ЗАО "РЕМЕЗА"

ПАСПОРТ
СОСУДА С РАСЧЕТНЫМ ДАВЛЕНИЕМ СВЫШЕ 0,05 МПа

3013.00.00.000 ПС

При передаче сосуда другому владельцу вместе с сосудом передается паспорт

РЕСИВЕРЫ

РВ500.11.00 с арматурой
РВ500.11.01 с арматурой
РВ500.11.02 с арматурой

4383003300
Изм.18-02.2025

Содержание паспорта

Номер раздела	Наименование	Количество листов/страниц
	Общие сведения о сосуде	5
1	Техническая характеристика и параметры	
2	Сведения об основных частях сосуда	
3	Данные о штуцерах, фланцах, крышках и крепежных изделиях	
4	Данные о предохранительных устройствах, основной арматуре, контрольно-измерительных приборах, приборах безопасности	
5	Данные о сварке и неразрушающем контроле сварных соединений	
6	Данные о термообработке	
7	Данные о гидравлическом (пневматическом) испытании	
8	Заключение	
9	Сведения о местонахождении сосуда	1
10	Ответственные за исправное состояние и безопасное действие сосуда	1
11	Сведения об установленной арматуре	1
12	Другие данные об установке сосуда	2
13	Сведения о замене и ремонте основных элементов сосуда и арматуры	
14	Запись результатов освидетельствования	4
15	Регистрация сосуда	1
16	Свидетельство о приемке и упаковывании	1
17	Обязательные приложения:	
	чертеж сосуда с указанием основных размеров;	1
	расчет на прочность сосуда;	16
	руководство по эксплуатации [включая регламент проведения в зимнее время пуска (остановки) сосуда]	12
18	Дополнительная документация изготовителя:	
	расчет пропускной способности предохранительного клапана	2

ЕАС		Сертификат соответствия № ЕАЭС RU C-BY.HB73.B.00354/22 Срок действия с 27.12.2022 г. по 26.12.2027 г.

Общие сведения о сосуде

Ресивер РВ500.11.____ с арматурой

наименование сосуда

Идентификационный (заводской) номер _____,

изготовлен _____

дата изготовления

ЗАО "РЕМЕЗА", ул. Александра Пушкина, 65, 247672, г. Рогачев, Гомельская обл.,

наименование и адрес изготовителя

Республика Беларусь

1 Техническая характеристика и параметры

Наименование частей сосуда		Корпус
Рабочее давление, МПа		1,1
Расчетное давление, МПа		1,1
Пробное давление испытания при изготовлении, МПа	гидравлическое	-
	пневматическое	1,65
Рабочая температура, °С		-
Расчетная температура стенки, °С		100
Минимальная допустимая температура стенки сосуда, находящегося под расчетным давлением, °С		0
Наименование рабочей среды		Воздух или азот
Характеристика рабочей среды	Класс опасности	Нет
	Взрывоопасность	Нет
	Пожароопасность	Нет
Прибавка для компенсации коррозии (эрозии) за назначенный срок службы, мм		0,75
Вместимость, $м^3$		0,5
Масса пустого сосуда, кг		125
Максимальная масса заливаемой рабочей среды*, кг		-
Назначенный и расчетный срок службы сосуда, лет		10
Число циклов нагружения за назначенный и расчетный срок службы		$4,9 \times 10^4$
Группа сосуда по таблице 1 ГОСТ 34347		Группа 4
Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013		Группа 2
*Для сосудов со сжиженными газами		

2 Сведения об основных частях сосуда

Наименование частей сосуда (обечайка, днище, решетка, трубы, рубашка и др.)	Количество, шт.	Размеры, мм			Материал	
		Диаметр наружный	Толщина стенки	Длина (высота)	Марка	Стандарт или технические условия*
Обечайка	1	608	3,6 min	1460	Ст3сп5	ГОСТ 380 ГОСТ 14637
Днище	2	608	4,0	196	Ст3сп5	ГОСТ 380 ГОСТ 14637

* Действуют только в Российской Федерации и государствах, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта.

3 Данные о штуцерах, фланцах, крышках и крепежных изделиях

Наименование	Количество, шт.			Размеры, мм, или номер по спецификации	Материал	
	PB500.11.00	PB500.11.01	PB500.11.02		Марка	Стандарт или технические условия*
Штуцер	1	1	1	3001.00.00.002	Сталь 20	ГОСТ 1050
Штуцер	1	1	1	3001.00.00.003	Сталь 20	ГОСТ 1050
Штуцер	-	2	-	3012.00.00.006	Сталь 20	ГОСТ 1050
Штуцер	2	-	-	3012.00.00.007	Сталь 20	ГОСТ 1050
Штуцер	2	2	4	3002.00.00.112	Сталь 20	ГОСТ 1050

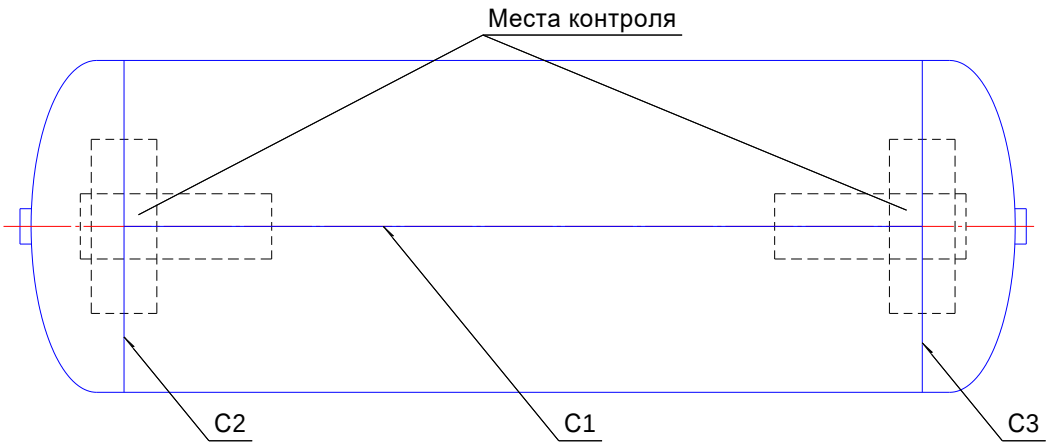
* Действуют только в Российской Федерации и государствах, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта.

4 Данные о предохранительных устройствах, основной арматуре, контрольно-измерительных приборах, приборах безопасности

Наименование	Количество, шт.	Место установки	Номинальный диаметр, мм	Номинальное давление, МПа	Материал корпуса	
					Марка	Стандарт
Клапан предохранительный 3/8", 1,1 МПа	1	Обечайка	6	2,5	Латунь	-
Кран шаровой 1/2"	1	Днище	15	2,5	Латунь	-
Манометр	1	Обечайка	-	1,6	Латунь	-

5 Данные о сварке и неразрушающем контроле сварных соединений

Обозначение сварного шва	Материал соединяемых элементов	Вид сварки	Тип сварного соединения	Электроды, сварочная проволока, припой (тип, марка, стандарт или технические условия*)	Метод нераз-рушающего контроля	Объем контроля, %	Номер и дата документа о проведении контроля	Оценка
С1 С2 С3	Сталь	Автомати-ческая под флюсом	стыковой	IMT 9 PN EN756: S2	Визуально-измерительный	100	Протокол испытаний б/н от	Соответствует ТУ РБ 400046213.017-2004
					Радиогра-фический	25	Протокол испытаний б/н от	



Эскиз №1 к разделу 5 – «Данные о сварке и неразрушающем контроле сварных соединений»

6 Данные о термообработке

Наимено-вание элемента	Номер и дата доку-мента	Вид термо-обработки	Темпера-тура термооб-работки, °С	Скорость, °С/ч		Продолжи-тельность выдержки, ч	Способ охлаждения
				нагрева	охлаж-дения		
-	-	-	-	-	-	-	-

Термообработка не предусмотрена

7 Данные о гидравлическом (пневматическом) испытании

Сосуд успешно прошел следующие испытания:

Вид и условия испытания		Испытываемая часть сосуда			
		Корпус	-	-	-
Гидравлическое испытание	Пробное давление, МПа	-	-	-	-
	Испытательная среда	-	-	-	-
	Температура испытательной среды, °С	-	-	-	-
	Продолжительность выдержки, ч (мин.)	-	-	-	-
Пневматическое испытание	Пробное давление, МПа	1,65	-	-	-
	Продолжительность выдержки, ч (мин.)	0,25 (15)	-	-	-
Положение сосуда при испытании*	горизонтальное	Да			
Положение сосуда при испытании*	вертикальное	-			
* В нужной графе указать «Да».					

8 Заключение

Сосуд изготовлен в полном соответствии с

Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 032/2013 О безопасности оборудования,

наименование, обозначение и дата утверждения документа

работающего под избыточным давлением от 02.07.2013, техническими условиями

ТУ РБ 400046213.017-2004 Ресиверы типа Р, РВ от 06.07.2004.

Сосуд подвергнут визуальному контролю и пневматическому испытанию пробным давлением согласно разделу 7.

Сосуд признан годным для работы с указанными в настоящем паспорте параметрами.

Гарантийный срок эксплуатации – 18 месяцев со дня продажи с отметкой в паспорте, но не более 24 месяцев со дня выпуска.

Ответственный руководитель изготовителя _____ _____

подпись расшифровка подписи

М. П.

Ответственный за технический контроль _____ _____

подпись расшифровка подписи

«_____» _____ г.

дата

9 Сведения о местонахождении сосуда

Наименование предприятия-владельца	Местонахождение сосуда	Дата установки

10 Ответственные за исправное состояние и безопасное действие сосуда

Номер и дата приказа о назначении	Должность, фамилия, имя, отчество ответственного	Подпись

11 Сведения об установленной арматуре

Дата	Наименование	Количество, шт.	Номинальный диаметр, мм	Номинальное давление, МПа	Материал (марка, стандарт или технические условия*)	Место установки	Подпись ответственного лица за исправное состояние и безопасное действие сосуда

* Действуют только в Российской Федерации и государствах, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта.

12 Другие данные об установке сосуда

а) коррозионность среды _____

б) противокоррозионное покрытие _____

в) тепловая изоляция _____

г) футеровка _____

д) схема подключения сосуда в установку (линию) _____

13 Сведения о замене и ремонте основных элементов сосуда и арматуры

Дата	Сведения о замене и ремонте	Подпись ответственного лица, проводившего работы

Дата	Сведения о замене и ремонте	Подпись ответственного лица, проводившего работы

14 Запись результатов освидетельствования

Освидетельствование		Разрешенное давление, МПа	Срок следующего освидетельствования
Дата	Результаты		

Освидетельствование		Разрешенное давление, МПа	Срок следующего освидетельствования
Дата	Результаты		

Освидетельствование		Разрешенное давление, МПа	Срок следующего освидетельствования
Дата	Результаты		

Освидетельствование		Разрешенное давление, МПа	Срок следующего освидетельствования
Дата	Результаты		

15 Регистрация сосуда

Сосуд зарегистрирован за № _____

в _____
регистрирующий орган

В паспорте пронумеровано и прошнуровано _____ страниц и _____ чертежей.

_____ _____ _____
должность представителя регистрирующего органа подпись Ф.И.О.

М.П.

«_____» _____ г.
дата

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ И УПАКОВЫВАНИИ

Ресивер **РВ500.11.** ☐ **с арматурой** **зав. №** _____ ,

объем **500** **л,**

рабочее давление **1,1** МПа,

соответствует требованиям ТУ РБ 400046213.017-2004 и признан годным к эксплуатации.

Упаковку произвёл _____

Дата выпуска " ____ " _____ 20 г.

Отметка ОТК _____ М.П.

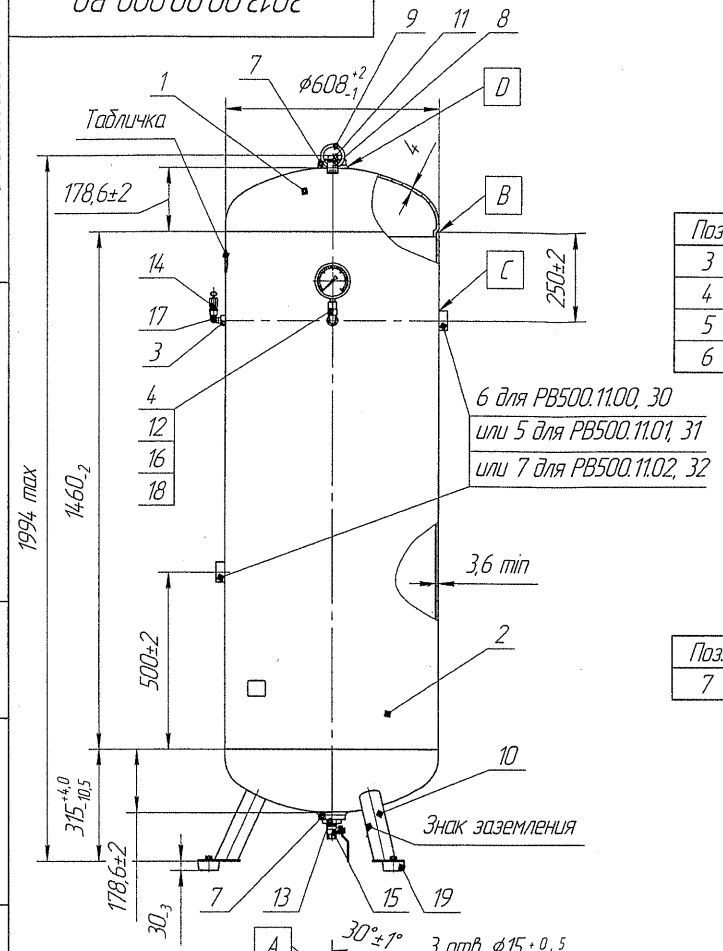
Предпродажная подготовка произведена:

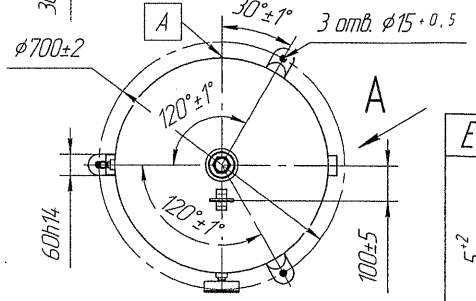
Дата продажи " ____ " _____ 20 г.

Реквизиты продавца _____

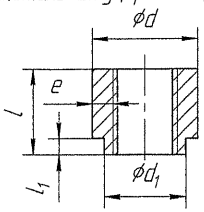
_____ М.П.

3013.00.00.000 ВО



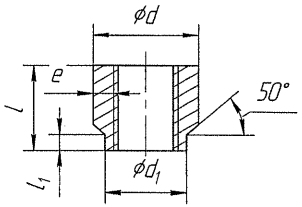


Деталь штуцер поз. 3, 4, 5, 6



Поз.	Резьба	ϕd	ϕd_1	l	l_1	e
3	G 3/8"	28	26	16	3	5,6
4	G 1/2"	32	26	16	3	5,5
5	G 1"	45	40	25	3	5,9
6	G 1 1/4"	56	50	25	5	7,0

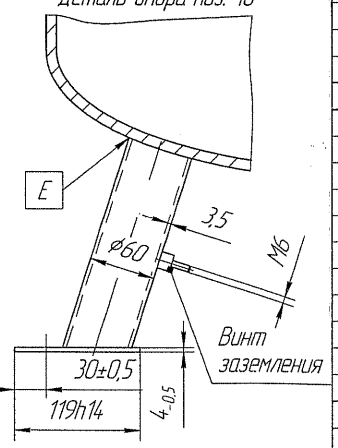
Деталь штуцер поз. 7

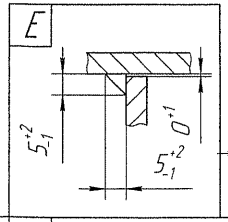


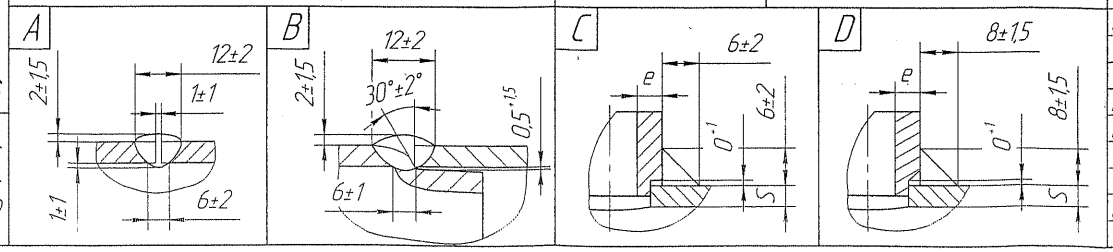
Поз.	Резьба	ϕd	ϕd_1	l	l_1	e
7	G 2"	75	65	25	4	7,7

A (1:5)

Деталь опора поз. 10







Условное обозначение (модель)	Покрытие
РВ500.11.00, РВ500.11.01, РВ500.11.02	Наружных поверхностей – порошковое полимерное по ГОСТ 9.410–88
РВ500.11.03, РВ500.11.04, РВ500.11.05 РВ500.11.30, РВ500.11.31, РВ500.11.32	Внутренних и наружных поверхностей – Гар. Ц50 Наружных поверхностей – порошковое полимерное ГОСТ 9.410–88
РВ500.11.06, РВ500.11.07, РВ500.11.08 РВ500.11.40, РВ500.11.41, РВ500.11.42	Внутренних и наружных поверхностей – порошковое полимерное по ГОСТ 9.410–88

Обозначение	Наименование	поз. 3	поз. 4	поз. 5	поз. 6	поз. 7
		Количество				
3013.00.00.000, –08, –11, –27, –30	РВ500.11.00, 03, 06, 30, 40	1	1	–	2	2
–01, –09, –12, –28, –31	РВ500.11.01, 04, 07, 31, 41	1	1	2	–	2
–02, –10, –13, –29, –32	РВ500.11.02, 05, 08, 32, 42	1	1	–	–	4

Поз.	Наименование	Кол-во	Обозначение (Код)	Основной материал: Марка	Основной материал: Норма
1	Днище	2	3004.00.00.115	Ст3сп5	ГОСТ 380
2	Обечайка	1	3005.00.00.101	Ст3сп5	ГОСТ 380
3	Штуцер	–	3001.00.00.002	Сталь 20	ГОСТ 1050
4	Штуцер	–	3001.00.00.003	Сталь 20	ГОСТ 1050
5	Штуцер	–	3012.00.00.006	Сталь 20	ГОСТ 1050
6	Штуцер 1 1/4"	–	3012.00.00.007	Сталь 20	ГОСТ 1050
7	Штуцер	–	3002.00.00.112	Сталь 20	ГОСТ 1050
8	Скоба	1	3012.00.00.001	Ст3сп5	ГОСТ 380
9	Кольцо	1	3012.00.00.002	Сталь 20	ГОСТ 1050
10	Опора	3	3004.00.00.400	–	–
11	Заглушка 2"	1	3040.00.00.048	–	–
12	Переходник 1/2" x M20x1,5	1	3013.00.00.001	–	–
13	Переходник M2"xF1/2" 10/F	1	4151600307	–	–
14	Клапан предохранительный с кольцом 3/8", 1,1 МПа	1	4252110201 5	–	–
15	Кран шаровой 1/2"	1	4111324000	–	–
16	Манометр МТ-100 0-1,6 МПа	1	4141501640	–	–
17	Угольник L-M-F-3/8"	1	4150203000	–	–
18	Угольник L-M(G1/2")-F(G1/2")	1	4150204001	–	–
19	Амортизатор ϕ60	3	4271000203	–	–

Техническая характеристика	РВ500.11.00, 01, 02	РВ500.11.03, 04, 05, 30, 31, 32	РВ500.11.06, 07, 08, 40, 41, 42
Рабочая среда	воздух, азот		
Рабочее давление, МПа	1,1		
Расчетное давление, МПа	1,1		
Пробное давление, МПа	1,65		
Минимальная температура стенки, °С	0		
Максимальная температура стенки, °С	100		
Коррозионная добавка, мм	0,75		
Вместимость, л	500±5%		
Масса, кг	125	132	125
Категория	4		
Расчетный срок службы, лет	10	15	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
5	Изм.	РО32-2024		05.04.2024
4	Зам.	Р146-2019		06.09.2019
Разраб.		Косаков		05.09.2019
Пров.				
Т.контр.		Зайцев		06.09.19
Н.контр.		Нагорная		06.09.19
Утв.		Рукан		

3013.00.00.000 ВО

Ресивер РВ500.11
с арматурой
Чертеж общего вида

Лит.	Масса	Масштаб
0_1	–	1:15

Лист | Листов 1

Перв. примен. 3013.00.00.000

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата 26.09.19

Инв. № подл. 8224

ЗАО "Ремеза"

РЕСИВЕРЫ

РВ500.11.00, РВ500.11.01, РВ500.11.02

Расчет на прочность

3012.00.00.000 РР

2023

Введение

Задачей расчета является проверка элементов ресиверов РВ500.11.00 и его исполнений, объёмом 500 л, на прочность в условиях эксплуатации при температуре от 0 °С до 100 °С.

Расчет выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 34233.1, ГОСТ 34233.2, ГОСТ 34233.3, ГОСТ 34233.5.

1 Данные для расчета

1.1 Техническая характеристика ресивера

Рабочая среда	воздух или азот
Рабочее давление, P_p	1,1 МПа
Расчетное давление, p	1,1 МПа
Расчетная температура стенки, T	100 °С
Минимальная допустимая температура стенки сосуда, находящегося под расчетным давлением,	0 °С
Вместимость, V	0,5 м^3
Назначенный или расчетный срок службы сосуда, $t_н$	10 лет
Число циклов нагружения за назначенный срок службы, N	49000
Группа сосуда по таблице 1 ГОСТ 34347	4

1.2 Геометрические параметры ресивера

Внутренний диаметр ресивера, D	600 мм
Минимальная толщина стенки обечайки, s_{min}	3,6 мм
Номинальная толщина стенки днищ, s_1	4,0 мм

1.3 Геометрические параметры днища

Форма днищ	Торосферическая
Тип днищ	С
Наружный диаметр днища, D_1	608 мм
Внутренний радиус сферической части днища, R	488 мм
Внутренний радиус тороидальной части днища, r_1	94 мм

1.4 Геометрические параметры штуцеров указаны в таблице 1

Таблица 1 – Геометрические параметры штуцеров

В миллиметрах

Штуцер	Внутренний диаметр, d	Толщина стенки, s_1	Длина, l_1	Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b		
				PB500.11.00	PB500.11.01	PB500.11.02
3001.00.00.002 Штуцер (3/8")	16,662	5,669	13,0	447,5	447,5	447,5
3001.00.00.003 Штуцер (1/2")	20,955	4,522	13,0	444,5	439	454
3002.00.00.112 Штуцер (2")	59,614	7,693	21,0	-	-	454
3012.00.00.006 Штуцер (1")	33,249	5,876	15,0	444,5	-	-
3012.00.00.007 Штуцер (1 1/4")	41,910	7,045	20,0	-	439	-

1.5 Расчетные усилия

За расчетное усилие принимаем внутреннее давление рабочей среды при расчетной температуре.

1.6 Конструкционные материалы, их физико-механические и прочностные характеристики

Для изготовления ресивера применяются следующие конструкционные материалы:

- сталь марки Ст3сп по ГОСТ 380 с гарантией свариваемости. Прокат по ГОСТ 14637. Используется для изготовления обечайки и днищ;
- сталь марки 20 ГОСТ 1050, используется для изготовления штуцеров.

1.7 Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности

Допускаемые напряжения $[\sigma]_t$, МПа, для рабочих условий принимаем по таблице А.1, ГОСТ 34233.1:

- для стали марки Ст3сп:

при температуре 20 °С – $[\sigma]_{20} = 154$;

при температуре 100 °С – $[\sigma]_{100} = 149$.

- для стали марки 20:

при температуре 20 °С – $[\sigma]_{20} = 147$;

при температуре 100 °С – $[\sigma]_{100} = 142$.

Допускаемое напряжение [σ], МПа, в условиях гидравлических испытаний при температуре 20 °С вычисляется по формуле (5) ГОСТ 34233.1

$$[\sigma] = \eta \frac{R_e}{n_T},$$

где $\eta = 1$ – поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям (8.3 ГОСТ 34233.1);

$n_T = 1{,}1$ – коэффициент запаса прочности по пределу текучести для условий гидравлический испытаний (таблица 1 ГОСТ 34233.1);

R_e – предел текучести.

Предел текучести при температуре 20 °С принимаем по ГОСТ 34233.1, МПа:

- для стали марки Ст3сп – $R_e = 250$;
- для стали марки 20 – $R_e = 220$;

Для стали марки Ст3сп

$$[\sigma] = 1 \cdot \frac{250}{1{,}1} = 227{,}27.$$

Для стали марки 20

$$[\sigma] = 1 \cdot \frac{220}{1{,}1} = 200.$$

1.8 Коэффициенты прочности сварных швов

$\varphi_p = 0{,}8$ – коэффициент прочности стыкового сварного шва обечайки, выполненного автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой подкладкой. Длина контролируемых швов от 10% до 50% от общей длины (таблица Д.1 ГОСТ 34233.1).

$\varphi_p = 1$ – коэффициент прочности сварного шва для днища, изготовленного из одной заготовки (6.3.1.5 ГОСТ 34233.2).

$\varphi = 1$ – коэффициент прочности сварного шва обечайки при расчете укрепления отверстий (5.2.3 ГОСТ 34233.3).

$\varphi_1 = 1$ – коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера (5.2.3 ГОСТ 34233.3).

1.9 Определение величины пробного давления при испытании

Пробное давление при гидравлических испытаниях $p_{пр}$, МПа, вычисляется по формуле (4) ГОСТ 34347

$$p_{пр} = 1{,}25p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{100}},$$

$$p_{пр} = 1{,}25 \cdot 1{,}1 \cdot \frac{154}{149} = 1{,}4.$$

Принимаем пробное давление $p_{пр} = 1{,}65$.

1.10 Прибавки к расчетным толщинам

Прибавка к расчетной толщине вычисляется по формуле согласно ГОСТ 34233.1

$$c = c_1 + c_2 + c_3,$$

где $c_1 = \nu \cdot t$ – прибавка для компенсации коррозии, мм;

ν = 0,075 мм/год – скорость коррозии;

$t = t_н$ = 10 лет – расчетный срок службы ресивера;

c_2 – прибавка на допуск при изготовлении, определяется по чертежам и равна отрицательному допуску на толщину стенки, мм;

c_3 – технологическая прибавка на компенсацию утонения стенки элемента при технологических операциях, мм.

Значения прибавок для рассчитываемых элементов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения прибавок для рассчитываемых элементов

В миллиметрах

Элемент	c_1	c_2	c_3	c
Обечайка	0,75	0,00	0	0,75
Днище	0,75	0,50	0,3	1,55
Штуцер	0,75	0,31	0	1,06

2 Расчет обечайки на прочность

2.1 Условия применения расчетных формул

$$\frac{s - c}{D} \leq 0{,}1 \text{ при } D \geq 200,$$

$$\frac{3{,}6 - 0{,}75}{600} = 0{,}0048 < 0{,}1,$$

Условие выполняется.

2.2 Расчетная толщина стенки обечайки s_p, мм, вычисляется по формуле (2) ГОСТ 34233.2

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2[\sigma]_{100} \cdot \varphi_p - p} = \frac{1{,}1 \cdot 600}{2 \cdot 149 \cdot 0{,}8 - 1{,}1} = 2{,}78.$$

2.3 Толщина стенки s, мм, с учетом прибавки вычисляется по формуле (1) ГОСТ 34233.2

$$s \geq s_p + c,$$
$$3{,}6 \geq 2{,}78 + 0{,}75,$$
$$3{,}6 > 3{,}53.$$

Заключение: Из расчета толщины стенки, обечайка, изготовленная из листа минимальной толщиной 3,6 мм, удовлетворяет требованиям прочности по ГОСТ 34233.2.

2.4 Допускаемое внутреннее избыточное давление для обечайки [p], МПа, в условиях гидравлических испытаний вычисляется по формуле (3) ГОСТ 34233.2

$$[p] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 227{,}27 \cdot 0{,}8 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}{600 + 4{,}0 - 0{,}75} = 1{,}71.$$

Заключение: Пробное давление $p_{пр}$, равное 1,65 МПа, меньше допускаемого внутреннего избыточного [p], равного 1,71 МПа. По внутреннему допускаемому избыточному давлению обечайка, изготовленная из листа минимальной толщиной 3,6 мм в условиях гидравлических испытаний, удовлетворяет требованиям ГОСТ 34233.2.

3 Расчет на прочность днища

3.1 Условие применения расчетных формул для торосферических днищ:

$0{,}002 \le \frac{s_1 - c}{D} \le 0{,}100,$ $\quad 0{,}002 \le \frac{4 - 1{,}55}{608} \le 0{,}100,$ $\quad 0{,}002 < 0{,}0040 < 0{,}100;$

Условие выполняется.

3.2 Расчетная толщина стенки днища s_{1p}, мм, вычисляется по формуле (54) ГОСТ 34233.2

$$s_{1p} = \frac{p \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2\varphi \cdot [\sigma]_{100}},$$

β_1 – коэффициент, определяемый по графику (рисунок 10 ГОСТ 34233.2),

$$\beta_1 = 1{,}086.$$

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot 608 \cdot 1{,}086}{2 \cdot 1 \cdot 149} = 2{,}43.$$

Толщина стенки s_1, мм, с учетом прибавки вычисляется по формуле (53) ГОСТ 34233.2

$$s_1 \ge s_{1p} + c,$$
$$4{,}0 \ge 2{,}43 + 1{,}55,$$
$$4{,}0 > 3{,}98.$$

3.3 Допускаемое внутреннее избыточное давление для днища [p], МПа, в условиях гидравлических испытаний вычисляется по формуле (57) ГОСТ 34233.2

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(s_1 - c)}{D_1 \cdot \beta_2},$$

где β_2 – коэффициент, определяемый по графику (рисунок 11 ГОСТ 34233.2)

$$\beta_2 = 1{,}108.$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 227{,}27 \cdot 1(4{,}0 - 1{,}55)}{608 \cdot 1{,}108} = 1{,}658.$$

Заключение: Пробное давление $p_{пр}$, равное 1,65 МПа, меньше допускаемого избыточного [p], равного 1,658 МПа. По внутреннему допускаемому избыточному давлению днище, изготовленное из листа минимальной толщиной 3,6 мм, в условиях гидравлических испытаний удовлетворяет требованиям ГОСТ 34233.2.

4 Расчет укрепления отверстия в обечайке

4.1 Расчетный диаметр обечайки D_p , мм, вычисляется по формуле (3) ГОСТ 34233.3

$$D_p = D'_p = D''_p = D = 600.$$

4.2 Расчетные диаметры отверстий в обечайке d_p , мм, вычисляются по формуле (8) ГОСТ 34233.3

Для штуцера 3001.00.00.002

$$d_p = d + 2c_s = 16{,}662 + 2 \cdot 1{,}06 = 18{,}782.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$d_p = d + 2c_s = 20{,}955 + 2 \cdot 1{,}06 = 23{,}075.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$d_p = d + 2c_s = 59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06 = 61{,}734.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$d_p = d + 2c_s = 33{,}249 + 2 \cdot 1{,}06 = 35{,}369.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$d_p = d + 2c_s = 41{,}910 + 2 \cdot 1{,}06 = 44{,}030.$$

4.3 Расчетная толщина стенки штуцера s_{1p}, мм, вычисляется по формуле (16) ГОСТ 34233.3

$$s_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2c_s)}{2\varphi_1 \cdot [\sigma]_1 - p}$$

Для штуцера 3001.00.00.002

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (16{,}662 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}073\,.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (20{,}955 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}089\,.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}240\,.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (33{,}249 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}137\,.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (41{,}910 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}171\,.$$

4.4 Проверка условия отсутствия влияния ближайших отверстий – по формуле (25) ГОСТ 34233.3

$$b \geq \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)}.$$

Для штуцера 3001.00.00.002

$$447{,}5 \geq \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} + \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}.$$

$$447{,}5 \geq 82{,}70.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$439 \geq \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} + \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}.$$
$$439 \geq 82{,}70.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$454 \geq \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} + \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}.$$
$$454 \geq 82{,}70.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$444{,}5 \geq \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} + \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}.$$
$$444{,}5 \geq 82{,}70.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$439 \geq \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} + \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}.$$
$$439 \geq 82{,}70.$$

Заключение: Отверстия для штуцеров 3001.00.00.002, 3001.00.00.003, 3002.00.00.112, 3012.00.00.006 и 3012.00.00.007 являются одиночным, так как ближайшие отверстия не оказывают на них влияние.

4.5 Расчетный диаметр одиночного отверстия в обечайке, не требующего укрепления d_0, мм, вычисляются по формуле (26) ГОСТ 34233.3

$$d_0 = \min\left\{2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{pn}} - 0{,}8\right)\sqrt{D_p \cdot (s - c)}; (d_{max} + 2c_s)\right\},$$

где $s_{pn} = s_p$ – в случае работы сосуда под внутренним избыточным давлением, согласно формуле (28) ГОСТ 34233.3 и высчитывается по формуле (2) ГОСТ 34223.2, мм,

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2[\sigma]_{100} \cdot \varphi_p - p} = \frac{1{,}1 \cdot 600}{2 \cdot 149 \cdot 0{,}8 - 1{,}1} = 2{,}78.$$

$d_{max} = D$ – для отверстий в цилиндрических обечайках, согласно формуле (27) ГОСТ 34233.3;

$$d_0 = \min\left\{2 \cdot \left(\frac{3{,}6 - 0{,}75}{2{,}78} - 0{,}8\right)\sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}; (600 + 2 \cdot 1{,}06)\right\} =$$
$$= \min\{18{,}62; 602{,}12\} = 18{,}62.$$

4.6 Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию

$$d_p \leq d_0$$

и на узел врезки не действуют никакие нагрузки, кроме давления, то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется.

Для штуцера 3001.00.00.002

$$18{,}782 > 18{,}62.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$23{,}075 > 18{,}62.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$61{,}734 > 18{,}62.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$35{,}369 > 18{,}62.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$44{,}030 > 18{,}62.$$

Расчетные диаметры отверстий для штуцеров 3001.00.00.002, 3001.00.00.003, 3012.00.00.006, 3012.00.00.007 и 3002.00.00.112 превышают наибольший допустимый диаметр отверстия в обечайке, не требующего укрепления. Требуется провести дополнительный расчёт на прочность элемента сосуда, ослабленного отверстиями.

4.7 Допускаемое внутреннее избыточное давление элемента сосуда в условиях гидравлических испытаний [p], МПа, с учётом ослабления стенки отверстием для штуцеров, вычисляется по формуле (31) ГОСТ 34233.3

$$[p] = \frac{2K_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c) \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V},$$

где $K_1 = 1$ для цилиндрических обечаек (5.3.2.1, ГОСТ 34233.3);

V – коэффициент снижения прочности стенки сосуда, ослабленной одиночным отверстием вычисляется по формуле (32) ГОСТ 34233.3

$$V = \min\left\{\frac{(s_0 - c)}{(s - c)}; \frac{x_4 + \dfrac{l_{1p}(s_1 - c_s) \cdot x_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot x_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot x_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0{,}5 \cdot \dfrac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \dfrac{d + 2c_s}{D_p} \cdot \left(\dfrac{\varphi}{\varphi_1}\right) \cdot \left(\dfrac{l_{1p}}{l_p}\right)}\right\},$$

d_{op}- расчётный диаметр отверстия, не требующего укрепления в стенке обечайки при отсутствии избыточной толщены стенки, мм

$$d_{op} = 0{,}4\sqrt{D_p(s - c)} = 0{,}4\sqrt{600 \cdot (4 - 1{,}15)} = 16{,}54.$$

x_1 - коэффициент для внешней части штуцера (5.2.7, ГОСТ 34233.3)

$$x_1 = \min\left\{1; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\left\{1; \frac{200}{227{,}27}\right\} = \min\{1; 0{,}88\} = 0{,}88.$$

x_2 – коэффициент, учитывающий применение накладного кольца (5.2.7 ГОСТ 34233.3). $x_2 = 0$, т.к. накладное кольцо не применяется;

x_3 – коэффициент, учитывающий внутреннюю часть штуцера (5.2.7, ГОСТ 34233.3). $x_3 = 0$, т.к. отсутствует внутренняя часть штуцера;

x_4 – коэффициент, учитывающий использование торообразной вставки и вварного кольца. $x_4 = 1$, т.к. не применяется вварное кольцо или торообразные вставки (5.3.2.1 ГОСТ 34233.3);

l_p – расчётная ширина зоны укрепления отверстия, мм, (5.2.6.2 ГОСТ 34233.3)

$$l_p = L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \sqrt{600 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)} = 41{,}35.$$

l_{1p} – расчётная длина внешней части штуцера с круглым поперечным сечением вычисляют по формуле (17) ГОСТ 34233.3, мм

$$l_{1p} = \min\left\{l_1; 1{,}25\sqrt{(d + 2c_s) \cdot (s_1 - c_1)}\right\}$$

Для штуцера 3001.00.00.002

$$l_{1p} = \min\left\{13; 1{,}25\sqrt{(16{,}662 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (5{,}669 - 1{,}06)}\right\} = \min\{13; 11{,}63\} = 11{,}63.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$l_{1p} = \min\left\{13; 1{,}25\sqrt{(20{,}955 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (4{,}522 - 1{,}06)}\right\} = \min\{13; 11{,}17\} = 11{,}17.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$l_{1p} = \min\left\{21; 1{,}25\sqrt{(59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (7{,}693 - 1{,}06)}\right\} = \min\{21; 25{,}29\} = 21.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$l_{1p} = \min\left\{15; 1{,}25\sqrt{(33{,}249 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (5{,}876 - 1{,}06)}\right\} = \min\{15; 16{,}31\} = 15.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$l_{1p} = \min\left\{20; 1{,}25\sqrt{(41{,}910 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (7{,}045 - 1{,}06)}\right\} = \min\{20; 20{,}29\} = 20.$$

Для штуцера 3001.00.00.002

$$V = \min\left\{\frac{(3{,}6 - 0{,}75)}{(3{,}6 - 0{,}75)}; \frac{1 + \frac{11{,}63 \cdot (5{,}669 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{41{,}35 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{18{,}782 - 16{,}54}{41{,}35} + 1 \cdot \frac{16{,}662 + 2 \cdot 1{,}06}{600} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{11{,}63}{41{,}35}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}44\} = 1.$$

Для штуцера 3001.00.00.003

$$V = \min\left\{\frac{(3{,}6 - 0{,}75)}{(3{,}6 - 0{,}75)}; \frac{1 + \frac{11{,}17 \cdot (4{,}522 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{41{,}35 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{23{,}075 - 16{,}54}{41{,}35} + 1 \cdot \frac{20{,}955 + 2 \cdot 1{,}06}{600} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{11{,}17}{41{,}35}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}31\} = 1.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$V = \min\left\{\frac{(3{,}6 - 0{,}75)}{(3{,}6 - 0{,}75)}; \frac{1 + \frac{21 \cdot (7{,}693 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{41{,}35 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{61{,}734 - 16{,}54}{41{,}35} + 1 \cdot \frac{59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06}{600} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{21}{41{,}35}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}27\} = 1.$$

Для штуцера 3012.00.00.006

$$V = \min\left\{\frac{(3{,}6 - 0{,}75)}{(3{,}6 - 0{,}75)}; \frac{1 + \frac{15 \cdot (5{,}876 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{41{,}35 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{35{,}369 - 16{,}54}{41{,}35} + 1 \cdot \frac{33{,}249 + 2 \cdot 1{,}06}{600} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{15}{41{,}35}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}13\} = 1.$$

Для штуцера 3012.00.00.007

$$V = \min\left\{\frac{(3{,}6 - 0{,}75)}{(3{,}6 - 0{,}75)}; \frac{1 + \frac{20 \cdot (7{,}045 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{41{,}35 \cdot (3{,}6 - 0{,}75)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{44{,}03 - 16{,}54}{41{,}35} + 1 \cdot \frac{41{,}91 + 2 \cdot 1{,}06}{600} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{20}{41{,}35}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}38\} = 1.$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 227{,}72 \cdot (3{,}6 - 0{,}75) \cdot 1}{600 + (3{,}6 - 0{,}75) \cdot 1} = 2{,}14.$$

Заключение: Пробное давление $p_{пр}$, равное 1,65 МПа, меньше допускаемого избыточного [p] с учётом ослабления стенки отверстием, равного 2,14 МПа. По внутреннему допускаемому избыточному давлению обечайка, изготовленное из листа минимальной толщиной 3,6 мм в условиях гидравлических испытаний, удовлетворяет требованиям ГОСТ 34233.2.

5 Расчет укрепления отверстия в днище

5.1 Расчетный диаметр днища D_p , мм, для торосферических днищ вычисляется по формуле (7) ГОСТ 34233.3

$$D_p = 2 \cdot R,$$

$$D_p = 2 \cdot 488 = 976.$$

5.2 Расчетный диаметр отверстия в днище d_p, мм, вычисляется по формуле (8) ГОСТ 34233.3. Для штуцера 3002.00.00.112

$$d_p = d + 2c_s = 59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06 = 61{,}734.$$

5.3 Расчетная толщина стенки штуцера s_{1p}, мм, вычисляется по формуле (16) ГОСТ 34233.3

$$s_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2c_s)}{2 \cdot \varphi_1 \cdot [\sigma]_1 - p}.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$s_{1p} = \frac{1{,}1 \cdot (59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06)}{2 \cdot 1 \cdot 142 - 1{,}1} = 0{,}240\,.$$

5.4 Проверка условия отсутствия влияния ближайших отверстий.

Отверстие является одиночным ввиду отсутствия иных отверстий.

5.5 Расчетный диаметр одиночного отверстия в днище, не требующего укрепления d_0, мм, вычисляют по формуле (26) ГОСТ 34233.3

$$d_0 = \min\left\{2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{pn}} - 0{,}8\right)\sqrt{D_p \cdot (s - c)}; (d_{max} + 2c_s)\right\},$$

где $s_{pn} = s_p$ – в случае работы сосуда под внутренним избыточным давлением, согласно формуле (28) ГОСТ 34233.3 и вычисляется по формуле (54).ГОСТ 34233.2, мм,

$$s_p = \frac{p \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2 \cdot [\sigma]_{100} \cdot \varphi_p} = \frac{1{,}1 \cdot 608 \cdot 1{,}086}{2 \cdot 149 \cdot 1} = 2{,}43.$$

$d_{max} = 0{,}6 \cdot D = 360$ – для отверстий выпуклых днищ, согласно формуле (27) ГОСТ 34233.3.

$$d_0 = \min\left\{2 \cdot \left(\frac{4 - 1{,}55}{2{,}43} - 0{,}8\right)\sqrt{976 \cdot (4 - 1{,}55)}; (360 + 2 \cdot 1{,}06)\right\} = \min\{20{,}36; 362{,}12\}.$$

$$d_0 = 20{,}36$$

5.6 Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию

$$d_p \leq d_0$$

и на узел врезки не действуют никакие нагрузки, кроме давления, то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется.

Для штуцера 3002.00.00.112

$$61{,}734 > 20{,}36.$$

Расчётный диаметр отверстий для штуцера 3002.00.00.112 превышает наибольший допустимый диаметр отверстия в днище, не требующего укрепления.

5.7 Допускаемое внутреннее избыточное давление элемента сосуда в условиях гидравлических испытаний [p], МПа, с учётом ослабления стенки отверстием для штуцера 3002.00.00.112, вычисляется по формуле (31) ГОСТ 34233.3

$$[p] = \frac{2K_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c) \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V},$$

где $K_1 = 2$ для выпуклых днищ (5.3.2.1, ГОСТ 34233.3);

V – коэффициент снижения прочности стенки сосуда, ослабленной одиночным отверстием вычисляется по формуле (32) ГОСТ 34233.3

$$V = \min\left\{\frac{(s_0 - c)}{(s - c)}; \frac{x_4 + \dfrac{l_{1p}(s_1 - c_s) \cdot x_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot x_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot x_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0{,}5 \cdot \dfrac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \dfrac{d + 2c_s}{D_p} \cdot \left(\dfrac{\varphi}{\varphi_1}\right) \cdot \left(\dfrac{l_{1p}}{l_p}\right)}\right\},$$

d_{op}- расчётный диаметр отверстия, не требующего укрепления в стенке днища при отсутствии избыточной толщены стенки, мм

$$d_{op} = 0{,}4\sqrt{D_p(s - c)} = 0{,}4\sqrt{976 \cdot (4 - 1{,}55)} = 19{,}55.$$

x_1 - коэффициент для внешней части штуцера (5.2.7, ГОСТ 34233.3)

$$x_1 = \min\left\{1; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\left\{1; \frac{200}{227{,}27}\right\} = \min\{1; 0{,}88\} = 0{,}88.$$

x_2 – коэффициент, учитывающий применение накладного кольца (5.2.7 ГОСТ 34233.3). $x_2 = 0$, т.к. накладное кольцо не применяется;

x_3 – коэффициент, учитывающий внутреннюю часть штуцера (5.2.7, ГОСТ 34233.3). $x_3 = 0$, т.к. отсутствует внутренняя часть штуцера;

x_4 – коэффициент, учитывающий использование торообразной вставки и вварного кольца. $x_4 = 1$, т.к. не применяется вварное кольцо или торообразные вставки (5.3.2.1 ГОСТ 34233.3);

l_p – расчётная ширина зоны укрепления отверстия, мм, (5.2.6.2 ГОСТ 34233.3)

$$l_p = L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \sqrt{976 \cdot (4 - 1{,}55)} = 48{,}89.$$

l_{1p} – расчётная длина внешней части штуцера с круглым поперечным сечением вычисляют по формуле (17) ГОСТ 34233.3, мм

$$l_{1p} = \min\left\{l_1; 1{,}25\sqrt{(d + 2c_s) \cdot (s_1 - c_1)}\right\}$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$l_{1p} = \min\left\{21; 1{,}25\sqrt{(59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06) \cdot (7{,}693 - 1{,}06)}\right\} = \min\{21; 25{,}29\} = 21.$$

Для штуцера 3002.00.00.112

$$V = \min\left\{\frac{(4 - 1{,}55)}{(4 - 1{,}55)}; \frac{1 + \frac{21 \cdot (7{,}693 - 1{,}06) \cdot 0{,}88 + 0 + 0}{48{,}89 \cdot (4 - 1{,}55)}}{1 + 0{,}5 \cdot \frac{61{,}734 - 19{,}55}{48{,}89} + 2 \cdot \frac{59{,}614 + 2 \cdot 1{,}06}{976} \cdot \left(\frac{1}{1}\right) \cdot \left(\frac{21}{48{,}89}\right)}\right\}.$$

$$V = \min\{1; 1{,}35\} = 1.$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 227{,}27 \cdot (4 - 1{,}55) \cdot 1}{976 + (4 - 1{,}55) \cdot 1} = 2{,}73.$$

<u>Заключение</u>: Пробное давление $p_{пр}$, равное 1,65 МПа, меньше допускаемого избыточного [p] с учётом ослабления стенки отверстием, равного 2,73 МПа. По внутреннему допускаемому избыточному давлению днище, изготовленное из листа номинальной толщиной 4,0 мм в условиях гидравлических испытаний, удовлетворяет требованиям ГОСТ 34233.2.

6 Расчёт опор на прочность и устойчивость

6.1 Расчётная схема опор представлена на рисунке 1.

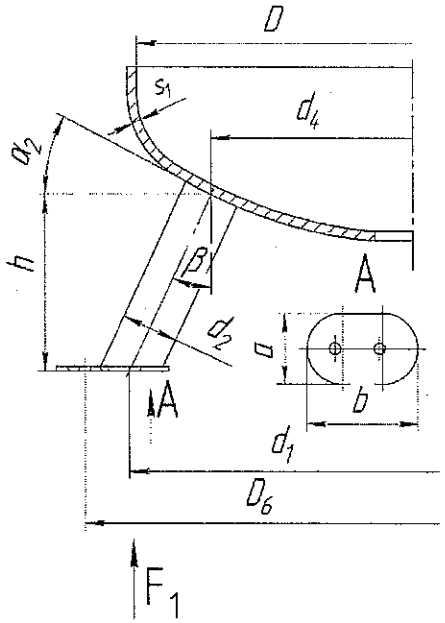


Рисунок 1 – Расчётная схема опор

6.2 Основные размеры опор приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные размеры опор В миллиметрах

D	D_6	d_1	d_2	d_4	a	b	h
600	700	605	60	430	60	100	194

Продолжение таблицы 3 В градусах

α_2	β
25	25

6.3 Вертикальное усилие на опорную стойку F_1, Н, определяется по формуле (67) ГОСТ 34233.5

$$F_1 = \frac{G}{3} + \frac{M}{0{,}75 \cdot d_4},$$

где G – собственный вес сосуда, Н.

$$G = m \cdot g = 125 \cdot 9{,}81 = 1226{,}25.$$

M – расчётный изгибающий момент, действующий на днище в сечении, где расположены опорные узлы. M = 0, т.к. опорные стойки не связаны между собой жёсткой рамой (8.3.3 ГОСТ 34233.5)

$$F_1 = \frac{1226.25}{3} + \frac{0}{0{,}75 \cdot 430} = 408{,}75.$$

6.4 Допускаемое осевое усилие $[F]_1$, Н, вычисляется по формуле (72) ГОСТ 34233.5

$$[F]_1 = 1{,}57 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{d_e^2}{r_m \cdot (s_1 - c)}},$$

где $d_e = d_2$ для опорных стоек без подкладного листа, мм;

r_m – радиус кривизны срединной поверхности днища у опорной окружности, мм. Для торосферического днища типа С $r_m = 0{,}8 \cdot D = 488$ мм.

$$[F]_1 = 1{,}57 \cdot 177 \cdot (4 - 1{,}55) \cdot \frac{0{,}906}{1} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{60^2}{488 \cdot (4 - 1{,}55)}} = 2467.$$

6.5 Несущая способность днища должна удовлетворять условиям (70) ГОСТ 34233.5

$$\frac{F_1 - p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}}{[F]_1} + \frac{p}{[p]} \leq 1,$$

$$\frac{F_1}{[F]_1} \leq 1.$$

Проверка выполнения условий

$$\frac{408{,}75 - 1{,}1 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 60^2}{4}}{2467} + \frac{1{,}1}{1{,}93} \leq 1,$$

$$-0{,}52 \leq 1;$$

$$\frac{408{,}75}{2467} \leq 1;$$

Условия выполняются.

Заключение: Прочность и устойчивость цилиндрических опор без подкладного листа удовлетворяет требованиям ГОСТ 34233.5.

7 Заключение

Обечайка, днище, опоры, сварные соединения обечайка-штуцер, днище-штуцер по прочности удовлетворяют требованиям ГОСТ 34233.1, ГОСТ 34233.2 и ГОСТ 34233.3, ГОСТ 34233.5.

Нормативные ссылки

ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.

ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированной конструкционной качественной и специальной стали. Общие технические условия.

ГОСТ 14637-89 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия.

ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.

ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.

ГОСТ 34347-2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.

Ресиверы типа РВ

Руководство по эксплуатации

3013.00.00.000 РЭ

СОДЕРЖАНИЕ

1 НАЗНАЧЕНИЕ ---- 3
2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПАРАМЕТРЫ ---- 3
3 УСТРОЙСТВО ---- 3
4 МАРКИРОВКА ---- 4
5 ТРЕБОВАНИЯ К ОБСЛУЖИВАЮЩЕМУ ПЕРСОНАЛУ ---- 4
6 ИНСТРУКЦИЯ ПО МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ---- 4
6.1 МОНТАЖ ---- 4
6.2 ПУСК И ОСТАНОВКА ---- 5
6.3 УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ---- 6
6.4 РЕГЛАМЕНТ ПРОВЕДЕНИЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ПУСКА (ОСТАНОВКИ) СОСУДА ---- 7
7 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ---- 8
7.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ---- 8
7.2 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ---- 9
7.3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ ---- 9
7.4 РЕМОНТ ---- 9
7.5 КРИТЕРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ---- 10
8 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ---- 10
9 ХРАНЕНИЕ ---- 11
10 УТИЛИЗАЦИЯ ---- 11

Настоящее руководство по эксплуатации является документом, содержащим техническое описание ресивера типа РВ (далее – ресивер), а так же указания по монтажу, эксплуатации, техническому обслуживанию, транспортированию и хранению ресивера.

Перед началом эксплуатации ресивера обслуживающий персонал должен внимательно прочитать данное руководство по эксплуатации и строго выполнять все содержащиеся в руководстве инструкции, чтобы обеспечить безопасность и исправную работу ресивера.

Наименование, местонахождение и контактная информация о изготовителе ресивера указана в паспорте сосуда.

1 НАЗНАЧЕНИЕ

1.1 Ресивер предназначен для использования в пневматических системах, и служит для создания запаса воздуха или азота, и сглаживания пульсаций давления в воздухопроводах при работе компрессорной установки.

2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПАРАМЕТРЫ

2.1 Техническая характеристика и параметры ресивера указаны на паспортной табличке, прикрепленной к ресиверу и в паспорте ресивера.

3 УСТРОЙСТВО

3.1 Ресивер является необогреваемым сосудом, работающими под давлением, который представляет собой сварную конструкцию, имеющую простую геометрическую форму.

3.2 Ресиверы состоят из цилиндрической обечайки и двух выпуклых наружу днищ, которые имеют те же оси, что и обечайка или могут состоять только из двух выпуклых наружу днищ с общей осью. Обечайка с днищами соединяется методом сварки. На обечайке и днищах ресивер имеет штуцеры, диаметр которых не более 0,5 диаметра цилиндра, к которому они приварены. Штуцеры предназначены для установки на ресивер предохранительных устройств, основной арматуры, контрольно-измерительных приборов и приборов безопасности, а также для подвода и отвода рабочей среды. Штуцеры так же являются лючками для осмотра внутренней поверхности ресивера. Для установки ресиверов к нижнему днищу приварены опоры.

4 МАРКИРОВКА

4.1 К ресиверу крепится паспортная табличка. Паспортная табличка содержит следующие данные:

- товарный знак изготовителя;
- условное обозначение (модель) ресивера;
- порядковый номер (заводской номер) по системе нумерации изготовителя;
- расчётное давление Р, МПа;
- пробное давление П, МПа;
- минимальная температура стенки при эксплуатации Тмин, °С;
- максимальная температура стенки при эксплуатации Тмакс, °С;
- вместимость V, л;
- масса ресивера М, кг;
- год изготовления;
- клеймо ОТК изготовителя;
- единый знак обращения продукции на рынке государств-членов таможенного союза.

5 ТРЕБОВАНИЯ К ОБСЛУЖИВАЮЩЕМУ ПЕРСОНАЛУ

5.1 К обслуживанию ресивера могу быть допущены лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и признанные годными к данному виду работ, обученные по соответствующей программе, аттестованные и имеющие удостоверение на право обслуживания сосудов, работающих под давлением.

5.2 Остальные требования к персоналу в соответствии с требованиями региональных правил промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением.

6 ИНСТРУКЦИЯ ПО МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1 МОНТАЖ

6.1.1 Монтаж ресивера должен выполняться в соответствии с требованиями, изложенными в настоящем руководстве по эксплуатации.

6.1.2 До начала монтажа необходимо проверить комплектность поставки и общее состояние ресивера. Обнаруженные повреждения, возникшие при транспортировке, проведении погрузочно-разгрузочных работ или хранении необходимо устранить.

6.1.3 Ресивер должен устанавливаться в помещении, в местах исключающих скопление людей и не должен находиться вблизи источников тепла, горючих летучих веществ и веществ, вызывающих повышенную коррозию материала, из

для удобства обслуживания и ремонта.

6.1.4 Ресивер должен быть установлен без напряжения на опорах, предусмотренных для этих целей, на ровной горизонтальной поверхности. Отклонение от горизонтальности не более 2 мм на 1 м.

6.1.5 На стенках ресивера не должны возникать дополнительные нагрузки через входной и выходной штуцеры при подсоединении к ним подводящего и отводящего трубопроводов. Рекомендуем использовать компенсирующие устройства, например, рукава высокого давления.

6.2 ПУСК И ОСТАНОВКА

6.2.1 Перед пуском ресивера необходимо сравнить производительность компрессорной установки, нагнетающей рабочую среду в ресивер, с пропускной способностью предохранительного клапана, установленного на ресивере. Производительность компрессора не должна превышать пропускную способность предохранительного клапана. При необходимости установите дополнительный предохранительный клапан.

6.2.2 Для пуска и остановки ресивера необходимо предусмотреть запорную и запорно-регулирующую арматуру. Количество, тип арматуры и места установки должны выбираться исходя из конкретных условий эксплуатации и требований региональных правил промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением. На отводящем трубопроводе необходимо предусмотреть трехходовой кран или другое устройство, обеспечивающее сброс давления рабочей среды из ресивера, при его отключении от пневматической сети и остановке, связанной с техническим освидетельствованием, ремонтом или в аварийной ситуации.

6.2.3 При первом пуске давление следует поднимать равномерно до достижения рабочего. Скорость подъема давления не должна превышать 0,5 МПа в минуту. Проверить плотность соединений и исправное действие арматуры, контрольно-измерительных приборов и предохранительных устройств от превышения давления.

6.2.4 Для остановки ресивера необходимо снизить давление до атмосферного.

6.2.5 При пуске или остановке ресивера в зимнее время необходимо руководствоваться требованиями Регламента проведения в зимнее время пуска (остановки) сосуда (смотри 6.4).

6.3 УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.3.1 Ресивер должен эксплуатироваться в соответствии с требованиями региональных правил промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением и настоящим руководством по эксплуатации.

6.3.2 При эксплуатации ресивера ответственный за исправное состояние и безопасное действие сосудов, работающих под давлением, должен вести учет наработки циклов нагружения и осматривать ресивер в рабочем состоянии с установленной периодичностью.

6.3.3 Условия эксплуатации ресивера:

- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающей среды от минус 10 °С до 40 °С;
- относительная влажность окружающей среды до 80% при температуре 25 °С.

6.3.4 Эксплуатация ресивера под воздействием прямого солнечного излучения и атмосферных осадков не допускается.

6.3.5 Ресивер не применять для иных газов и жидкостей, кроме воздуха или азота.

6.3.6 Установленная на ресивере арматура, контрольно-измерительные приборы и предохранительные устройства от превышения давления должны быть в исправном состоянии и соответствовать параметрам ресивера.

6.3.7 Давление рабочей среды внутри ресивера, не должно превышать указанное на табличке и в паспорте ресивера.

6.3.8 Минимальная температура стенки при эксплуатации ресивера должна быть не ниже указанной на табличке и в паспорте ресивера.

6.3.9 Максимальная температура стенки при эксплуатации ресивера должна быть не выше указанной на табличке и в паспорте ресивера.

6.3.10 В процессе эксплуатации необходимо устранять вибрацию ресивера, которая может вызвать нарушение целостности сварных швов и материала корпуса.

6.3.11 Необходимо обеспечить ежесменное (после окончания работы) удаление конденсата из ресивера.

6.3.12 При эксплуатации ресивер должен быть заземлен.

6.3.13 Эксплуатация ресивера запрещена в следующих случаях:

- когда значения давления и (или) температуры выходят за пределы, указанные на табличке ресивера и в паспорте на ресивер;
- при неисправности арматуры, предохранительных устройств и контрольно- измерительных приборов;

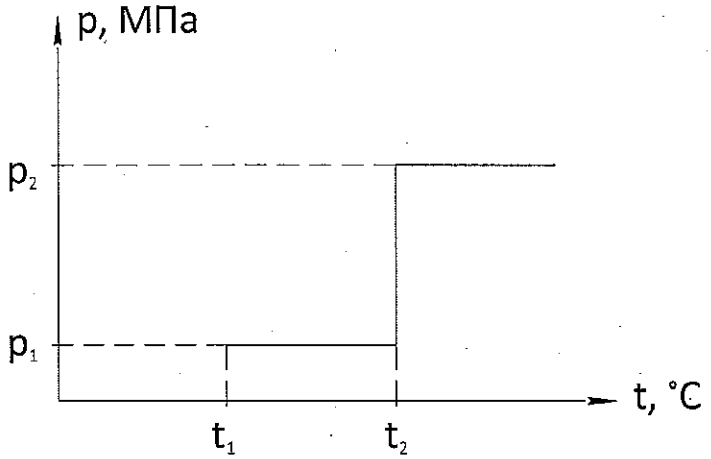
- при обнаружении в элементах ресивера трещин, вогнутостей и выпуклостей;
- при обнаружении неплотностей в резьбовых соединениях, присоединенных трубопроводах и арматуре;
- при возникновении пожара, непосредственно угрожающего ресиверу.

6.3.14 При обнаружении вышеуказанных неисправностей необходимо:
- прекратить подачу рабочей среды;
- снизить давление до атмосферного.

6.4 РЕГЛАМЕНТ ПРОВЕДЕНИЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ПУСКА (ОСТАНОВКИ) СОСУДА

6.4.1 Настоящий регламент распространяется на сосуды, изготовленные в соответствии с ГОСТ 34347 и эксплуатируемые под давлением на открытом воздухе или в неотапливаемом помещении в пределах допустимых температур эксплуатации (смотри 6.3.3).

6.4.2 Пуск (остановка) или испытание на герметичность в зимнее время, то есть повышение (снижение) давления в сосуде при повышении (снижении) температуры стенки, следует осуществлять в соответствии с рисунком 1.



p_1 – давление пуска, p_2 – рабочее давление, t_1 – минимальная температура воздуха, при которой допускается пуск сосуда под давлением p_1, t_2 – минимальная температура, при которой сталь и её сварные соединения допускаются для работы под давлением p_2.

Рисунок 1

6.4.3 Давление пуска p_1 принимают согласно таблице 1 в зависимости от рабочего давления p_2.

Таблица 1

P_2, МПа	Менее 0,1	От 0,1 до 0,3	Более 0,3
P_1, МПа	P_2	0,1	0,35 P_2
Примечание – При температуре t_2 не выше t_1 давление пуска p_1 принимают равным рабочему давлению p_2			

Достижение давлений p_1 и p_2 рекомендуется осуществлять постепенно по $0{,}25p_1$ или $0{,}25p_2$ в течение часа с 15-минутными выдержками давлений на ступенях $0{,}25p_1$ ($0{,}25p_2$); $0{,}5p_1$ ($0{,}5p_2$); $0{,}75p_1$ ($0{,}75p_2$), если нет других указаний в проектной документации.

6.7.4 Температуры t_1 и t_2 принимают по таблице 2 в зависимости от типа сталей.

Скорость подъема (снижения) температуры должна быть не более 30 °С в 1 ч, если нет других указаний в технической документации.

Таблица 2

Марка стали	Минимальная температура воздуха t_1, °С	Минимальная температура t_2, °С	Температура наиболее холодных суток в районе установки сосуда обеспеченностью 0,92
Ст3сп5 по ГОСТ 380	Минус 10	Минус 20	Не ниже минус 40 °С
20 по ГОСТ 1050		Минус 30	
09Г2С-12 по ГОСТ 19281		Минус 40	Не ниже минус 50 °С
P265GH по СТБ EN 10028-2		Минус 20	Не ниже минус 40 °С
P355GH по СТБ EN 10028-2		Минус 20	

7 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

7.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

7.1.1 Техническое обслуживание ресивера должно проводится в соответствии с настоящим руководством по эксплуатации, а также в соответствии с инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосудов, разработанной и утвержденной главным инженером предприятия-владельца ресивера.

7.1.2 Техническое обслуживание ресивера должно включать в себя:

- проверку технической документации – не реже одного раза в год;
- наружный осмотр всех сварных швов и поверхности ресивера – не реже одного раза в год;
- периодическую проверку манометров, запорной арматуры и предохранительного клапана – в установленные сроки;
- проведение технического освидетельствования;
- ремонт ресивера.

7.1.3 Порядок и сроки проверки исправности манометра и исправности действия предохранительного клапана проводить в соответствии с требованиями региональных правил промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением.

7.2 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

7.2.1 Перед проведением технического обслуживания и ремонта, связанного с заменой арматуры, контрольно-измерительных приборов, предохранительных устройств, отсоединением трубопроводов или других работ, связанных с открытием ресивера (при техническом освидетельствовании) необходимо отключить его от пневматической сети и убедиться в отсутствии давления в ресивере.

7.3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ

7.3.1 Техническое освидетельствование ресивера проводить в последовательности и следующие сроки:

- внутренний осмотр коррозионного состояния стенок корпуса ресивера, используя для этого отверстия в штуцерах днищ или отверстие в смотровом лючке обечайки (при наличии), – не реже одного раза в четыре года;
- контроль толщины стенки ультразвуковым методом, – не реже одного раза в четыре года. Толщина стенки должна проверяться в местах наиболее подверженных коррозии. Наиболее подверженными коррозии местами являются, в вертикально установленных сосудах, нижнее днище, а также околошовные зоны шириной 20 мм вдоль швов;
- гидравлические испытания, – не позже 8 лет со дня изготовления, в последующем – по результатам контроля и испытаний. Гидравлические испытания разрешается заменять пневматическими испытаниями при условии одновременного контроля методом акустической эмиссии.

7.3.2 Результаты технического освидетельствования должны записываться в паспорт лицом, производившим освидетельствование, с указанием разрешенных параметров эксплуатации ресивера и сроков следующих освидетельствований.

7.4 РЕМОНТ

7.4.1 Ремонт ресивера заключается в восстановлении защитного покрытия и замене арматуры, контрольно-измерительных приборов и предохранительных устройств, степень износа которых не обеспечивает надежность дальнейшей работы.

7.4.2 Вмешательство в конструкцию (переделка, приварка, врезка и установка устройств, нарушающих целостность ресивера) категорически запрещено.

7.4.3 После выполнения ремонтных работ необходимо проверить плотность всех соединений и проверить исправное действие арматуры и приборов.

7.4.4 Объем произведенного ремонта и испытаний необходимо внести в паспорт ресивера.

7.4.5 Правильный уход и техническое обслуживание, т.е. чистка, мойка, ревизия и контроль за техническим состоянием узлов и деталей, выполнение мелких ремонтных работ, гарантируют безотказную и безаварийную работу ресивера.

7.5 КРИТЕРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

7.5.1 Запрещается дальнейшая эксплуатация ресивера при достижении числа циклов нагружения, указанного в паспорте ресивера, или утонения стенок, в следствии коррозии, до расчетной величины (без учета прибавки на коррозию и отрицательного допуска), указанной в расчете на прочность.

8 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

8.1 Транспортирование ресивера, упакованного в тару, должно производиться только в закрытых транспортных средствах (крытых автомашинах, железнодорожных вагонах, контейнерах). При транспортировании ресивер должен быть предохранен от ударов и механических повреждений.

8.2 Погрузочно-разгрузочные работы следует выполнять при помощи подъемно-транспортного оборудования в соответствии с действующими правилами и инструкциями с соблюдением мер исключающих механические повреждения ресивера. Перед проведением погрузочно-разгрузочных работ необходимо по транспортной табличке и данным паспорта проверить массу и габаритные размеры ресивера. Поднимать и перемещать ресивер необходимо с захватом поддона как можно ниже от пола. В случае транспортирования ресивера при помощи погрузчика, необходимо чтобы вилы были расположены как можно шире, во избежание его падений. Для подъема и установки ресивера предусмотрено на верхнем днище подъемное кольцо. Не допускается для подъема изделия использовать штуцера в качестве зацепов.

9 ХРАНЕНИЕ

9.1 Ресивер не подвергается консервации.

9.2 Ресивер следует хранить в помещениях, обеспечивающих его защиту от влияния атмосферных воздействий внешней среды, при температуре от минус 25°С до 50 °С и относительной влажности не более 80 % при температуре 25 °С.

9.3 Содержание пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей в помещении, где хранится ресивер, не должно превышать содержание коррозионно-активных агентов для атмосферы I по ГОСТ 15150.

9.4 Способ хранения должен исключать механические повреждения ресивера.

9.5 Допустимый срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию – 1 год.

9.6 При длительном периоде хранения или при наличии явных признаков влаги (конденсата) проверяйте состояние ресивера и удаляйте конденсат.

10 УТИЛИЗАЦИЯ

10.1 Утилизация конденсата должна осуществляться с соблюдением региональных норм и правил по охране окружающей среды.

10.2 Материалы, из которых изготовлен ресивер, детали, комплектующие изделия поддаются внешней переработке и могут быть реализованы по усмотрению потребителя.

10.3 Для утилизации ресивера следует отключить его от пневматической сети и снизить внутреннее давление до атмосферного. Демонтировать устройства и арматуру, слить конденсат в заранее приготовленную емкость и утилизировать в установленном порядке.

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов: измененных	Номера листов: заменённых	Номера листов: новых	Номера листов: аннулированных	Всего листов в докум.	№ докум.	Входящий № сопроводительного документа	Подпись	Дата
1	–	Все	–	–	12	3013.Р010-2019			17.01.2019
2	–	8, 9	–	–	12	3013 Р093-2023			14.09.23
3	–	1-11	–	–	12	3013 Р110-2023			28.12.2023

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата 22.01.19

Инв. № подл. 10990

Расчёт пропускной способности предохранительного клапана

Задачей расчёта является определение пропускной способности предохранительного клапана в условиях эксплуатации при заданном давлении и температуре. Расчёт выполнен в соответствии с ГОСТ 12.2.085-2017.

1 Данные для расчёта

Данные для расчёта пропускной способности предохранительного клапана указаны в таблице.

	Обозначение	Значение
Площадь выходного отверстия, мм^2	S	28,26
Давление настройки клапана, МПа	$P_н$	1,1
Давление полного открытия клапана, МПа	$P_{по}$	1,21
Атмосферное давление, МПа	$P_{атм}$	0,10133
Рабочая среда	-	Воздух
Температура рабочей среды, К	T_1	293
Коэффициент расхода	α	0,5
Режим течения по таблице Д.2 ГОСТ 12.2.085-2017	-	Г-Г
Течение среды	-	Критическое
Критическое отношение давления для воздуха	$\beta_{кр}$	0,528

2 Расчёт пропускной способности предохранительного клапана

Реальная пропускная способность предохранительного клапана, G, кг/ч вычисляется по формуле (Д.1) ГОСТ 12.2.085-2017

$$G = \alpha \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_w \cdot G^*_{ideal} \cdot F,$$

где K_c – коэффициент, учитывающий возможное уменьшение пропускной способности предохранительного клапана вследствие установки мембранно-предохранительных устройств. $K_c = 1$, так как мембранно-предохранительные устройства отсутствуют (пункт Д.6 ГОСТ 12.2.085-2017);

K_v – коэффициент, учитывающий уменьшение пропускной способности предохранительного клапана при сбросе через него высоковязких сред вследствие дополнительных гидравлических потерь. $K_v = 1$, так как рабочая среда предохранительного клапана - газ;

K_w – коэффициент, учитывающий эффект неполного открытия разгруженного предохранительного клапана из-за противодавления. Коэффициент вычисляется по формуле (Д.26) ГОСТ 12.2.085-2017 методом линейной интерполяцией значений, определяемых по формулам (Д.23) и (Д.26) ГОСТ 12.2.085-2017. K_w=1;

G^*_{ideal} - массовая скорость, рассчитанная по модели идеального сопла, $\frac{кг}{ч \cdot м^2}$. Массовая скорость вычисляется по формуле (Д.3) ГОСТ 12.2.085-2017

$$G^*_{ideal} = G^*_{ideal\ кр} = K_{п\ кр}\sqrt{P_1 \cdot \rho_1}.$$

$K_{п\ кр}$ – безразмерная массовая скорость при критическом потоке. $K_{п\ кр}$ = 0,72 согласно рисунку (Е.3) ГОСТ 12.2.085-2017;

P_1 – абсолютное давление до клапана, равное сумме давления полного открытия и атмосферного, МПа

$$P_1 = P_{по} + P_{атм} = 1{,}31133$$

ρ_1 – плотность среды при параметрах P_1 и T_1 до предохранительного клапана, $\frac{кг}{м^3}$, вычисляется по формуле (Е.3.13) ГОСТ 12.2.085-2017

$$\rho_1 = \frac{P_1 \cdot M_m}{Z \cdot R \cdot T_1},$$

M_m – молярная масса воздуха, кг/кмоль. M_m = 28,96 согласно таблице (И.1) ГОСТ 12.2.085-2017;
Z – коэффициент сжимаемости. Z=1,0 согласно таблице (И.3) ГОСТ 12.2.085-2017;
R – универсальная газовая постоянная, кДж/кмоль·К. R=8,3143.

$$\rho_1 = 15{,}59$$

F – минимальная площадь седла клапана, мм², вычисляемая по формуле (Д.2) ГОСТ 12.2.085-2017. Для расчёта реальной пропускной способности предохранительного клапана за минимальную площадь

$$F = S = 28{,}26$$

Подставив в формулу (Д.1) ГОСТ 12.2.085-2017 выражения для расчёта массовой скорости (Д.3) ГОСТ 12.2.085-2017 получим расчёт пропускной способности предохранительного клапана (Д.7) ГОСТ 12.2.085-2017.

Для единиц измерения G, кг/ч, F, мм² и P, МПа:

$$G = 3{,}6 \cdot \alpha \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_w \cdot K_{п\,кр}\sqrt{P_1 \cdot \rho_1} \cdot F = 165{,}59$$

3 Вывод

Производительность компрессорной установки, нагнетающей рабочую среду в сосуд, работающий под давлением, при T_1=20°С не должна превышать 165,59 кг/ч (2292,26 л/мин или 137,54 м³/ч при плотности воздуха равной 1,204 кг/м³).