

Расчёт оборудования из реактопласта

Основан на ГОСТ Р 55072-2012 "Емкости из реактопластов,
армированных стекловолокном. Технические условия"

Заказчик: Заказчик

№ТЗ: 1234

Наименование: Колонна фбм

Обозначение: 5м

Содержание:

- Р.1 Определение категории емкости
Р.2 Определение расчетного коэффициента по Приложению А
Р.3 Механические свойства ламелей
Р.4 Определение допустимых и расчетных нагрузок по Приложению А
Р.5.1 Расчет вертикальной цилиндрической емкости на плоском основании или опоре
Р.5.2 Расчет вертикальной цилиндрической подвешенной емкости
Р.5.3 Расчет корпуса цилиндрической и формы на внешнее давление (вакуум)
Р.5.4 Расчет конусной крышки на внешнее давление (вакуум)
Р.6.1 Расчет эллиптического днища/крышки по Приложению Ж
Р.6.2 Расчет тороосферического днища/крышки по Приложению Ж ГОСТ
Р.6.3 Расчет сферического днища/крышки по Приложению Ж
Р.6.4 Расчет тороосферического днища/крышки по разделу 10.5 EN13121-3:2016
Р.6.5 Расчет конических днищ с излобом по Приложению Ж
Р.6.6 Расчет конических днищ без излоба по Приложению Ж
Р.7.1 Расчет плоской круглой панели по Приложению Е
Р.7.2 Расчет плоской прямоугольной панели по Приложению Е
Р.7.3 Расчет пластин в форме части круга и треугольных пластин по Приложению Е
Р.9.1 Расчет круглого болтового фланцевого соединения полнопрофильного фланца по Приложению Л
Р.9.2 Расчет круглых болтовых фланцевых соединений полнопрофильных фланцев по Приложению Л
Р.10 Отверстия, патрубки и колоннотрассы по Приложению К
Р.11.1 Расчет опорного утолщения обечайки на смятие и срез
Р.11.1.1 Приложение 1- Протокол испытаний образцов стеклопластика
Р.12 Расчет кольцевой опоры вертикально подвешенного сосуда на основе BS EN 13121-3:2016
Р.12.1 Расчет геометрических характеристик сечения
Р.12.2 Расчет геометрических характеристик сечения
Р. Приложение 1. Геометрия армировки патрубков для безнапорных емкостей

Легенда:

- а-а Константы (черного цвета, без заливки)
б-б Исходные данные (светлая кремовая заливка, могут быть красные значения)
в-в Результат (светлозеленая заливка)
г-г Шапки таблиц (светлосерая заливка)
Δ Данными значком отмечены примечания к расчету

Составил:

ФИО

Подпись

15.03.2019

Дата

Проверил:

ФИО

Подпись

15.03.2019

Дата

МП

г. Нижний Новгород

2019г.

Ред.

34

Категория	Условия			Логическая сумма условий	Принятая категория емкости
	Температура (табл. 4.1.)	Давление или вакуум (табл. 5.1)	Объем (п.п.5.5.2)		
	$t_{раб} \geq 20$	Р, Па	$V, м^3$		
	$HDT \geq 100$	0	95,4		
1	2	3	4	5	6
Категория I	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ	ИСТИНА	ИСТИНА	Категория I
Категория II	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ	ЛОЖЬ	
Категория III	ИСТИНА	ИСТИНА	ЛОЖЬ	ИСТИНА	

Только гидростатический напор?

Пояснения к разделу:

Выбор категории емкости производится согласно табл. 4.1, 5.1. и раздела 5.2.2

Категория емкости	Таблица 4.1	Таблица 5.1	р. 5.2.2.
	Температура рабочей сред. Т, °C	Давление и/или вакуум, Па	Объем емкости, $м^3$
Категория I ²	$(HDT-40) < T < (HDT-20)$	≥ 500	более 50
Категория II ²	$60 \leq T \leq (HDT-40)$	$< \geq 500$	от 10 до 50
Категория III ¹	$T < 60$; $T \leq (HDT-40)$	Гидростатический напор	не более 10

1. За значение рабочей температуры среды принимают наименьшее значение.
2. Выше гидростатического напора.

Согласно разделу 5.5.1 ГОСТ 5507/2-2012 от категории емкости зависят требования к внутреннему защитному слою:
 Для емкостей I-III категории внутренний химстойкий слой изготавливают из рубленого стекловолокна массой на единицу площади не менее $1,2 \text{ кг/м}^2$ из CSM, массовая доля которого должна быть от 25% до 33%.
 Для емкостей II-III и III-III категорий допускается использование рубленого стекловолокна или CSM массой на единицу площади до $0,62 \text{ кг/м}^2$.

Р.2 Определение расчетного коэффициента по Приложению А

к.Организация

А.2 Общий расчетный коэффициент

$$K = \max(K_1, K_{\text{вс}}) = 8,4$$

(А.1)

где:

$$K = C \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 8,4 \geq K_{\text{вс}} = 8 \text{ минимальный расчетный коэффициент } K$$

где:

C	ГОСТ Р 55072-2012 (BS 4994-5:1)	3	константа долгосрочной нагрузки
K ₁	Ручной, машинная намотка или машинное распыление	1,5	коэффициент метода производства
K ₂	Термопласта нет. Среда хорошая	1,2	-/- длительности работы
K ₃	HDT 100, трасн=20 град.С	1	-/- температуры
K ₄	Общее количество циклов нагружения - 2000	1,19	-/- цикличности
K ₅	Без постотверждения	1,3	-/- процедуры отверждения

В редких случаях при краткосрочных критических/аварийных условиях (не более 10 раз за время эксплуатации напорной емкости и длительностью не более 30 мин) может использоваться общий расчетный коэффициент, меньший, чем вычисленное значение общего расчетного коэффициента, но не меньший 8

Константа, отражающая уменьшение прочности материала долгосрочной нагрузкой

№ п/п	Стандарт	C	K _{вс}
1	ГОСТ Р 55072-2012 (BS 4994-5:1)	3	8
2	BS EN 13121-3-2016 (C=Y _н ·Y _д)	2,1	6
3	ТУ 2296-001-50688869-2003, ООО "Новомострой"	1,5	4

где:

$$K\text{-т надежности по материалу } Y_n = 1,4 \text{ см. п.л. 7.9.5.7 EN 13121-3:2016}$$

$$K\text{-т надежности по нагрузке } Y_d = 1,5 \text{ см. п.л. 9.3 EN 13121-3:2016}$$

А.2.1 К-т метода производства K₁=(1,5...3)

№ п/п	Метод производства	K ₁
1-3	Ручной, машинная намотка или машинное распыление	1,5
2	Ручное распыление (чолпер)	3

А.2.2 К-т длительности работы K₂=(1,2...2) - сшитый С, метод А

№ п/п	Критерий	K ₂
1	Термопласт есть (PP, PE, Pvc, PVDF, ECTFE, пр.)	1,2
2	Термопласта нет. Среда хорошая	1,2

Метод Б

Среда

Серная к-та

t _{рас}	K2
20	1,2

потеря 20% прочности

потеря 20% прочности

3	Термопласта нет. Среда нормальная	1,2	потеря 35% прочности
4	Термопласта нет. Среда плохая	2	потеря 50% прочности
5	По методу Б	1,200	потеря 50% прочности

20	1,200
100	2

потеря 50% прочности

Примечание к методу А:

Если потеря прочности составляет более 50% предела прочности при растяжении, то ламинат непригоден

A2.3 К-т температуры $K_3=(1...1,25)$

Коэффициент K_3 , соответствующий температуре, принимает значение, находящееся в интервале от 1 до 1,25.

Значение коэффициента K_3 , соответствующего температуре, зависит от температуры тепловой деформации и вычисляют по рисунку А.1.

Температура расчетная, $t_{расч}$	20
-----------------------------------	----

K_3	1
-------	---

Предварительный выбор конструкционной смолы (HDT принятой в производство смолы должна быть не менее предварительно выбранной):

$M^*E = 11$	100
HDT смолы принятая в расчете	100

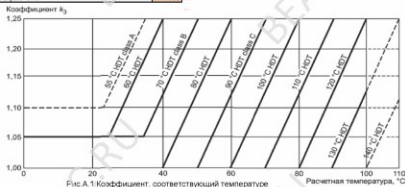


Рис А.1 Коэффициент, соответствующий температуре

В связи с тем, что опыт эксплуатации емкостей в диапазоне температур выше 100 °C ограничен, рекомендуется глубокая проработка вопроса между потребителем и производителем, если существует необходимость использовать напорную емкость в этом диапазоне температур.

№ п/п	HDT смолы	K ₂ при расчетной температуре, °C:												
		0	20	25	35	40	50	60	70	80	90	100	110	
1	55	1,1	1,1	1,1	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	
2	60	1,05	1,05	1,05	1,2	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	
3	70	1,05	1,05	1,05	1,05	1,125	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	
4	80	1	1	1	1	1	1,125	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	
5	90	1	1	1	1	1	1	1,125	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	#H/D	
6	100	1	1	1	1	1	1	1	1,125	1,25	#H/D	#H/D	#H/D	
7	110	1	1	1	1	1	1	1	1	1,125	1,25	#H/D	#H/D	
8	120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,125	1,25	#H/D	
9	130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,125	1,25	
10	140	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,125	

Примечание: #H/D - нет данных

A2.4 К-т циклических нагрузок K₃=(1...2)

Коэффициент K₃, соответствующий циклическим нагрузкам, учитывает вероятные рабочие условия эксплуатации напорных емкостей и вычисляется по рис. А.2.

	В год	В мес	В день
Кол-во заполнений/опорожнений	100	8,3	0,27
Тогда заполнения/опорожнение каждые 3,7 дня			

Планируемый срок службы аппарата, лет **20**
Общее количество циклов нагружения **2000**

K₃ **1,19**

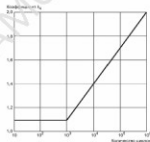


Рис. А.2 Коэффициент, соответствующий циклическим нагрузкам

Δ Периодическое заполнение и опустошение принимается равным 1000 циклам

A2.5 К-т процедуры отверждения K₄=(1,1...1,5)

- 1 Если напорная емкость на производстве подвергается полному постотверждению при повышенной температуре, соответствующей типу смолы, коэффициент K₄, соответствующий процедуре отверждения, принимает значение 1,1.
- 2 Для напорных емкостей, не подвергающихся полному постотверждению, расчетная температура рабочей среды которых не превышает 45 °С, коэффициент K₄, соответствующий процедуре отверждения, принимает значение 1,3.
- 3 Для напорных емкостей, не подвергающихся полному постотверждению, расчетная температура рабочей среды которых выше 45 °С, коэффициент K₄, соответствующий процедуре отверждения, принимает значение 1,5.

Температура постотверждения должна выбираться так, чтобы ламинат соответствовал заданным механическим, температурным и

Δ химическим расчетным характеристикам. Для емкостей с высокими эксплуатационными характеристиками температура постотверждения обычно должна быть не менее 80 °С, чтобы достичь максимальных свойств. Если возможно, емкость должна быть постотверждена при расчетной температуре.

№ п/п	Постотверждение	K ₅
1	Полное постотверждение	1,1
2	Без постотверждения	1,3

не превышает 45град. С

Р.3 Механические свойства ламелей

[к Оглавлению](#)

По механическим свойствам ламели соответствуют следующим требованиям:

Т. 5.3 Свойства ламелей

№ п/п	Характеристика	Определение	Источник	Обозначение	Смола Не фурановая		
					Тип армирующего наполнителя		
					Мат - CSM	Ткань - WR с полотняным переплетением (основа и уток)	Ровинг - Однонаправленное волокно (в направлении волокна)
1	2	3	4	5	М	T, R	O, X
1	Удельный предел прочности при растяжении, Н/мм ²	Прочность, соответствующая типу армирования, выражаемая как отношение приложенной нагрузки на единицу ширины к массе армирующего материала	По испытаниям	U	300	372	520
2	Удельный модуль упругости при растяжении, Н/мм ²	Отношение нагрузки к соответствующей относительной деформации ламели, подвергавшейся испытанию на растяжение	По ГОСТ	X _g	14000	16000	26000
3	Прочность соединения внахлестку при сдвиге, Н/мм ²		По ГОСТ	S	7	6	6

Примечание:

Данные по U для мата, ткани и ровинга получены на спектромеханической разрывной машине ИР 5092. Протокол испытаний №__ от "28" сентября 2018г.

P.4 Определение допустимых и расчетных нагрузок по Приложению А

[к.Оставление](#)

A.1 Предельно допустимая удельная нагрузка U_d для каждого типа ламели должна определяться по свойствам материала, приведенным в таблице 5.3 (см. Раздел 3), в соответствии с А.2-А.6 (А.7 для однонаправленных ровингов).

Δ При расчётах на прочность термолластичный футеровочный слой не учитывается.

Δ Если при расчёте конструкции требуется использовать допустимые сжимающие удельные нагрузки, то эти нагрузки необходимо определять в соответствии с А.2-А.6, подставляя удельный предел прочности при сжатии U_c вместо удельного предела прочности при растяжении U в формуле (А.2).

Δ Удельный предел прочности при сжатии U_c вычисляют для каждой рассматриваемой ламели в соответствии с приложением Ч.

A.2 Общий расчетный коэффициент $K=8,4$ (вычислен в разделе 3).

A.3 Предельно допустимая удельная нагрузка U_d , Н·м²/мм·кг

По
нагрузке:

	Мат - CSM	Ткань - WR	Ровинг
U	300	372	520
$U_d = U/K$	35,71	44,29	61,90

см. Разд.3 табл.5.3

(A.2)

A.4 Максимальная допустимая деформация

$$\epsilon = \min(\epsilon, \epsilon_{g,1}) = 0,20\%$$

где:

$$\epsilon = 0,2\% = 0,20\%$$

$$\epsilon_{g,1} = 0,1 \cdot \min(\epsilon_{g,1}, \epsilon_{g,2}) = 0,20\%$$

$$\epsilon_{g,1} \text{ удл. при разр неарм. см. \%} = 2\%$$

Материал футеровки

$$\epsilon_{g,2} = 2,0\%$$

Допустимая деформация
(табл.4 EN 13923-2005):

Материал	$\epsilon_{g,2max}$, %
CFR	2%
PE	6%
PP	5%
PVC-C, PVC	4%
PVC-U	2,5%
PVDF	5%
ECTFE	5%

(A.4)

(A.3)

A.5 Предельно допустимая удельная нагрузка при растяжении U_d , Н·м²/мм·кг

По
деформации:

	Мат - CSM	Ткань - WR	Ровинг
X_g	14000	16000	28000
$U_d = X_g / \epsilon$	28,00	32,00	56,00

см. Разд.2 табл.5.3

(A.5)

A.6 Деформация при воздействии предельно допустимой удельной нагрузки, %

$$\epsilon_z = U_z/X_z =$$

Мат - CSM	Ткань - WR	Ровинг
0,255%	0,277%	0,200%

2
3

(A.7)

Расчетная удельная нагрузка U_z , Н·м²/мм·кг (для ламината из Мата, Ткани и Ровинга):

$$U_z = U_B \text{ (при } U_B < U_L) \text{ или } U_z = \epsilon_z X_z \text{ (при } U_B > U_L)$$

6

МТОХ	Направление	Мат - CSM	Ткань - WR	Ткань однапр	Ровинг	
		M	T	R	O	X
	Окружное	28	32	0,000	56,031	22,610
	Осевое	28	32	50,443	0,000	6,250

(A.6)

Расчетная удельная нагрузка U_z , Н·м²/мм·кг (для ламината только из Мата и Ткани):

$$U_z = U_B \text{ (при } U_B < U_L) \text{ или } U_z = \epsilon_z X_z \text{ (при } U_B > U_L)$$

4

MT	Направление	Мат - CSM	Ткань - WR	Ткань однапр
		M	T	R
	Окружное	28	32	0,000
	Осевое	28	32	50,443

(A.6)

A.7 Расчетная удельная нагрузка в окружном и продольном напр. для однонаправленных ровингов и ткани

Тип	Наименование слоя	Угол намотки θ , °	F_0	F_X	Окружной удельный модуль $X_0 \cdot K_{\text{ровинг}}$	Продольный удельный модуль $X_X \cdot K_{\text{ткань}}$	O $U_{z0} =$ $X_0 \cdot \epsilon_z \cdot F_0 =$ (A.8)	X $U_{zX} =$ $X_X \cdot \epsilon_z \cdot F_X =$ (A.8)
O	Кольц	88,78	1	0	28016	4649	56,03	0,00
X	Перекр	65	0,7	0,7	16150	4464	22,61	6,25
R	Ткань однапр	1,34	0	1	4639	28024	0,00	50,44

$K_{\text{ровинг}} =$ к-т между U_z ровинга, определенного испытаниями и по табл.5.3

Определение угла кольцевой намотки:

	Ровинг	Ткань
Нитей	48	
Ширина "расчески", мм	200	220
Угол кольцевой, градус	88,78	1,34

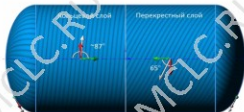


Рис. Углы в кольцевом и перекрестном слоях

Т. А.2

Коэффициенты, применяемые при определении расчетной единичной нагрузки и учитывающие намотку непрерывных ровингов под разными углами

Угол намотки (к продольной оси)	F_0	F_x
$0 < \theta \leq 15$	0	1
$15 < \theta \leq 75$	0,7	0,7
$75 < \theta \leq 90$	1	0

К-т:

Испытания

Примечания:

- Допускается использовать более высокие значения продольного и окружного коэффициента, если был проведен анализ анизотропной упругости. Этот анализ учитывает вклад каждого слоя в ламинате и взаимное влияние относительной линейной деформации и деформации сдвига.

Исходные данные:

Корпус

Геометрические размеры:

Внутренний диаметр D , мм	3000
Высота емкости H , мм	12000
Мин. высота жидкости H_{\min} , мм	8000
Высота рассредоточенной точки $H_{\text{р.т.}}$, мм	0
	5000

Момент от ветровой нагрузки M , Н м (кг м)

Скользящая нагрузка на крышу, Н (кг)	0,0
Вес крыши и снегозадерживающих устройств, Н (кг)	5 391,0 (511)
Вес цилиндрической емкости, Н (кг)	44 534,0 (4360)
Общий вес, Н (кг)	50 925,0 (5191)
Вес части емкости рассредоточенной $W_{\text{р.т.}}$, Н (кг)	50 925,0 (5191)

Нагрузки:

Нормативное давление $p_{\text{норм}}$, Н/м ² (кг/см ²)	0
Плотность жидкости, кг/м ³	1100
Гидростат. давл. в рассредоточенной точке $p_{\text{гидр.т.}}$, Н/м ² (кг/см ²)	0,0940 (0,93)
Вес жидкости рассредоточенной $W_{\text{ж.р.т.}}$, Н (кг)	301 305,0 (30877)
Вес жидкости рассредоточенной $W_{\text{ж.р.т.}}$, Н (кг)	0

Коэффициент прочности по толщине стенки, мм
1,000
Плотность стали, кг/м³

Б.1 Максимальная окружная сила $Q_{\text{окр.с.}}$, Н/мм

$$Q_{\text{окр.с.}} = \rho_{\text{ж.р.т.}} \cdot g \cdot D \cdot H_{\text{р.т.}}$$

80,33

Б.2.1 Максимальная продольная цилиндрическая нагрузка (скачки вала плоскости остои), Н/мм

$$Q_{\text{пр.с.}} = \rho_{\text{ж.р.т.}} \cdot g \cdot D \cdot H_{\text{р.т.}} \cdot W_{\text{ж.р.т.}} / W_{\text{ж.р.т.}}$$

15,31

$$Q_{\text{пр.с.}} = \rho_{\text{ж.р.т.}} \cdot g \cdot D \cdot H_{\text{р.т.}} \cdot W_{\text{ж.р.т.}} / W_{\text{ж.р.т.}}$$

-26,31

Примечание: в зависимости от расположения рассредоточенной точки

 $Q_{\text{пр.с.}} = 15,31$ расстояние

 $Q_{\text{пр.с.}} = -26,31$ скачки

Б.1 Расчет толщины стенки

DID=H=0

Параметры конструкции остои, без учета закладных:

$$Q_{\text{окр.с.}} = \rho_{\text{ж.р.т.}} \cdot g \cdot D \cdot H_{\text{р.т.}} \cdot W_{\text{ж.р.т.}} / W_{\text{ж.р.т.}}$$

Высота рассредоточенной точки $H_{\text{р.т.}}$, мм

0

Код остои	Тип армирования	Кол-во слоев n	Армирование (стержни)			Толщина, мм		Прочность, в направлении на ос, Н/м ² или кг				Модуль упругости при растяжении, Н/м ² или кг			
			Плотность слоя ρ , г/м ³	Общ. масса M , кг/м ²	Содержание, %	слой	общий	окружн. и продольн. (растяж. и сжат.)	окружн. (растяж. и сжат.)	окружн. (растяж. и сжат.)	продольн. (растяж. и сжат.)	$E_{\text{сж.}}$	$E_{\text{раст.}}$	$E_{\text{сж.}}$	$E_{\text{раст.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	V30														
M	30000	3	200	0,8	30	0,824	1,872	25,2	25,2	20,0	20,0	14000	14000	12000	12000
M	30000														
T	1246														
T	1246														
X	33316	4	510	2,364	70	0,440	1,736	129,1	0,0	56,8	0,0	4440	20110	10712	64240
X	33316	8	510	10,16	70	0,391	7,920	229,1	63,5	22,8	6,2	4440	16150	43356	164001
R	33374														

Итого:

15

13,364

Прочность, Н/мм, т/мм²

384,0

88,9

Затяжки К10,4

8,70

Высота

0,01

0,01

0,0099

5,010,939

18051,14

Б.2.3 Допустимая сжимающая продольная нагрузка $Q_{\text{пр.с.}}$, Н/мм (т/мм²)

$$Q_{\text{пр.с.}} = \rho_{\text{ж.р.т.}} \cdot g \cdot D \cdot H_{\text{р.т.}} \cdot W_{\text{ж.р.т.}} / W_{\text{ж.р.т.}}$$

30,14

DID

>

30,31 (B.R)

0,0

0,0

0,0

0,0

$R = 4$ коэффициент прочности при растяжении из-за литья
 $X_{\text{расч}} = 10, \text{ н/мм}^2$ суммарный расчетный модуль
 $D = 3023$ номинальный диаметр корпуса, мм

Ф. 7

Полные толшины по уровням:

№ п/п	Параметр	Толщина контр. слоя, мм	Высота расширения завеса толщи (мм)	Завес со слоем КСБ-4		Толщина, мм	
				окружном (радиальном)	продольном (поперечном)	Всего, мм слоя	Нар. сл. слоя
1	2'-04N+3 X1270H2-04T6/2	14,4	слоя 10	3,00	2,20	3,00	1,5
2	2'-04N+3 X1270H2-04T6/2	8,7	слоя 20	22	10,20	3,00	1,5
3						3,00	1,5
4						3,00	1,5
5						3,00	1,5
6						3,00	1,5

Р.5.2 Расчет вертикальной цилиндрической подвешенной емкости

Исходные данные:

Геометрические размеры:

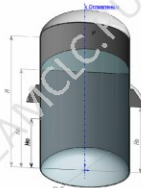
Внутренний диаметр D, мм	3000
Высота емкости H, мм	15000
Макс. высота жидкости H _ж , мм	3600
Высота плоскости опор H _{оп} , мм	2600
Высота рассматриваемой точки H, мм	3738
По какой формуле считать (B.3)	277

Нагрузки:

Избыточное давление p, МПа (атм)	0,0000
Плотность жидкости ρ, кг/м³	1100
Поддавленное давление p _д , МПа (атм)	0,0000 (0,0)
Вес жидкости рассматриваемой точки W _ж , Н (кг)	20
Вес емкости рассматриваемой точки W _{ем} , Н (кг)	274598 (27992)
Вес емкости в рассматриваемой точке	198

Максимум от вертикали связей, М, мм (Н мм)

Связи на крышке, Н (кг)	0
Всё крышка и всё, что на ней, Н (кг)	4200 (426)
Вес цилиндрической стенки, Н (кг)	31440 (321)
Вес дна и всё, что на нём, Н (кг)	4060 (416)
Общий вес, Н (кг)	321177 (32914)
Вес частей емкости рассматриваемой точки W _ж , Н (кг)	70900 (7236)
Вес частей емкости рассматриваемой точки W _ж , Н (кг)	30194 (3076)



B.1 Максимальная окружная цилиндрическая нагрузка, Н/мм

$$Q_{\theta} = (p_{\text{вн}} + p_{\text{д}}) \cdot D / 2 = 0,00$$

(B.1)

B.2.1 Максимальная продольная цилиндрическая нагрузка, Н/мм

Внеш. плоскости стенки:

$$Q_{\theta} = (p_{\text{вн}} + 0,4 \cdot \rho \cdot H_{\text{ж}}) \cdot D / 2 = -7,53 \text{ (B.3)}$$

$$Q_{\theta} = (p_{\text{вн}} + 0,4 \cdot \rho \cdot H_{\text{ж}}) \cdot D / 2 = -7,53$$

Внеш. плоскости дна:

$$Q_{\theta} = (p_{\text{вн}} + 0,4 \cdot \rho \cdot H_{\text{ж}}) \cdot D / 2 = 0,00$$

$$Q_{\theta} = (p_{\text{вн}} + 0,4 \cdot \rho \cdot H_{\text{ж}}) \cdot D / 2 = 0,00$$

(B.4)

Примечание в зависимости от рассматриваемой рассматриваемой точки:

$$Q_{\theta} = -7,53 \text{ (связи)}$$

$$Q_{\theta} = -7,53 \text{ (связи)}$$

	Расс.	Связи
$Q_{\theta, \text{вн}}$	0,00	7,53
$Q_{\theta, \text{вн}}$	0,00	7,53
$Q_{\theta, \text{вн}}$	0,00	7,53

B.1 Расчет толщины стенки

220111-0

Лист: только конструктивный слой, без учета приварки

Р.5.2.1

Код слоя	Тип армирования	Код слоя	Армирование (г. класс)			Толщина, мм		Прочность, в направлении				Модуль упругости при растяжении			
			Плотность слоя, г/м²	Объём, м³/м²	Содержание, %	слой	общий	окружно и радиально (мм)	продольно и (мм)	окружно и радиально (мм)	продольно (мм)	радиально, мм/мм²	радиально, мм/мм²	окружно, мм/мм²	продольно, мм/мм²
У	208	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
М	2003														
М	2003		400	1,35	35	0,308	2,000	1,70	27,8	28,0	28,0	14000	14000	13900	13900

Р.5.3 Расчет корпуса цилиндрической формы на внешнее давление (вакуум)

Исходные данные:

Корпус

Геометрические размеры:

Внутренний диаметр D , мм

Макс высота жидкости H_0 , мм

Высота плоскости шланг H_1 , мм

Высота рассекательной точки H_2 , мм

По какой формуле считать: (B.3)

Нагрузки:

Внешнее давление p , МПа (атм) (2.0)

Плотность жидкости ρ , кг/м³

Гидростат. давл. в рассек. точке $p_{ст}$, МПа (атм) (0.6)

Вес жидкости рассек. точки $W_{лж}$, Н (кг) (0)

Вес жидкости рассек. точки $W_{ж}$, Н (кг) (0)

Брать вес жидк. в расч. прод. нагрузки? ☒

Мак. момент от ветра или сейсм. M , Н·м (кг·м) (0)

Снеговая нагрузка на крышу, Н (кг) (0)

Вес крыши и всего, что на ней, Н (кг) (0)

Вес цилиндрической стенки, Н (кг) (0)

Вес днища и всего, что на нем, Н (кг) (0)

Общий вес, Н (кг) (0)

Вес частей вмк. выше рассек. т. W_1 , Н (кг) (0)

Вес частей вмк. ниже рассек. т. W_2 , Н (кг) (0)

B.1 Максимальная окружная единичная нагрузка, Н/мм

$Q_{\phi} = (p + p_{ст}) \cdot D/2 =$

(B.1)

B.2.1 Максимальная продольная единичная нагрузка, Н/мм

Выше плоскости опоры:

$Q_{\phi} = p \cdot D/4 + 4M/mD^2 + W_1/mD =$ (B.3)

$Q_{\phi} = p \cdot D/4 - 4M/mD^2 + W_1/mD =$

Ниже плоскости опоры:

$Q_{\phi} = p \cdot D/4 + 4M/mD^2 + W_2/mD =$

$Q_{\phi} = p \cdot D/4 - 4M/mD^2 + W_2/mD =$

(B.4)

Принимаем в зависимости от расположения рассекательной трем:

$Q_{\phi, max}$ сжатие

$Q_{\phi, min}$ сжатие

	Расч. (+)	Счит. (-)
$Q_{\phi, max}$	0.00	150.00
$Q_{\phi, min}$	0.00	150.00
$Q_{\phi, max, abs}$	0.00	150.00
$Q_{\phi, min, abs}$		150.00

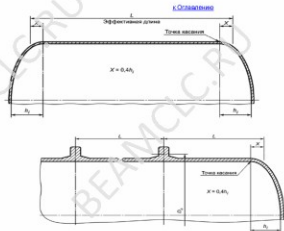


Рис. 1 Расчетная схема

Б.1 Расчет толщины стенки
Пирог только конструктивных слоев, без учета защитного

SLA не в О

$$l_{0, \text{кон}} = 4 \cdot X_{\text{кон}} + 0,01 \cdot Z^2 + 18, \text{ мм}$$

Высота рассматриваемой точки H, мм 0

Код слоя	Тип армирования	Кол-во слоев, л	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, в направлении				Модуль упругости при растяжении			
			Плотность слоя, т/м³	Общ. масса M, кг/м²	Содержание, % масс	слоя	общая	всего, Н/мм		на ед. Н·м/мм·ат		удельный, Н·м/мм·ат		всего, Н/мм	
								окружном (радиальная)	продольном (осевая)	окружном (радиальная)	продольном (осевая)	X ₁₁	X ₂₂	X ₃₃₃₃	X ₃₃₃₀
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
V	V30														
M	M300	1	300	0,3	30	0,024	0,024	8,4	8,4	28,0	28,0	14000	14000	4200	4200
M	M450														
T	T560														
T	T600														
O	O578	12	578	6,913	70	0,448	5,338	387,3	0,0	56,0	0,0	4649	28018	32136	103643
X	X1278	24	1270	30,48	70	0,991	23,784	889,2	190,5	22,4	6,2	4464	16150	136061	492262
R	R70														
R	R174														

Итого:

37

37,862

29,7

Прочность, Н/мм, требуемая:

Запас свыше K=5,4

1084,9

198,9

360,0

156,8

3,62

0,73

172397

690106

Ulam

4573,637

18309,09

Б.3.1 Корпуса цилиндрической формы

Модуль Юнга

$$E_{\text{кон}} = X_{\text{кон}} \cdot E_{\text{кон}} = 22236 \text{ модуль Юнга, Н/мм}^2$$

где:

$$X_{\text{кон}} = \sum X_{\text{кон}} \text{ т.п.} = 690106 \text{ суммарный единичный модуль в окружном направлении, Н/мм}$$

$$l_{0, \text{кон}} = 29,7 \text{ принята толщина корпуса, мм}$$

Минимальную допустимую толщину ламината в зависимости от неравенства, вычисляет по формуле:

ЛОЖЬ (B.10)

ИСТИНА (B.12)

$$l_{0, \text{кон}} = D_{\text{вн}} \cdot \left(\frac{F}{E_{\text{кон}}} \right)^{0,75} = 81,627$$

$$l_{0, \text{кон}} = D_{\text{вн}} \cdot \left(0,4 \cdot F / E_{\text{кон}} \right)^{0,75} = 22,236$$

Проверка неравенства:

$$l_{0, \text{кон}} = 0,327 <$$

$$7,746$$

$$= 1,25 \cdot (E_{\text{кон}} \cdot R \cdot F)^{0,75}$$

$$\text{по B.12}$$

Минимальная требуемая толщина ламината:

$$l_{0, \text{кон}} = 22,236 <$$

$$29,7$$

$$\text{где:}$$

$$R = 4 \text{ коэф. безопасности против разрушения из-за усталости}$$

$$D_{\text{вн}} = 3059 \text{ внешний диаметр корпуса, мм}$$

Если предложенная конструкция не соответствует этому требованию, необходимо либо

изменить конструкцию ламината, либо добавить дополнительные кольца жесткости.

Вычисления должны быть повторены, пока не будет определена допустимая конструкция.

Описание системы: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Условие: Система из ламината, армированного

Материал: Стеклопластик

Рис.2 Сечение сложного ребра жесткости

Осевой момент инерции сечения кольца жесткости $L_{\text{кольц}}$, мм⁴, должен быть больше или равен минимальному моменту инерции $L_{\text{мин}}$.

$R = 4$ - коэффициент ребра усиления

Эффективная длина L , мм - шаг ребер

Подбор конструктива ребра жесткости: обечайки

Размер или профиль	Материал	С _{ребра} , мм	Верт. раст. до центра масс ребра (половина высоты сечения), мм	Диаметр нейтральной оси кольца жесткости n D _н , мм	Мин. момент инерции ребра $L_{\text{ребра}}$, мм ⁴ $L_{\text{ребра}} = \frac{\pi^4}{64} R_0^4$ $R_0 = 26 - E$, мм ⁴ (B.13)	Проверка неравенства $L_{\text{кольц}} \geq L_{\text{ребра}}$	Момент инерции $L_{\text{кольц}}$, мм ⁴	Выход	Сечение ребра	Масса 1 м.п. для стальных труб, кг/м	Площадь сечения ребра, см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
200х100	СПП	23226	38	3120	47 964 328	>	5 716 607	Простое	Простое		140
См. рис. 2	СПП	23226	38	3120	41 332 470	>	6 323 357	Словное	Словное		
Труба 60х4	Металл	206000	38	3119	4 815 263	>	637 100	Простое	Труба ГОСТ 8639-82	11	14
Труба 200х10	Металл	206000	38	3119	4 815 263	>	637 100	Простое	Труба прямоугольная ГОСТ 8639-82	6,7	11,00
Труба 200х10	Металл	206000	38	3119	4 877 234	>	669 100	Простое	Труба прямоугольная ГОСТ 8639-82	6,82	8,68
Труба 100х6	Металл	206000	38	3120	4 846 206	>	720 600	Простое	Труба стальная ГОСТ 30745-200	7,97	10,15

Простое:

Размер стеклопластикового прямоугольного ребра:

$b = 200$ ширина, мм

$h = 70$ высота, мм

$L_{\text{кольц}} = \pi b^3 h / 12 = 5 716 607$ момент инерции, мм⁴

Словное:

Сечение словного ребра разрабатывается в САД, его момент инерции вычисляется по формулам сопряжения или инструментами САД

Чертеж словного ребра приводится на Рис.2

Допустимая длина корпуса L , мм, которая вносит вклад в осевой момент инерции сечения кольца жесткости:

$L_n = 0.75 (I_{\text{н}} D_n)^{1/4} = 228 < 1000$ Принятый шаг ребер (B.14)

Ок

Исходные данные:

Геометрические размеры:

Внутренний диаметр D , мм	3000
Эффективная длина L , мм	1000
Мин. высота нагрузки H_{\min} , мм	0

Высота плоскости опор $H_{\text{плоск}}$, ммВысота раскрываемой точки $H_{\text{раскр}}$, мм

Нагрузки:

Параметр (формула расчета) (B.3)

Внешнее давление p , МПа (атм)	0,2 (2,0)
Плотность воздуха ρ , кг/м ³	0
Гидростат. давл. в раскр. точке $p_{\text{ст}}$, МПа (атм)	0,000 (0,0)
Вес обшивки раскрыва $W_{\text{об}}$, Н (кг)	0 (0)
Вес несущей раскрыва $W_{\text{нр}}$, Н (кг)	0 (0)
Взвешивание в раскрыв. нагрузке?	нет

Раскрытие в аппарате: 0,005 бар (см)

Момент от ветра или сейсм. M , Н·мм (Н·м)

Снеговая нагрузка на крышу, H (кг)	0 (0)
Вес крыши и всего, что на ней, H (кг)	0 (0)
Вес цилиндрической стены, H (кг)	0 (0)
Вес дна и всего, что на нем, H (кг)	0 (0)
Общий вес, H (кг)	0 (0)
Вес частей выходящих раскр. $W_{\text{в}}$, Н (кг)	0 (0)
Вес частей выходящих раскр. $W_{\text{в}}$, Н (кг)	0 (0)

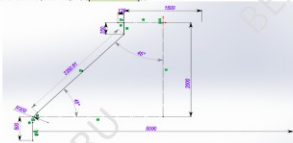


Рис.1 Расчетная схема

B.1 Максимальная окружная единичная нагрузка, мм/м

$$Q_{\text{ок}} = (p + p_{\text{ст}}) \cdot D/2 = 970,00$$

(B.1)

B.2.1 Максимальная продольная единичная нагрузка, мм/м

Выход плоскости опор:

$$Q_{\text{пр}} = D \cdot H \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H / D^2 = 150,00 \quad (B.3)$$

$$Q_{\text{пр}} = D \cdot H \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H / D^2 = 150,00$$

Низы плоскости опор:

$$Q_{\text{пр}} = D \cdot H \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H / D^2 = 150,00$$

$$Q_{\text{пр}} = D \cdot H \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H / D^2 = 150,00$$

(B.4)

Принимаем в зависимости от расположения раскрываемой точки:

$$Q_{\text{пр}} = 150,00 \text{ растяжение}$$

$$Q_{\text{пр}} = 150,00 \text{ растяжение}$$

Раст		Сжат	
$Q_{\text{пр}} = 150,00$	растяжение	$Q_{\text{пр}} = 150,00$	сжат
$Q_{\text{пр}} = 150,00$	растяжение	$Q_{\text{пр}} = 150,00$	сжат
$Q_{\text{пр}} = 150,00$	растяжение	$Q_{\text{пр}} = 150,00$	сжат

B.1 Расчет теплоизоляционных слоев

SU mini-Q

Перечень слоев конструктивного слоя без учета неустойчивости:

$$T_{\text{сум}} = T_{\text{сум}} + T_{\text{сум}} + T_{\text{сум}} + T_{\text{сум}} + T_{\text{сум}}$$

$$T_{\text{сум}} = 100 + 100 + 100 + 100 + 100$$

Код слоя	Тип армирования	Кол-во слоев n	Плотность слоя ρ , кг/м ³	Объем, м ³ , м ³	Теплоизоляция, мм		Прочность, Н/мм, в направлении	
					слой	общая	окружном (радиальном)	пр. попер.
M	СДМ (лег)	11	40	4,95	0,930	10,230	13,0	130,0
T	МВК (лег)	7	20	3,92	0,841	5,887	25,4	17,440,0
O	Резина, гидроизоляция	0	0	0	0,48	0	0	0,0
X	Резина, гидроизоляция	0	0	0	0,390	0	0	0,0
Итого:				8,87		16,117	20,8	125578,8
							Прочность, Н/мм, требуется:	150,0
							Затем общие R=B.4	0,00

В.3.1 Корпуса цилиндрической формы

Модуль Юнга

$$E_{\text{мат}} \cdot X_{\text{мат}} \cdot L_{\text{мат}} = 8167,943621 \text{ модуль Юнга, Н/мм}^2$$

(В.8)

где

$$X_{\text{мат}} = 130 \text{ мм}$$

$$L_{\text{мат}} = 16,2 \text{ принятая толщина корпуса, мм}$$

13580

Проверка неравенств

$$L_{D_0} = 1,233 \text{ и } 6,483 = 1,35 \cdot (E_{\text{мат}} / \rho)^{1/3} \cdot 0,17$$

то (В.12)

Минимальную допустимую толщину ламината в зависимости от неравенств, вычисляют по формуле:

$$1) L_{D_0} \geq 1,35 \cdot (E_{\text{мат}} / \rho)^{1/3} \cdot 0,17$$

Получь

(В.13)

$$L_{\text{м}} = D_0 \cdot \rho \cdot F \cdot (2 \cdot E_{\text{мат}})^{1/3} = 18,5$$

(В.9)

$$2) L_{D_0} < 1,35 \cdot (E_{\text{мат}} / \rho)^{1/3} \cdot 0,17$$

Используй

(В.12)

$$L_{\text{м}} = D_0 \cdot \rho \cdot F \cdot (E_{\text{мат}} / L_{D_0})^{1/3} = 41,379$$

(В.11)

Максимальная толщина ламината:

$$L_{\text{м}} = 41,379 \text{ и } 16,2 = L_{D_0}$$

где

$F = 6$ коэфф безопасности против разрушения из-за изгиба

$D_0 = 4269$ внешний диаметр корпуса корпуса

$\rho = 45$ угол наклона жесткого диска к оси горизонтальной

$\cos \phi = 0,707106781$

Если предложенная конструкция не соответствует этому требованию, необходимо либо изменить конструкцию ламината, либо добавить дополнительные слои жесткости.

Вычисления должны быть повторены, пока не будет достигнута допустимая конструкция.

Осевой момент инерции сечения кольца жесткости $J_{\text{жк}}$, мм⁴, должен соответствовать неравенству:

$$J_{\text{жк}} \geq 0,18 \cdot D_0 \cdot L \cdot D_0^3 \cdot \rho \cdot E_{\text{мат}} = 349\,550\,580$$

(В.13)

где:

$$D_0 = 4269 \text{ диаметр наружной оси кольца жесткости}$$

Принимая размер ребра

$$b = 100 \text{ длина}$$

$$h = 10 \text{ толщина}$$

$$J_{\text{с}} = 28\,129 \text{ мм}^4$$

$$= 1\,500 \text{ площадь, мм}^2$$

Перенесем сечение на ось по центру диаметра, тогда момент инерции кольца жесткости, мм⁴

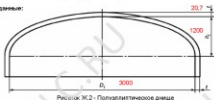
$$J_{\text{жк}} = 28\,129$$

Допустимая длина корпуса $L_{\text{ж}}$, мм, которая вносит вклад в осевой момент инерции сечения кольца жесткости:

$$L_{\text{ж}} = 0,75 \cdot D_0 \cdot D_0^3 \cdot \rho = 198 \text{ и } 5000$$

(В.14)

Исходные данные:



Внутр. диаметр днища, D, мм	3000	
Толщина конструктивного днища, t, мм	20.7	> 20.673
h/D_i	0.007	Q_k
Высота эллипт. части, h, мм	1200	Доля h: 2 1/2
h/D_i	0.4	0.2
		L_k

Ж.2.2 Полуэллиптическое днище, на которые воздействует внутреннее давление
Единичная нагрузка на днище

$$Q = 0.5 \cdot p \cdot D_i \cdot K_p = 114.2$$

(К.5)

где:

K_p	0.7611111	коэф. формы для выпуклых днищ по таблице Ж.1
p	0.1 МПа	Внутреннее давление на днище
	0.987 бар	
	10197.20 кг/м^2	

Таблица Ж.1 Коэффициент K_p формы для полуэллиптических днищ

h/Di	0	0.005	0.01	0.02	0.04	0.05
0.2	2	2	2.1	2.2	2.25	2.35
0.25	1.3	1.3	1.35	1.45	1.45	1.45
0.32	0.85	0.85	0.85	1	1.05	1.1
0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Ж.2.4 Полуэллиптическое днище, на которые воздействует внешнее давление
Единичная нагрузка на днище

$$Q = 0.66 \cdot p_{\text{вн}} \cdot D_i \cdot K_p = -15.6$$

(К.6)

где:

$p_{\text{вн}}$	0.011 МПа	Внешнее давление на днище
	0.102 бар	
	1121.66 кг/м^2	

Мин. допустимая толщина ламината, при которой не происходит изгиба:

$$L_{\text{доп}} = 1.7 \cdot R_{\text{ср}} / (p \cdot E_{\text{ср}})^{1/2} = 7.3 < 20.7 = L_p$$

(B.15)

где:

R	4040	ф. безразмерности при расчете на изгиб
$E_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} \cdot E_{\text{ср}}^{\text{н}} =$	5767	модуль Юнга, Н/мм ²
$R_p = 0.5 \cdot D_i \cdot K_p =$	184	радиус ос. формы

(B.8)

(К.8)

где:

D_i	3000	Внутренний диаметр корпуса, мм
K_p	1.77	коэф. формы для полуэллиптических днищ по рис. Ж.12

Б.1 Расчет толщины днища

По формуле давления считаем (Ж.2.2, или Ж.2.4)?

Ж.2.2 - внутреннее (или) давление

Путь: Полюс конструктивный слой без учета эллиптического:

$$t_{\text{пол}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{вн}} + Q_{\text{вн}} + Q_{\text{вн}} + M_{\text{вн}} + M_{\text{вн}} + M_{\text{вн}} + M_{\text{вн}}}{E_{\text{ср}}}} = 1$$

Код слоя	Уплотнение (только мат, только и вуаль)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во всех направлениях		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность, г/см^3	Общ. масса M, кг/м^2	Содержание, %масс	слоя	общая	всего, Н/мм^2	на кд, Н/мм^2	$X_{\text{ср}}$, Н/мм^2	$X_{\text{ср}}$, Н/мм^2
M	84300										0
M	84450	14	450	6.3	3.1	0.836	13.104	176.4	26.8	1400	86200
T	7500	8	500	5.04	4.5	0.841	7.568	181.3	32.6	10700	80840
T	7600										0
Итого:				11.34			20.673	338.0		168840	
							Прочность, Н/мм , требуется:		114		
							Затрачено K=8.4		2.90		

Выход: On

Общая толщина дна:

№ параме- тра	Перег	Толщина, мм			
		Внутр. к/с слой	Констр. слой	Нар. к/с слой	Общий
1	(M450+T560+M450+T560+M450)*4+(M450+T560+M450)*1	3.99	20.7	1.5	26

Исходные данные:



Рисунок Ж.3 - Тороферическое днище

Внутр. диам. стенки, D, мм

Толщина конструктивной части днища, t, мм $>$ $=$

Высота тороферической части h, мм:
 $h = R - (R - D/2) \cdot (R + D/2 + r)^{-0.5}$

где:
 Внутренний радиус, R, мм \leq D
 Радиус отбортовки, r, мм \leq 0.1 D \leq r \leq 0.25 D

r/D
 h/D
 t/D

(К1)

Ж.2.2 Тороферическое днище, на которое действует внутреннее давление

Единичная нагрузка:
 $Q = 0.5 \cdot p \cdot D \cdot K_f$

где:
 K_f коэффициент формы для выпуклых днищ по таблице Ж.1
 p МПа Внутреннее давление на днище бар
 Q кН/м

(К5)

Таблица Ж.1 Коэффициент K_f формы для тороферического днища

При $0.15 \leq h/D \leq 0.15$ **ЛОЖЬ** K_f

h/D	0	0.005	0.01	0.02	0.04	0.06
0	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
0.2	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
0.25	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
0.32	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Выбор в таб. Ж.1:

Строка	<input type="text" value="3"/>
Столбец	<input type="text" value="3"/>

При $h/D > 0.15$ **ИСТИНА** K_f

h/D	0	0.005	0.01	0.02	0.04	0.06
0	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$
0.2	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$	$\leq D$
0.25	1.9	1.9	1.9	1.75	1.7	1.7
0.32	1.45	1.45	1.45	1.4	1.35	1.3
0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Выбор в таб. Ж.1:

Строка	<input type="text" value="3"/>
Столбец	<input type="text" value="3"/>

недопустимо, $R > D$

Не проверять

Ж.2.3 Тороферическое днище, на которое действует внешнее давление

Единичная нагрузка на днище:
 $Q = 0.5 \cdot p \cdot D \cdot K_f$

где:
 p МПа Внешнее давление на днище бар
 Q кН/м

Min допустимая толщина дна, при которой не происходит колла:

$$t_{\min} = 1.2 \cdot R \cdot (p / (E \cdot K_f))^{0.5} = \text{input} < \text{input} = \text{input}$$

(Б.16)

где:

$$E_{\text{дн}} = K_{\text{дн}} \cdot E_{\text{ст}} = \text{input}$$

(Б.3)

Б.1 Расчет толщины дна

По какому давлению считаем (Ж.2.2. или Ж.2.3)?

Ж.2.3 - внешнее (вакуум) давление

Парог (только конструкционный слой, без учета жесткого):

$$[M_{\text{дн}} + T_{\text{дн}} + M_{\text{дн}} + T_{\text{дн}} + M_{\text{дн}} + T_{\text{дн}}] \cdot 11 + M_{\text{дн}} \cdot 2$$

...

Код слоя	Тип армирования (только мат, ткань и вуаль)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во всех направлениях		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность слоя m, г/м²	Общ. масса M, кг/м²	Содержание, % массы	слой	общая	всего, Н/мм	на 1 м, Н·м/мм·кг	X _с , Н·м/мм·кг	X _{1мм} , Н/мм
M	M300										0
M	M450	30	430	11,73	30	0,936	32,76	411,0	28,0	14300	320500
T	T560	22	510	12,32	45	0,841	18,502	304,2	32,0	16000	197120
T	T600										0

Итого:

28,07

51,262

135,0

417620

Прочность, Н/мм, требуется:

540

Затрачено выше 118,4

1,56

Вывод:

Ок

Общая толщина деталей:

Вариант	Варг	Толщина, мм			
		Внутр.х/с слой	Констр. слой	Нар.х/с слой	Общий
1	M450+T300+M450+T560+M450+T1+M450+T2	3,00	01,3	1,5	5,8

Код слоя	Тип армирования (только мат, ткань и вуаль)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во всех направлениях		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность слоя m, г/м²	Общ. масса M, кг/м²	Содержание, % массы	слой	общая	всего, Н/мм	на 1 м, Н·м/мм·кг	X _с , Н·м/мм·кг	X _{max} , Н/мм
M	M300										0
M	M450	31	430	13,93	30	0,936	29,016	307,8	28,0	14300	165300
T	T560	20	510	11,2	45	0,841	16,82	358,4	32,0	16000	179200
T	T600										0
Итого:				25,15			45,836	748,0			374500

Прочность, Н/мм, требуется: ≥НД

Запас свыше 118,4

Вывод: **НД**

Общая толщина деталей:

Вариант	Варг	Толщина, мм			
		Внутр.х/с слой	Констр. слой	Нар.х/с слой	Общий
1	M450+T310+M300+T560+M450+T150+M450	3,00	45,8	1,0	51

Исходные данные:

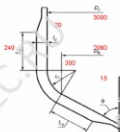


Рисунок Ж.4 - Коническое днище с изгибом

D ₁	3000	Внутр. диам. стенки, мм
t ₁	15	Толщина ламината стенки, мм
t ₂	20	Толщина в месте пересечения конич. и цилинд. частей
r	300	Радиус скругления, мм
угл. φ	15	Угол наклона конического днища к оси вертикальной
Сов. φ	0.9959258	
D ₂	2950	Внутренний диаметр большего основания конического днища
r/D ₁	0.1	Отношение радиуса скругления к диаметру емкости

Расстояние от места пересечения конич. и цилинд. частей, на котором должна быть увеличена толщина, мм:

$$L_1 = (D_1 \cdot t_1 / \cos \phi)^{1/2} = 249$$

(Ж.2)

Ж.3.3 Конические днища, на которые действует внутреннее давление

Единица нагрузки Q, Н/мм

$$Q = 0.5 \cdot p \cdot D_1 / \cos \phi = 77.1$$

(Ж.9)

где:

P	0.05	МПа	Внешнее давление на днище	0.05
	0.492	бар		
	5098.60	кПа		

Пред. ад. нап. в месте пересечения конической и цилинд. частей днища с изгибом конического днища Q₁₁, Н/мм:

$$Q_{11} = 0.5 \cdot p \cdot D_1 \cdot K_1 = 75.0$$

(Ж.10)

где:

K₁ = 1 коэффициент формы для конических днищ по таблице Ж.2.Таблица Ж.2 Коэффициент K₁ формы для конических днищ по рис. Ж.4

r/D ₁	Угол φ				
	15	30	45	60	75
0.05	1	1	1.1	1.2	3.85
0.08	1	1	1.2	1.35	3.5
0.1	1	1	1.3	1.6	3.15
0.15	1	1	1.5	1.8	2.7
0.2	1	1	1	1.25	2.4
0.3	1	1	1	1	1.55
0.4	1	1	1	1	1
0.5	1	1	1	1	1

Интерполяция:

r/D ₁	Угол φ	
	15	30
0.1	1	1
0.15	1	1

Проверка1: 1 1 1 1

Проверка2: 1 1 1

Б.1 Расчет толщины днища

Плот. (плотность) конструктивных слоев, без учета армирования:

$$P_{\text{пл}} = \frac{M_{\text{пл}} \cdot T_{\text{пл}} + M_{\text{пл}} \cdot T_{\text{пл}} + M_{\text{пл}} \cdot T_{\text{пл}} + M_{\text{пл}} \cdot T_{\text{пл}}}{P_{\text{пл}}}$$

Код слоя	Тип арм. рован. (только мат. ткань и вуаль)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, по всем направлениям		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность слоев, г/м²	Объём, масса M, кг/м²	Содержание, %масс	слой	общая	всего, Н/мм	на ед. Н/мм²	K ₁ , Н/мм²	K ₂ , Н/мм²
M	M300										0
M	M450	6	450	2.7	25	6.335	5.616	75.6	26.8	147.0	37800
T	T560	4	560	2.24	62	8.841	3.364	71.7	32.5	150.5	35840
T	T800										0
Итого:				4.94			8.98		147.0		73640
Прочность, Н/мм, требуемая:								77			
Запас прочности K=8.4								1.91			

Выход ☐ Да

Общая толщина дна:

№ вариан- та	Пирог	Толщина, мм			
		Внутр. х/с слой	Коестр. слой	Нар. х/с слой	Общий
1	M450+T580+M450+T560+M450/2+M450+T560+M450/2	3,0	5	1,5	15

Исходные данные:

Внутр. диаметр, $D_i = D_0$, мм

3000

Толщина ламината стенки, мм

Рассчитать



Рис. Ж.5 - Коническое днище без изгиба

А. Используется только с термопластичной сотовой

 t_c

расч. толщ. в месте пересечения конус. и цил. частей

20,673

 t_c/D_0

0,007

угол ϕ

31,53

Cos ϕ

0,85299466

Расстояние от верха пересечения конической и цилиндрической частей, на котором должна быть увеличена толщина, мм:

$$L_k = (D_i / 4 \cdot \cos \phi) \cdot 0,5 = 272$$

(Ж.2)

Ж.3.3 Конические днища, на которые воздействует внутреннее давление

Единичная нагрузка, Н/мм:

$$Q = 0,5 \cdot p \cdot D_i \cdot \cos \phi = 52,8$$

(Ж.9)

где:

p

0,83 МПа

внутреннее давление, МПа

6,03

0,259 бар

3059,16 Па

Продольная единичная нагрузка в месте пересечения конической и

цилиндрической частей днища без изгиба конического днища Q_{cy} , Н/мм:

$$Q_{cy} = 0,5 \cdot p \cdot D_i \cdot K_{cy} = 157,7$$

(Ж.11)

где:

 K_{cy}

3,504419

коэффициент формы для конических днищ по таблице Ж.3.

Таблица Ж.3 Коэффициент K_{cy} формы для конических днищ по рис. Ж.5

t_c/D_0	Угол ϕ			
	15	30	45	60
0,002	2,04	5,02	5,9	13,6
0,005	2,05	5,1	5,8	8,7
0,01	1,6	5,75	4,12	6,3
0,02	1,24	5,2	3,4	4,4
0,04	1	1,55	2,2	3,7
0,05	1	1,45	2	2,75

Интерполяция:

t_c/D_0	Угол ϕ		
	30	45	
0,005	3,7	5,8	
0,01	3,75	4,12	

Проверка 1: 3,504419 3,72 5,126

Проверка 2: 3,504419 3,9142

2,85974

Б.1

Расчет толщины днища

Приблизительно конструктивный подход без учета изгиба:

$$B_{\text{расч}} = \sqrt{p \cdot D_i \cdot K_{cy} \cdot 10^3} = \sqrt{52,8 \cdot 3000 \cdot 3,504419 \cdot 10^3} = 11,34$$

Код слоя	Тип армирования (только мат, ткань и т.п.)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во всех направлениях		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность, г/м²	Общ. масса B, кг/м²	Содержание, % масса	св-я	общая	всего, Н/мм	на ос., Н/мм	$E_{\text{ср}}$, Н/мм	$E_{\text{ср}}$, Н/мм
M	M300			6,3	30	0,026	13,504	175,4	28,0	14750	38200
M	M450	14	450	6,3	40	0,041	7,569	161,3	32,0	16020	40540
T	T560	9	560	5,04							
T	T800										
Итого:			11,34				26,673	338,0			168840
Прочность, Н/мм, требуемая:								158			
Запас прочности K=8,4								2,14			
Выход								Ок			

Общая толщина дивана:

№ параметра	Вид	Толщина, мм			
		Внутр. х/с слой	Констр. слой	Нар. х/с слой	Общий
1	M450+T560+M450+T560+M450/4+(M450+T560+M450)*1	3,26	20,7	1,5	26

Наименование элемента конструкции: **Крышка люка-лаза**

▲

Плоские панели, проектируемые в соответствии с настоящим стандартом, должны быть армированы только CSM.

UPD: Добавлена возможность армировать WR

▲

Уравнение в данной разделе основано на рассмотрении как максимальной допустимой единичной нагрузки поверхности ламината, растяжения или сжатия, так и преобладающего предельного отклонения толщины панели. Толщина панели должна быть равна или быть больше, чем требуемая максимальная толщина панели.

**Е.5.1 Воздействие равномерно распределенной нагрузки на круглые панели**

Момент, вызванный равномерно распределенной нагрузкой, Н·м:

$$M_0 = q \cdot D^2 / 16 = 0$$

(E.5)

где:

Крайние условия:	Тип 0	заделанный край
β :	0,03125	константа, зависящая от крайних условий
D :	780	диаметр панели, мм
q :	0	МПа, t/m^2 расчетное единичное давление (вакуумное сжатие/дilatация, вакуум, атмосферный/ветровой)
γ :	0	бар
ρ :	0,00	g/cm^3

Е.5.2 Воздействие центральной местной нагрузки на круглые панели

Момент, вызванный местной нагрузкой, должен быть равен наибольшему значению, определенному по формулам (E.9) и (E.10) для крайних условий: Типа 1:

$$M = 0,325 \cdot W / \pi \cdot \ln(D_0 / (2 \cdot r)) = 30$$

(E.9)

$$M = W / 4 \pi = 16$$

(E.10)

$$M = \max(M_1) = 30$$

Момент, вызванный местной нагрузкой, для крайних условий Типа 2:

$$M = W / (4 \pi) \cdot (1,3 \cdot \ln(D_0 / (2 \cdot r)) - 1) = 44$$

(E.11)

где:

W :	200	воздействующая местная нагрузка, Н, или 200 г
r :	100	радиус локальной нагрузки, мм

Расчетный момент

Расчетный момент – момент, возникающий в панели в результате наихудшей комбинации распределенных нагрузок, например давление, вакуум, гидростатический напор, ветровые и снеговые нагрузки, плюс момент, вызванный любой местной нагрузкой

Расчетный момент $M_{\text{рас}}$, Н·м:

$$M_{\text{рас}} = \sum M_i = 30$$

(E.1)

где:

$M_{\text{рас,атм}}$:	0	момент, вызванный воздействием вакуума, Н·м
$M_{\text{рас,сн}}$:	0	–/– снеговой нагрузки, Н·м
$M_{\text{рас,в}}$:	0	–/– ветровой нагрузки, Н·м
$M_{\text{рас,р}}$:	0	–/– равномерно распределенной нагрузки, Н·м
$M_{\text{рас,л}}$:	30	–/– местной нагрузки, Н·м

▲ Необходимо проводить проверочные вычисления, чтобы убедиться, что толщина конечного ламината такова, что деформация панели не превышает толщину панели.

Е.5.3 Масса на единицу площади армирующего наполнителя

Проверка общей массы на единицу площади ламината (CSM и WR):

$$m_{\text{CSM}} + U_{\text{CSM}} \cdot \rho_{\text{CSM}} + m_{\text{WR}} + U_{\text{WR}} \cdot \rho_{\text{WR}} = 14234 > 180 = 6 \cdot M_0$$

(E.12)

где:

	CSM	WR	Ок
U :	28,0	32,0	расчетная уд. нагрузка, Н·м/мм кг, с К0,4
ρ :	2,34	1,41	толщ. панели, мм кг/м ³ (см. раз. 5.5)
m :	30	45	массовое содержание арми. наполнителя, %
ρ :	1,3	1,3	относительная плотность смолы

(E.2)

▲ Вязание использовать только мат, так как дает меньшую трещино- на мате.

Требуемая минимальная толщина панели из условий деформации:

$$t_{\text{CSM}} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot \beta \cdot q \cdot D_0^2 / (E_{\text{CSM}} + 6 \cdot W / D_0^2 / E_{\text{CSM}})}{2}} = 5,3 < 40,41 = t_{\text{CSM}}$$

(E.13)

где:

β :	0,01066	β :	0,06431	константы, зависящие от крайних условий.
-----------	---------	-----------	---------	--

$$E_{\text{CSM}} = K_{\text{CSM}} \cdot t_{\text{CSM}} = 8200 \text{ модуль Юнга, Н/мм}^2$$

(E.8)

Е.1 Расчет толщины панели

Прав. толщ. из конструктивных сойд. без учета химстойкого:

$$t_{\text{пан}} = T_{\text{CSM}} + M_{\text{рас}} / T_{\text{CSM}} = 40,41 \text{ мм}$$

Код слоя	Тип армирования (только мат, ткань)	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во всех направлениях		Модуль упругости при растяжении	
			Плотность слоя m, г/м²	Общ. масса M, г/м²	Содержание, %масс	слой	общая	всего, Н/мм	на кв. мм/мм²	X _{ср} , Н/мм²	X _{длин} Н/мм²
M	M300										0
M	M450	27	450	12.15	30	0.936	25.272	340.2	26.5	14900	170100
T	T500	18	500	10.08	40	0.941	15.138	322.6	32.3	16000	181200
T	T600										0
			Итого:		22.23		40.41	662.8			351380
В т.ч.			M	12.15							
			T	10.08							

Общая толщина дна:

№ варианта	Параметры	Толщина, мм			
		Экстра-слой	Констр. слой	Наруж. слой	Общий
1	M450+T50+M450+T50+M450+T50	3.96	40.4	1.9	46

Наименование элемента конструкции: **Секрет взрыва**

Пластина панели, проектируемые в соответствии с требованиями стандарта, должны быть армированы толщ. СSM.

UPO: Добавлена возможность армировать IAR.

Усиления в данном разделе основаны на расчете при максимальном допустимом единичном нагрузке пластин: жесткости, растяжения или сжатия, так и прогибающего момента, отклонения толщины панели. Толщина панели должна быть: равна или быть больше, чем требуемая минимальная толщина панели.

Б.6 Пластины в форме части круга и треугольной пластины

Момент, вызванный равномерной (распределенной) нагрузкой, $M_{\text{пл}}$, Н·мм:

$$M_{\text{пл}} = q \cdot r^2 \cdot \alpha = 0$$

(E.14)



Угол, рад (градус)

Граничные условия

0,000 радиус панели или, в случае равнобедренной треугольной панели, длина одной из сторон, мм

0 МПа, Н/мм² расчетное единичное давление (полюсное)

0 бар расчетное давление, атмосфера, кг/см²

0,000 кН/м² ветровая нагрузка в т.д.

0,78539816 (45)

Тип 2

Таблица Б.2 Константы α и β для пластин треугольной и сегментов круговой формы

Формат	Граничные условия	Константа	Угол			
			1	2	3	4
Тип 1	Крепление по краям	α	0,78539816 (45)	1,071786	1,570796	3,141593
		β	0,0001	0,00102	0,0144	0,0360
Тип 2	Крепление со всех сторон	α	0,0076	0,0134	0,0488	0,0756
		β	0,0054	0,01	0,0346	0,0466
		β	0,0183	0,0255	0,0381	0,0466

α 0,0054 константа

β 0,0183 зависящая от угла

не считая 1 по счету

Параметры 1 2

Масса на единицу площади армирующего материала

Проверка общей массы на единицу площади панели (SSM и IAR):

$$m_{\text{SSM}} + m_{\text{IAR}} = m_{\text{пл}} + m_{\text{ар}} = 12495 > 0 = M_{\text{пл}}$$

(E.15)

где:

SSM 20,0 37,0 расчетная нагрузка, Н·м/мм², с К=8,4

IAR 2,34 3,47 толщ. панели, мм (см. Б.5)

m_{пл} 30 40 массовое содержание армирующих элементов, %

α 1,2 1,2 относительная плотность смолы

(E.16)

Δ Выдающее использовать только вет. темн. дает меньшую прочность на изгиб!

Требуемая минимальная толщина панели из условий деформации:

$$t_{\text{min}}/M_{\text{пл}} \text{ (Н·мм/мм}^2\text{)} = 0,0 < 28,704 M_{\text{пл}}$$

(E.16)

где:

$$E_{\text{см}}/X_{\text{см}}/t_{\text{ар}} = 8731 \text{ модуль Юнга, Н/мм}^2$$

(E.18)

Б.1 Расчет толщины панели

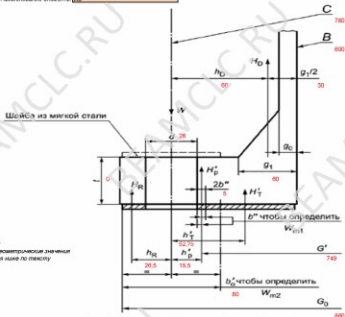
Парог (толщ. конструкции) парог, без учета армирования:

$$(R_{\text{пл}} + R_{\text{ар}}) M_{\text{пл}} + T_{\text{пл}} + R_{\text{ар}} M_{\text{ар}} = 40$$

Код слов	Тип армирования (только изогл. ткань и вуаль)	Код-арм. элемент	Армирование (стекло)			Толщина, мм		Прочность, во все направления		Модуль (упругости при растяжении)	
			Плотность слоя, г/м ²	Общ. масса, кг/м ²	Содерж. жем., %	слоя	общая	всего, Н/мм ²	на ед. ж.м/мм ²	E, Н·м/мм ²	X _{см} , Н/мм
M	M200	45	300	13,8	35	0,824	28,704	386,6	28,5	14000	193200
M	M450	1	450	0	35	0,930	0	0,0	28,0	14000	0
T	T560	0	560	0	45	0,841	0	0,0	32,0	16000	0
T	T800										0
			Итого:	13,8			28,704	386,6			193200
			В т.ч.:	M	13,8						
				T	0						

Общая толщина панели:

№ вариант	Парог	Толщина, мм			
		С-мат. (стекло)	Констр. слой	Нар. (стекло)	Общая
1	T560+M450+T560+M450, T=40 307,48	3,68	28,7	1,0	34

Наименование элемента: **ДБ**

Примечание:
Указанные асимметричные значения
вычисляются ниже по тексту

Рисунок Л.2 - Полнопрофильный фланец с мягкой уплотняющей прокладкой

Л.4 Болтовые нагрузки на фланец

Л.4.1 Рабочие условия

Минимальная болтовая нагрузка для рабочих условий W_{m1} , Н:

$$W_{m1} = H' + H'_R + H'_T = 0 + 0 + 0 = 0 \quad (\text{Л.1})$$

где:

а) Общая торцевая гидростатическая сила (при затяжке фланца), Н:

$$H' = \pi \cdot d \cdot (C - d) \cdot p = 0 \quad (\text{Л.2})$$

где:

C	790	диаметр окружности центров отверстий под болты, мм	При геометрии: Сх
B	600	внутренний диаметр фланца, мм	
G	200	внешний диаметр уплотняющей прокладки или внешний диаметр фланца,	
g	60	толщина воротника фланца с задней стороны фланца, мм	
2b''	5	диаметр отверстий под болты, мм	
p	0 МПа (0 атм)	расчетное давление (находящееся сочетание давления, вакуума, сжатого воздуха и т.д.)	
	0 бар		
	0.00 атм		

б) Сжимающая нагрузка на уплотняющую прокладку, обеспечивающая плотное соединение, Н:

$$H'_R = 2b'' \cdot \pi \cdot G' \cdot m = 0 \quad (\text{Л.3})$$

где:

$$2b'' = 5 \quad \text{эффективная контактная ширина уплотняющей прокладки под давлением, мм} \quad (\text{Л.4})$$

$$G' = C - (d + 2b'') = 790 \quad \text{диаметр в месте реакции уплотняющей прокладки на сжимающую нагрузку, мм}$$

$$m = 1 \quad \text{коэффициент уплотняющей прокладки}$$

в) Уравновешивающая противодействующая сила, действующая на окружности центров отверстий под болты, Н:

$$H'_T = H_1 \cdot h_1 + H_2 \cdot h_2 + H_3 \cdot h_3 + H_4 \cdot h_4 = 0 + 0 + 0 + 0 = 0 \quad (\text{Л.5})$$

- где:
 $H_1 = 4 \cdot b^2 \cdot p = 0$ торцевая гидростатическая сила, действующая на внутреннюю поверхность фланца, т.е. сила, передающаяся через соединение на фланец, Н (Л.6)
 $r_1 = R + 0,5 \cdot p = 60$ расстояние по радиусу от окружности центров отверстий под болты до окружности, на которую действует торцевая гидростатическая сила, воздействующая на внутреннюю поверхность фланца, мм (Л.7)
 $R = (D - B) / 2 \cdot p = 30$ радиус, мм (Л.8)
 $H_2 = H - H_1 = 0$ торцевая гидростатическая сила, вызванная давлением на опорную поверхность фланца (Л.9)
 $b_1 = (C + d + 2 \cdot b - B) / 4 = 52,5$ Расстояние по радиусу от окружности центров отверстий под болты до окружности, на которую действует торцевая гидростатическая сила, вызванная давлением на опорную поверхность фланца, мм (Л.10)
 $r_2 = (d + 3 \cdot b) / 2 = 15,5$ Расстояние по радиусу от окружности центров отверстий под болты до окружности, на которую действует сжимающая нагрузка на уплотняющую прокладку, мм (Л.11)
 $b_2 = (D_1 - C - d) / 4 \cdot p = 36,5$ Расстояние по радиусу от окружности центров отверстий под болты до окружности, на которую действует сжимающая противодействующая сила, воздействующая снаружи окружности центров отверстий под болты, мм (Л.12)

2.4.2 Условия затяжки болтов

Минимальная болтовая нагрузка на незаданную прокладку, Н:

$$W_{0,1} = 4 \cdot \pi \cdot C \cdot y \cdot b_2 \cdot r_2^2 = 122736 \quad (\text{Л.13})$$

- где:
 $b = 0,7$ относительная ширина фланца уплотняющей прокладки для вычисления минимальных сжимающих нагрузок при посадке, используя коэффициент y (Л.14)
 $y = 0,4$ коэффициент для мягкой резины без асбеста, Н/мм² (Л.14)
 $b_2 = D_1 - C = 61$ основная ширина фланца уплотняющей прокладки при начальной затяжке (затяжка равномерно распределенной относительно окружности центров отверстий под болты), мм (Л.15)

Минимальная площадь болта $A_{b,1}$ должна определяться для $W_{0,1}$ или $W_{0,2}$, используя номинальную болтовую нагрузку, при температуре, соответствующей общим условиям, т.е. $A_{b,1}$ равно $A_{b,1}$ или $A_{b,2}$, в зависимости от того, какое из значений больше.

- $t_{\text{расч}} = 20$ Температура расчехления, °C (Л.16)
 $t_{\text{среда}} = 20$ Температура окружающей среды, °C (Л.17)
 $A_{b,1} = W_{0,1} / R_b = 0$ Минимальная площадь болтов для рабочих условий, мм² (Л.16)
 $A_{b,2} = W_{0,2} / R_b = 1300$ Минимальная площадь болтов для фланца уплотняющей прокладки, мм² (Л.17)
 $A_b = \text{Max}(A_{b,1}; A_{b,2}) = 1300$ Минимальная площадь болта, мм²

- где:
 Материал болта Уптр.ст.
 $S_1 = 80$ номинальное расчетное напряжение болта при температуре окружающей среды (табл. Л.1),
 $S_2 = 93$ то же, при расчетной температуре (табл. Л.1).

Таблица Л.1 - Рекомендуемые расчетные значения напряжения для материалов болтов, Н/мм²

№ п/п	Материал или класс прочности болта	Диаметр, мм	Рекомендуемые расчетные напряжения для расчетной температуры (°C), не превышающей, Н/мм ²						Не откручивать/откручивать
			20	80	100	200	300		
1	Уптр.ст.	12	93	93	89	85	81	И-100	Данные из ГОСТ 55672-2012
2	1% хр-мд.ст.	12	193	193	181	167	150	И-100	
3	8.8	12	190	142,5	130	115	97,5	И-100	Данные таблицы
4	8.8	12	330	307,5	290	270	240	И-100	
5	10.9	12	470	453,75	437,5	395	352,5	И-100	Потребление А. Все значения действительны
6	12.9	12	590	530	510	462,5	412,5	И-100	

Подбор количества и размера болтов:

- $d = 24$ Диаметр болта, мм (Л.18)
 $n = 40$ Количество болтов, шт (Л.19)
 $F_b = 363$ Действительная площадь болта, мм² (Л.20)

Действительная площадь всех болтов, мм²
 $A_b \cdot F_b = 14120 > 1300 \cdot A_b$ (Л.21)

Л.5 Расчет фланца

Тип фланца: Полный (Л.22) $k_F = 1$ (Л.23)

Если используется металлический свободный опорный фланец разъемной конструкции, то должно быть сделано допущение для эффекта потери непрерывности во фланце. Толщина фланца должна быть не менее 1,4 толщины.

выполненной для идентичного опорного фланца цельной конструкции.

Требуемая минимальная толщина фланца, мм:

$$t_{\text{фл}} = K_2 \sqrt{6 M Y_{\text{фл}} / (\pi \cdot \sigma_{\text{фл}} \cdot d_{\text{фл}})} = 72,6 \text{ мм} \quad \text{Ок} \quad (\text{Л.18})$$

где: $M_{\text{фл}}, \text{Н}\cdot\text{м}$ 0 Максимально допустимый изгибающий момент во фланце, Н·м (Л.19)

$\sigma_{\text{фл}} = U_{\text{фл}} / A_{\text{фл}}, \text{Н}/\text{мм}^2$ 12 (Л.20)

$U_{\text{фл}}, \text{Н}$ 20 Расчетная осевая нагрузка для слоя GSM, Н (Н/мм² с коэффициентом $K=8,4$ (Л.20)

$t_{\text{фл}} = 0,59 \cdot \sqrt{100 \cdot m_{\text{фл}} / \sigma_{\text{фл}}} = 2,34$ толщина ламели, мм (Л.21)

где: $m_{\text{фл}}, \text{г}/\text{мм}^2$ 30 массовое содержание армирующего наполнителя, % (Л.22)

$\sigma_{\text{фл}}, \text{Н}/\text{мм}^2$ 7,9 расчетная плотность смолы (Л.23)

5.1 Расчет толщины фланца

Код слоя	Тип армирования	Концентрация слоя, %	Плотность слоя, г/мм ³	Объемная масса, г/мм ³	Толщина слоя, мм	X_1	$X_{\text{сум}}$, Н/мм ²
M	GSM (г/мм ²)	99	0,45	29,7	1,1	72,6	14000
T	WFR (г/мм ²)	0	0,56	0	0,7	0	16000
Итого:					29,7	72,6	415000

Не рекомендуется!!

Л.8 Болтовое соединение

Требуемый шаг болтов $S_{\text{бт}}, \text{мм}$:

$$S_{\text{бт}} = 2 \cdot d_{\text{бт}} \cdot (1 + 0,5 \cdot (E_{\text{фл}} / 200000)^{0,5}) = 157 \quad (\text{Л.21})$$

где: $E_{\text{фл}} = K_{\text{фл}} \cdot X_{\text{сум}} / A_{\text{фл}}, \text{Н}/\text{мм}^2$ 5727 модуль Юнга, Н/мм² (Л.24)

Тогда мин количество болтов во фланце: 10 < 40 шт. Ок

Проверка давления под шайбой

Шайба	Узел	Стандартная или увеличенная?
Исполнение	A	C-трубо, А-точное
$d_{\text{ш}}, \text{мм}$	72	наружный диаметр, мм
$d_{\text{в}}, \text{мм}$	20	внутренний диаметр, мм
$A_{\text{ш}}, \text{мм}^2$	3561	Площадь шайбы, мм ²

$F_{\text{фл}} = U_{\text{фл}} / A_{\text{фл}}, \text{Н}/\text{мм}^2$ 100259 максимально воспринимаемое стеклопластиковое усилие под одной шайбой, Н

$F_{\text{фл}} = m_{\text{фл}} \cdot (W_{\text{фл}} / W_{\text{бт}}) \cdot m_{\text{бт}}$ 3098 то же, минимально от нагрузки, Н

Напряжение под шайбой, Н/мм²

$$\sigma_{\text{фл}} = 29,0 \text{ минимальное} < 14,3 = U_{\text{фл}} / 2 \quad \text{Ок}$$

Момент затяжки, Н·м

$$M_{\text{зат}} = F_{\text{зат}} \cdot (1/2 \pi + 0,583 \cdot d_{\text{бт}}) \cdot m \cdot (d_{\text{бт}} + 6,34) \cdot \mu = 483 \text{ номинальный}$$

$$M_{\text{зат}} = F_{\text{зат}} \cdot (1/2 \pi + 0,583 \cdot d_{\text{бт}}) \cdot m \cdot (d_{\text{бт}} + 6,34) \cdot \mu = 14 \text{ минимальный}$$

где: Резьба болта 8.8.8.8 Мелкая или крупная? (ГОСТ Р 52627-2008)

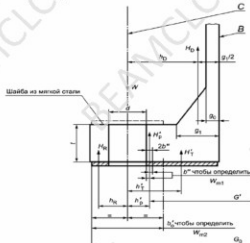
μ 0,2 шаг резьбы, мм 4 (столбец, откуда брать)

$d_{\text{бт}}, \text{мм}$ 21,200 диаметр резьбы, мм

$d_{\text{в}}, \text{мм}$ 36 размер под шайбу, мм

m 0,15 коэффициент трения в опорной поверхности болта

Наименование элемента	АВ	А1	В1	С1	Д1	Г1	Д2	Г2	Д3
DN	600	500	400	300	200	100	80	50	600



Рисунки Л.2 - Полнораспределенный фланец с мягкой уплотняющей прокладкой

В	600	500	400	300	200	100	80	50	600	мм	внутренний диаметр фланца
С	750	680	600	480	380	280	240	230	780	мм	диаметр окружности центров отверстий под болты
Д	810	760	660	540	460	360	340	310	860	мм	внешний диаметр уплотняющей прокладки или номинальный диаметр фланца, в зависимости от того, что меньше
В1	50	50	60	60	60	60	60	60	...	мм	толщина болтового фланца с задней стороны фланца
д	25	14	14	14	14	10	18	22	22	мм	диаметр отверстий под болты
р	0	0	0	0	0	0	0	0	0	МПа	расчетное давление
	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	Атм	то же

Он

Примечание:

Данные жёсткой опорной рамы
должны быть отображены на чертеже!

DN	600	400	300	200	100	50	600
----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----

Б.4.1 Рабочие условия

$H = p/4 \cdot (C \cdot d)^2 \cdot \rho =$	0	0	0	0	0	0	0	0	Н	а) Общая горизонтальная гидростатическая сила (при загрузке фланца) (Л.2)	
$2l \cdot F =$	5	3	3	3	3	3	3	3	мм	б) Эффективная контактная площадь уплотняющей прокладки под давлением	
$G = C \cdot (d + 2b) \cdot \rho =$	745	661	563	463	361	265	237	203	753	мм	в) Диаметр в месте реакции уплотняющей прокладки на соединяемую деталь (Л.4)
$\mu =$	1	1	3	3	1	3	3	1	1		коэффициент уплотняющей прокладки
$H_p = 2b \cdot \pi \cdot G \cdot m \cdot \rho =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Н	б) Сжимающая нагрузка на уплотняющую прокладку, обеспечивающая минимальное сжатие (Л.3)
$H_0 = (H_p \cdot h_0 + H) \cdot \rho = H_p \cdot \rho \cdot h_0 =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Н	а) Уравновешивающая противодавление сила, противодействующая сжимающей силе центра отверстия под болтом (Л.5)
$W_{бол} = H_p + H_0 + H_p =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Н	б) Мин. болтовая нагрузка для рабочих условий (Л.3)
$\gamma =$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	мм/мм	коэффициент для мягкой резины без асбеста (Л.3б)

Б.4.2 Условия затяжки болтов

$W_{бол} = 4 \cdot n \cdot C \cdot F \cdot (h_0 \cdot \gamma)^{0,5} =$	122738	107002	91264	75581	59795	44060	40913	36192	122738	Н	Мин. болтовая нагрузка на шпильку уплотняющей прокладки (Л.3б)
$t_{бол} =$	20	20	20	20	20	20	20	20	90	°C	Температура расчетная (общая для емкости)
$t_{сред} =$	20	20	20	20	20	30	20	20	80	°C	Температура расчетная (перепредельная)
$A_{бол} = Mod((A_{бол1} \cdot A_{бол2}))^{0,5} =$	1320	554	285	504	643	138	440	241	661	мм	Минимальная площадь болтов
Материал болта	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь	Углерод. сталь		Материал болта
$S_b =$	93	193	320	150	93	320	93	150	142,5	мм ²	Нормальное расчетное напряжение болта при температуре окружающей среды (табл. Б.1)
$S_c =$	93	193	320	150	93	320	93	150	142,5	мм ²	То же, при расчетной температуре (табл. Б.1)

Подбор количества и размера болтов

$d_b =$	24	12	12	12	12	8	36	20	20	мм	Диаметр болта
$n =$	40	24	20	16	12	8	4	4	24	шт	Количество болтов
$F_b =$	853	84	84	84	84	37	157	245	245	мм ²	Действительная площадь болта
	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Проверка типоразмера
$A_b \cdot F_b \cdot n =$	14120	2023	1696	1349	1012	293	628	980	5880	мм ²	Действительная площадь всех болтов
	91%	73%	83%	63%	36%	53%	30%	75%	85%	%	Запас по болтам

Б.5 Расчет фланца

$t_{фл} = [6 \cdot M / (X_{фл} \cdot (n \cdot C \cdot d))]^{0,5} =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	мм	Требуемая мин. толщина фланца (Л.18)
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	%	Запас по толщине

Б.5.1 Расчет толщины фланца

DN	600	400	300	300	200	100	80	50	600		
k	66	67	62	37	49	47	106	100	44	слой	Кол-во слоев лага CSM
	0,43	0,3	0,3	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	г/м ²	Плотность слоев CSM
m _{CSM}	29,7	20,4	18,6	25,65	22,05	28,15	45	45	19,8	г/м ²	Общ. масса CSM
t _{CSM}	1,3	0,7	0,7	1,3	1,1	1,3	1,3	1,1	1,1	мм	Толщина одного слоя CSM
t _а	72,8	47,8	43,4	62,7	53,9	21,7	110	110	48,4	мм	Общая толщина слоя

8.6 Болтовое соединение

$S_{bol}=2 \cdot d_b + 6 \cdot U / (\pi + 0,5) (E_{steel} / 200000)$	167	103	96	127	112	141	213	221	119	мм	Требуемый шаг болтов (Л.21)
N_{bol}	15	21	19	12	11	9	4	4	21	шт	Требуемое количество болтов по фланцу
											Примечание

Проверка давления под шайбой:

Шайба	Углек.	Углек.	Углек.	Углек.	Углек.	Углек.	Сталь	Углек.	Углек.		Стандартная или увеличенная?
Исполнение	A	C	C	C	C	C	C	C	C		С-грубое, А-срнкое
d _н	72	37	37	37	37	24	30	60	60	мм	Наружный диаметр
d _в	25	13,5	13,5	13,5	13,5	9	17,5	22	22	мм	Внутренний диаметр
Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н	Q _н		Примечание

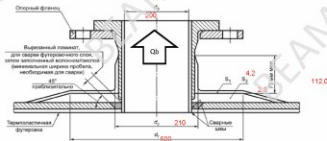
Момент затяжки

$M_{max}=F_{max} \cdot (S/4 \cdot 2\pi + 0,383 \cdot d_{max} \cdot \pi) / (4 \cdot \pi \cdot d_b)$	463	62	62	62	62	18	41	26	767	Н·м	Максимальный момент затяжки
$M_{min}=F_{min} \cdot (S/4 \cdot 2\pi + 0,383 \cdot d_{min} \cdot \pi) / (4 \cdot \pi \cdot d_b)$	34	11	11	11	11	3	8,2	30	20	Н·м	То же, минимальный
Резьба болта	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.	Крупн.		Мелкая, Крупная?
k	3	1,75	1,75	1,75	1,75	1,25	2	2,5	2,5	мм	Шаг резьбы
d _{резьб}	21,200	10,360	10,360	10,360	10,360	6,826	14,139	17,662	17,662	мм	Мин. диаметр резьбы болта
d _{бол}	36	18	18	18	18	13	24	30	30	мм	Размер болта под ключ
μ	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		Коэффициент трения в опорной поверхности болта

Исходные данные

Наименование патрубка	H1 DN150
Положение патрубка	корпус
Внутренний диаметр ёмкости D	3000 мм
Диаметр патрубка, d	200 мм
Толщина стенки патрубка (лайнер/констр)	5 мм
Расчётное давление P	0,2 МПа
	1,974 бар
	20394,40 кг/м ²
Окружная нагрузка в теле патрубка, Q _ф	20 Н/мм ²
Минимальная общая масса стекла в патрубок	0,715 кг/м

Эффективный диаметр, d _{эф} , мм	200
Диаметр приформовки d _п , мм	500
Проверка 2d _ф < d _п < 3d _ф	400 < 500 < 600
Полный диаметр приформовки, мм	90



Схематическое изображение типовых патрубков:
установленный заподлицо патрубок с термопластичной фулеровой
Рисунок 3.5

К.2.2 Расчет компенсации (основного ламината, и.л.з.к.с.с.)

Требуемая несущая способность компенсационного ламината А, Н

$A = d \cdot U = 36750$ (K €)

520K

$U_i = \max(Q_{\text{ф}}, Q_{\text{с}}) = 175,0$ Макс. требуемая расчетная нагрузка в пределах эффективного

диаметра отверстия (для отверстий в цилиндрическом корпусе)

Q_2 175.0 мВт сжатая сила в корпусе

Q. 100. \vec{F} — сила продольная сила в корпусе

Несущая способность подбранного компенсационного слоя $A_{\text{н}}$ Н

$$A = (d - d_0) U_{0,0} = 11020 \quad \text{e} \quad 36750 = A_1 \quad (K.2)$$

1

Проверка прочности соединения анальгесту:

$$A_c = S \cdot F \cdot 0.4 \cdot (0.1 - d_c) = 58829 > 36750 = A_s \quad (K.4)$$

OK, sync 1.6

720

6) прочность соединения внахлестку при сдвиге ($\min(WR, CSM)$)

F 8.4 м-г безопасности, должен быть не меньше, чем $K=8.4$

Б.1 Расчет толщины компенсации

Пирог (только конструкционный слой, без учета зимостойкого)

Долго умишляеть. Асі, Асе, см Р 5 4

Код слоя	Тип армирования	Кол-во слоев, л	Армирование (слоями)		Толщина, мм		U _к Нм/мм ²	U _{пол} Нм/мм
			Плотность, г/м ²	Сред. нагрузка, Н/м ²	слоя	общая		
M	M450	3	450	1,35	0,936	2,808	23	37,8
		#10	#10		#10	0	35	38
			Итого:	1,4		2,8		

К.2.3. Порокрывающий ламинат (индекс $\sigma_{\text{пл}}$)

Несущая способность при повышенной прочности в ламинате А_с. Н

$$A_c = (d - d_c) \cdot (U_{1,0r} - U_{1,c}) = -39730$$

$A_c + A_s > A_{c,7}$ Дополнительной прочности нет

(K.5)

Нагрузка в перекрывающем ламинате, Н/мм:

$$Q_{1,r} = r \cdot d_c / 2 = 21,0 < 69 = U_{1,r}$$

СК, запас 3,29

K.2.6. Усилие вырыва (давление P + сила F и момент M на патрубке)

Усилие вырыва $Q_{1,r}$, Н/мм:

$$Q_{1,r} = P \cdot d_c / 4 + F_{1,r} / (\pi \cdot d_c) + 4 \cdot M_{1,r} / (\pi \cdot d_c^2) = 80,0 > 69 = U_{1,r}$$

где:

$F_{1,r}$ 30000 Дополнительная максимальная сила на патрубок, Н

$F_{1,r}, F_{1,r}$ 30000 Дополнительная максимальная сила на патрубок, Н

$M_{1,r}, M_{1,r}$ 700 Момент, Н·м

$M_{1,r}, M_{1,r}$ 700 Момент, Н·м

Увеличить толщину!

Длина перекрывающего слоя в патрубке (не менее 75мм), мм:

$$L_{1,r} = \max(L_{1,r}, L_{1,r}) = 112,0$$

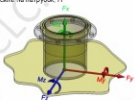
$$L_{1,r} = Q_{1,r} / K / 8 = 112,0$$

$$L_{1,r} = 75$$

B.1 Расчет толщины перекрывающего ламината

Пирог (только конструкционный слой, без учета химстойкого):

$$M_{1,r} \cdot 3 + T_{1,r} \cdot 2 + W_{1,r} = 1,682$$



(И.1)

Код слоя	Тип армирования	Кол-во слоев n	Армирование (стекло)		Толщина, мм		$U_{1,r}$ Н·м/мм ²	$U_{1,r}$ Н/мм
			Плотность слоя ρ_s , г/см ³	Объём. масса M_s , кг/м ³	слой	общая		
M	M300	4	300	1,2	0,624	2,496	28	33,6
T	T560	2	560	1,12	0,841	1,682	32	35,84
Итого:				2,32		4,2		69

Исходные данные

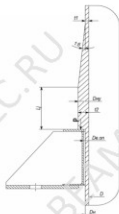


Рис.1 Расчетная схема

Внутренний диаметр обечайки D, мм	3000
Толщина обечайки t1, мм	15
Наружный диаметр обечайки Dн, мм	3030
Толщина опорного утолщения t2, мм	40
Наружный диаметр утолщения Dст.вн, мм	3280
Внутренний диаметр стальной опоры Dст.оп, мм	3635
Нагрузка на опору P, Н (кг)	100000 (10194)

Расчет на смятие

Площадь опирания A, мм ²	216122
Напряжение под опорой $\sigma = P/A$, Н/мм ² (МПа)	0,463
Прочность стеклопластика на сжатие, σ_c , Н/мм ² (МПа)	62 см. Приложение 6.1
Расчетная прочность, $\sigma = \sigma_c/K$, Н/мм ² (МПа)	7,381
Запас прочности, выше σ -та $K \geq 8,4$	16,0 условие выполняется (>1)

Расчет на срез

Эффективная длина опорного утолщения, мм

$$L_e = Q_s \cdot K/S = 14,68$$

(И.1)

где:

$Q_s = P/(\pi \cdot D_{ст.вн})$	10,3	нормальная продольная единичная нагрузка, Н/мм
S	6	прочность соединения внешеступи при сдвиге для розинга, Н/мм ²
K	8,4	расчетный σ -т безопасности

Принятая длина опорного утолщения, мм	200
Запас по длине	13,6 условие выполняется (>1)



ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ФГУП «НИИ ПОЛИМЕРОВ ИМ. АКАДЕМИКА В.А.КАРГИНА»

Аттестат аккредитации лаборатории (центра)

рег. № РОСС.RU 0001.515753 от 11 марта 2012г.

606000 г.Дзержинск Нижегородской обл.

тел. (8313) 27-11-30

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1 от 24 декабря 2012г.

Заказчик работ – ООО «Роскомстрой»
603079 г.Н.Новгород, Московское шоссе, д. 181
Отбор проб произведен согласно письма от 12.11.2012г., договор № 90049

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ физико-механических свойств образцов стеклопластика

Наименование показателей	Температура испытаний, °С	Результат испытаний	Метод испытаний
1. Прочность при разрыве, МПа	21	333	ГОСТ 11262 Образцы тип 2, скорость испытания 25мм/мин
2. Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	21	тип 1 – 373 тип 2 – 538 тип 3 – 500	ГОСТ 4648
3. Прочность при сжатии, МПа	21	342	ГОСТ 4851 Скорость 25 мм/мин
4. Плотность, г/см ³	21	1,65	ГОСТ 15139
5. Водопоглощение за 24 часа, %	21	0,3	ГОСТ 4650

Начальник ОТК -
и.о. заведующего лабораторией



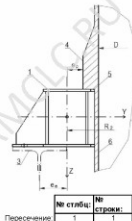
Ю.М.Горюшков

Внутренний диаметр D, мм	4200
Высота емкости H, мм	6076
Вес сосуда максимальный W1, Н (кг)	430 000 (43833)
Количество ног n, шт	4
Частичный фактор действия γ_f	1,25
Вес сосуда с учетом коэф W H (кг)	537 500 (54791)
Внутренний радиус опоры, мм	2176
Наружный радиус утолщения под опорой, мм	2161
Радиус R2, мм	2177
Расстояние ер, мм	50
Радиус по отверстиям крепления, мм	2425
Расстояние ес, мм	246
Расчетное сопротивление стали, R_y МПа	230
Расчетное сопротивление стали сдвигу, $R_s = 0,66 R_y$ МПа	153

Таблица 30 Изгибающие и скручивающие коэффициенты для расчета кольцевых балок

Кол-во ног, n	4	6	8	12
Нагрузка на каждую ногу W/n	134 375	89 583	67 188	44 792
Max сдвиг в кольцевых балках W/(n+2)	67 188	44 792	33 594	22 396
Cm1	-0,0342	-0,0148	-0,00827	-0,00395
Cm2	0,0176	0,00751	0,00415	0,0019
Cx	0,335	0,222	0,196	0,111
Ct	0,0053	0,0015	0,00063	0,000185

q	134 375
q	67 188
q	-0,0342
q	0,0176
q	0,335
q	0,0053



Изгибающий момент на опоре:

$$M1 = C_{m1} \cdot W \cdot R2 + 0,16 \cdot W \cdot e_r, \text{ Н мм (Н м)}$$

-35 714 142 (-35714)

Изгибающий момент между опорами:

$$M2 = C_{m2} \cdot W \cdot R2 + 0,16 \cdot W \cdot e_r, \text{ Н мм (Н м)}$$

24 892 073 (24892)

Расстояние, где скручивающий момент максимальный

$$x = C_x \cdot R2, \text{ мм}$$

729

Максимальный момент кручения

$$T = C_t \cdot W \cdot R2, \text{ Н мм (Н м)}$$

6 201 522 (6201)

Добавочный момент кручения

$$T_{add} = 0,5 \cdot W \cdot e_s / n, \text{ Н мм (Н м)}$$

16 679 188 (16679)

Общий момент кручения на опоре

$T_t = T + T_{add}$, Н мм/Н мм

22 870 190 (22860)

Нормальные напряжения между опорами

$\sigma_b = M_2 / W_y$, Н/мм² (МПа)

91,1

<

164

OK

$R_y \cdot 0,8$

Нормальные напряжения на опоре

$\sigma_b = M_1 / W_y$, Н/мм² (МПа)

107,8

<

164

OK

$R_y \cdot 0,8$

Касательные напряжения между опорами

$\tau_t = T / W_z$, Н/мм² (МПа)

44,5

<

106,72

OK

$R_s \cdot 0,8$

Касательные напряжения на опоре

$\tau_t = T / W_z$, Н/мм² (МПа)

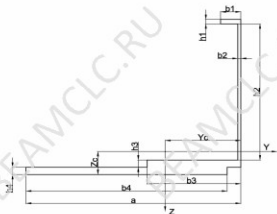
4,4

<

106,72

OK

$R_s \cdot 0,8$



b1, см	4
h1, см	1
b2, см	0.6
h2, см	30
b3, см	18.5
h3, см	1.6
b4, см	39.7
h4, см	1.6
a, см	42.4

Площади	
A1, см ²	4
A2, см ²	18
A3, см ²	29.6
A4, см ²	63.52

Расстояние до центра тяжести Zc, см

$$Z_c = \frac{\sum(A_i \cdot Z_{ci})}{\sum A_i} = 5.075$$

Расстояние до центра тяжести Yc, см

$$Y_c = \frac{\sum(A_i \cdot Y_{ci})}{\sum A_i} = 14.937$$

Моменты инерции площади сечения, см⁴

Поэлементно	Iy1	Iy2	Iy3	Iy4	Iyc
	0.333	1 350.000	6.315	13.551	9 121.217
	Iz1	Iz2	Iz3	Iz4	Izc
	5.333	0.540	844.717	8 342.770	18 367.476

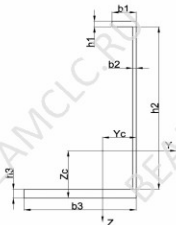
Момент сопротивления, см³

$$W_y = I_{yc} / Z_c = 331.382$$

$$W_z = I_{zc} / Y_c = 5 152.611$$

Статический момент площади полуосечения, см³

$$S_y = \sum A_i \cdot z_i = 319.169$$



$b1, \text{cm}$	4
$h1, \text{cm}$	1
$b2, \text{cm}$	0.6
$h2, \text{cm}$	30
$b3, \text{cm}$	18.5
$h3, \text{cm}$	1.6

Площади

$A1, \text{cm}^2$	4
$A2, \text{cm}^2$	18
$A3, \text{cm}^2$	29.6

Расстояние до центра тяжести Z_c, cm

$$Z_c = \frac{\sum (A_i \cdot Z_{ci})}{\sum A_i} = 8.738$$

Расстояние до центра тяжести Y_c, cm

$$Y_c = \frac{\sum (A_i \cdot Y_{ci})}{\sum A_i} = 5.566$$

Моменты инерции площади сечения, cm^4

Поэлементно	I_{y1}	I_{y2}	I_{y3}	I_{yc}
	0.333	1 350.000	6 315	6 517.530
	I_{z1}	I_{z2}	I_{z3}	I_{zc}
	5.333	0.540	8 442.7	1 801.836

Момент сопротивления, cm^3

$$W_y = I_{yc} / Z_c = 273.134$$

$$W_z = I_{zc} / Y_c = 139.309$$

Статический момент площади полуосечения, cm^3

$$S_y = \sum A_i \cdot z_i = 250.250$$

