =$			24.35 мм		
Коэффициент понижения прочности узла врезки штуцера					
$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(s_1 - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3}{l_p(s - c)}}{1 + 0,5\frac{d_p - d_{оп}}{l_p} + K_1\frac{d + 2c_s}{D_p}\frac{\varphi l_{1p}}{\varphi_1 l_p}} \right\} =$			0.5505		
Допускаемое давление для узла врезки штуцера					
$[p] = \frac{2K_1(s - c)\varphi[\sigma]}{D_p + (s - c)V} V =$			10.09 МПа		
где					
$K_1 =$			1		
Таким образом, рассмотренный узел врезки отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.3-2007					
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					48

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР									
<p>Расчет на взаимное влияние узлов врезки штуцеров на цилиндрической обечайке</p> <p>Расчет цилиндрической обечайки (трубы 325х20).</p> <p>Расчет по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p><i>Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design (Свидетельство о государственной регистрации 2008614973)</i></p> <p>Цилиндрическая обечайка не содержит взаимно-влияющих узлов укрепления отверстий.</p> <p>Области влияния штуцеров:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Название штуцера</th> <th>Радиус влияния штуцера (мм)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)</td> <td>60.869</td> </tr> <tr> <td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)</td> <td>60.869</td> </tr> <tr> <td>"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)</td> <td>60.869</td> </tr> </tbody> </table>						Название штуцера	Радиус влияния штуцера (мм)	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)	60.869	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)	60.869	"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)	60.869
Название штуцера	Радиус влияния штуцера (мм)												
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку трубы 219 х 17." (3)	60.869												
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(1)." (5)	60.869												
"Расчет укрепления отверстия в цилиндрической обечайке под врезку патрубка 219 х17(2)." (6)	60.869												
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата									
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист								
					49								

РБС - ХОЛДИНГ		РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ		РР	
4. ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ					
4.1. РД 26-02-80-2004. Змеевики сварные для трубчатых печей. Требования к проектированию, изготовлению и поставке.					
4.2. РТМ 26-02-67-84. Методика расчёта на прочность элементов печей работающих под давлением.					
4.3. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.					
4.4. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчёт цилиндрических и конических обечаек, выпуклых днищ и крышек.					
4.5. ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчёт на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.					
4.6. ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.					
4.7. ГОСТ Р 52630-2006. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.					
4.8. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.					
Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	
Змеевик гидроочистки печи П-1		РАН-П-1/ЛГ-35/11-300/2013-086-01 РР		Изм.	Лист
					50