

Ноябрь 2003

DVS – Немецкий Союз Сварки и родственных технологий

***Расчет емкостей и аппаратов из термопластов
Вертикальные емкости круглого сечения, не находящиеся под давлением***

Директива DVS 2205-2 (выдержка)

Замена редакции от октября 2000 г.

Содержание:

- 1 Область действия
- 2 Расчетные величины
- 3 Нагрузки
 - 3.1 Постоянные нагрузки
 - 3.1.1 Общий собственный вес конструкции
 - 3.1.2 собственный вес загружаемого материала
 - 3.1.3 Внутреннее и наружное давление
 - 3.2 Среднесрочные нагрузки
 - 3.2.1 Снеговая нагрузка
 - 3.2.2 Летняя температура
 - 3.3 Краткосрочные нагрузки
 - 3.3.1 Внутреннее и наружное давление
 - 3.3.2 Нагрузки вследствие передвижения по крыше
 - 3.3.3 Ветровая нагрузка
 - 3.3.4 Радиально-симметрическая нагрузка вследствие ветровой нагрузки
 - 3.3.5 Пониженное давление вследствие подсоса ветра
 - 3.3.6 Нагрузка в ходе монтажных работ
 - 3.4 Температура
- 4 Доказательство стабильности
 - 4.1 Доказательство прочности
 - 4.1.1 Воздействия
 - 4.1.2 Сочетание воздействий
 - 4.1.3. Корпус
 - 4.1.4 Дно
 - 4.1.5 Сварное соединение дно\корпус
 - 4.1.6 Конусообразная крыша
 - 4.1.7 Патрубки
 - 4.1.8 Анкерное крепление
 - 4.1.9 Подъёмные проушины
 - 4.2 Доказательства стабильности
 - 4.2.1 Наложение воздействий
 - 4.2.2 Корпус
 - 4.2.3 Конусообразная крыша
- 5 Приложения
 - 5.1 Пояснения
 - 5.2 Нормы и директивы
 - 5.3 Список литературы
 - 5.4 Температурно- и временнозависимые E-Модули для расчётов по стабильности и деформации.
 - 5.5 Конструктивные детали

1. Область действия

Указанные ниже правила по конструированию и расчетам действительны применительно к вертикальным емкостям цилиндрической формы, с плоским дном, изготавливаемым в заводских условиях из термопластов, в особенности из

- Поливинилхлорида (ПВХ / PVC),
- Полипропилена (ПП / PP),
- Полиэтилена (ПЭ / PE),
- Поливинилиденфторида (ПВДФ / PVDF).

Цилиндрическая обшивка с одинаковой или различной толщиной стен может свариваться из плит, или же представлять собой трубу, изготовленную методом намотки или экструзии.

Наряду с гидростатическими нагрузками также следует учитывать краткосрочные и долгосрочные воздействия давления. Установлены следующие минимальные значения:

Избыточное давление: $0,0005 \text{ Н/мм}^2$ (0,005 бар)

Пониженное давление: $0,0003 \text{ Н/мм}^2$ (0,003 бар)

Долгосрочное давление следует учитывать только тогда, когда оно действительно оказывает влияние.

Ограничения габаритных размеров:

Диаметр емкости : $d < 4 \text{ м}$

Соотношение: $h/d < 6$

Минимальная толщина стен: $s = 4 \text{ мм}$

Следует соблюдать требования соответствующих разделов права (к примеру, строительного права, водного права, совокупности правовых норм, обеспечивающих охрану труда наёмных работников и т.д.).

2. Расчетные величины

мм	a	Толщина сварного шва
	A_1	Коэффициент уменьшения, связанный с влиянием особой вязкости (соответствует A_4 в соответствии с положениями Директивы DVS 2205-1)
	A_2	Коэффициент уменьшения для среды при доказательстве прочности
	A_{2l}	Коэффициент уменьшения для среды при доказательстве стабильности и изменении формы
	A_B	Площадь дна
м^2		Площадь крыши
м^2	A_D	Площадь, воспринимающая ветровую нагрузку (часть поверхности) Развертка цилиндра
м^2	A_l	Ширина лапки / захвата
м^2		Ширина подъемного ушка
м^2	A_z	Вспомогательный коэффициент ветра, в соответствии с DIN 1055-4
мм	b_{pr}	$C_1 \cdot C_2$
мм	b_o	Коэффициент повышения напряжения
мм		Коэффициент, связанный с особенностями материала
		Вспомогательный коэффициент для кругового цилиндра,

c	-	находящегося под направленным наружу давлением
C	-	Номинальный внутренний диаметр
C ₁	-	Наружный диаметр патрубка
C ₂	-	Диаметр отверстия в подъемном ушке
C*	-	Максимальный диаметр цилиндра Минимальный диаметр цилиндра
d		Диаметр серьги / ушка
MM		Модуль упругости при краткосрочной нагрузке при T °C
d _A		Модуль упругости при краткосрочной нагрузке при 20 °C
MM		Модуль упругости при долгосрочной нагрузке при 20 °C
d _L		Долгосрочный коэффициент прочности сварного шва
MM		
d _{max}		
MM		
d _{min}		
MM		
d _{Sch}		
MM		
E _K ^{°C}		
H/мм ²		
E _K ^{°20C} H		
/мм ²		
E _L ^{°20C} H		
/мм ²		
f _s		
sD	-	Долгосрочный коэффициент прочности сварного шва крыши
-	-	Краткосрочный коэффициент прочности сварного шва
z	-	Краткосрочный коэффициент прочности сварного шва крыши
zD	-	Ускорение силы тяжести (9,81 м/с ²)
	-	Эквивалентная нагрузка на поверхность патрубков и т.п.
	H	вверху
	/мм ²	Вес крыши в зависимости от площади
A	H	Собственный вес дна
g _D	/мм ²	Собственный вес крыши
B	H	Общий собственный вес конструкции
	H	Собственный вес загружаемого материала
	H	Снеговая нагрузка
D	H	Собственный вес цилиндра
	H	Высота емкости
E	H	Уровень заполнения
	H	Уровень заполнения пояса i
F	H	Уровень остаточного заполнения
	M	Высота пояса i
s	M	Цилиндрическая высота
G _z	M	Высота самого нижнего пояса
	M	Нагрузка при краткосрочном воздействии
	M	Расчетное значение при краткосрочной нагрузке
F	M	Расчетное значение при долгосрочной нагрузке
FJ	M	Расчетное значение при среднесрочной нагрузке
RF h _{Z,i}	M	Расчетное значение при среднесрочной нагрузке
	M	Длительная прочность в течение 10 ⁻¹ ч.

z	H	Расчетное значение длительной прочности в течение 10^{-1} ч.
ZF	H	Расчетное значение длительной прочности при расчетном сроке эксплуатации при средней температуре
	H	Расчетное значение длительной прочности при среднем времени воздействия (например, если снег лежит три месяца при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)
	H	
	K	
l	H	Длина верхнего пояса запасного цилиндра
	H	Изгибающий момент при ветровой нагрузке
	H	Расчетное значение усилия растяжения мембраны у нижнего края цилиндра
	H	Расчетное значение при краткосрочном воздействии на крышу в соответствии с данными из табл. 5 и 6
	H	Расчетное значение при воздействии на крышу в соответствии с данными из табл. 5 и 6
	H	Симметричная радиальная нагрузка вследствие ветровой нагрузки
	H	Расчетное значение критического давления, вызывающего вздутие корпуса
	H	Вспомогательное значение
	H	Снеговая нагрузка на крышу
	H	Избыточное давление наполнителя на дно емкости
	H	Избыточное давление наполнителя на каждую нижнюю кромку при
l_0	H	ступенчатом расположении заполняющей среды
$M_{W,nZ,d}$	H	Постоянно действующее внешнее давление (или же пониженное внутреннее давление)
	H	Краткосрочно действующее внешнее давление (или же пониженное внутреннее давление)
$\sum P_{D,K,d}^{vorh}$	H	Постоянно действующее внутреннее давление
$P_{D,L,M,d}^{vorh}$	H	Краткосрочно действующее внутреннее давление
P_{eu}	H	Пониженное внутреннее давление вследствие подсоса ветра
	H	Вспомогательное значение
$P_{KM,d}$	H	Вспомогательное значение
P_{max}	H	Скоростной напор на части поверхности A_i
P_S	H	Максимальный скоростной напор, действующий на емкость
P_{stat}	H	Радиус цилиндра
	H	Расчетное значение прочности минимальной толщины стен
$P_{stat,i}$	H	Толщина стен основного элемента конструкции
	H	Толщина стен дна
P_u	H	Толщина стен крыши
	H	Расчетное значение прочности толщины стен подъемного ушка
P_{uK}	H	
$P_{\bar{u}}$	H	Толщина стен цилиндра
$P_{\bar{u}K}$	H	Толщина стен нижнего пояса
P_{us}	H	Толщина стен нижнего пояса, требуемая с точки зрения статики
$P_{w,d}$	H	Средняя толщина стен цилиндра
	H	Толщина стен самого верхнего пояса
	H	Толщина стен пояса i

p_1	Толщина стен верхнего пояса
$p_{\sigma,d}$	запасного цилиндра
q_j	Температура наружного воздуха
q_{max}	Температура крыши
r	Средняя t крыши расчетного варианта нагрузки в летнее
R_d	время
s	Температура среды
s_a	Температура стены приемной емкости
s_B	Температура стены емкости
s_D	Допустимая овальность
s_d	Ёмкость тары / объем заливки
s_O	Коэффициент ослабления
s_Z	Допуск на подъем
s_{ZF}	Ветровая нагрузка
s_{ZF}^*	Количество анкеров
s_{Zm}	Вспомогательное значение
$s_{Z,1}$	Угол наклона крыши
$s_{Z,i}$	Коэффициент
s_o	Коэффициент
T_A	Коэффициент для расчета дна
T_D	Коэффициент
T_D^*	Коэффициент
T_M	Установленное значение допуска на растяжение волокон на
T_W	краях
T_Z	Коэффициент частичной надежности воздействия/нагрузки
u	Коэффициент взвешивания в зависимости от вида нагрузки
V	Коэффициент частичной надежности сопротивления /прочности
v_A	Использование аксиальной стабильности в поясе i
	Использование стабильности оболочки
	Угол наклона крыши к вертикали
	Плотность материала ($\gamma = \rho \cdot g$)
	Плотность заполняющей среды
	Расчетное значение решающего напряжения сжатия u
	конусообразной крыши
	Расчетное значение критического напряжения, вызывающего
	вздутие конусообразной крыши
	Расчетное значение der решающего аксиального напряжения
	сжатия пояса i
	Расчетное значение критического напряжения, вызывающего
	вздутие пояса i
	Напряжение сжатия мембраны вследствие ветровой нагрузки

w_{gr}
W_j
z
α
α_D
β
δ
δ_B
δ_W
δ_σ
ε
Υ_F
Υ_I
Υ_M
$\eta_{A,i}$
η_M
κ
ρ
ρ_F
σ_d^{vorh}
$\sigma_{k,d}$
$\sigma_{i,d}^{vorh}$
$\sigma_{k,i,d}$
σ_W

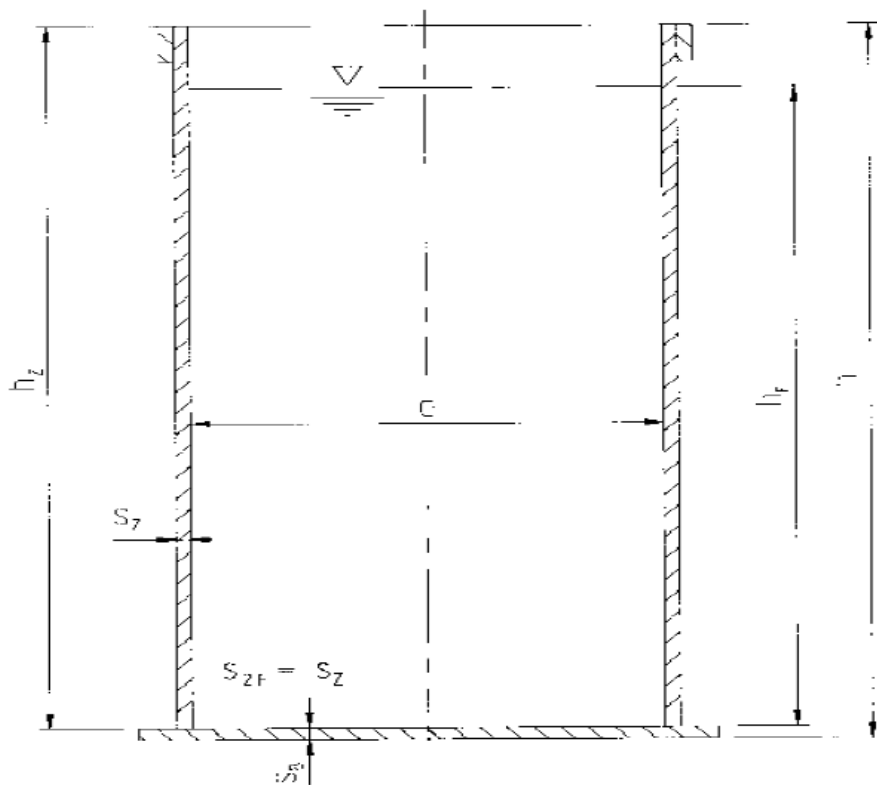


Рис. 1. Открытая емкость с плоским дном и бесступенчатой толщиной стен.

Рис. 2. Открытая емкость с плоским дном и ступенчатой толщиной стен

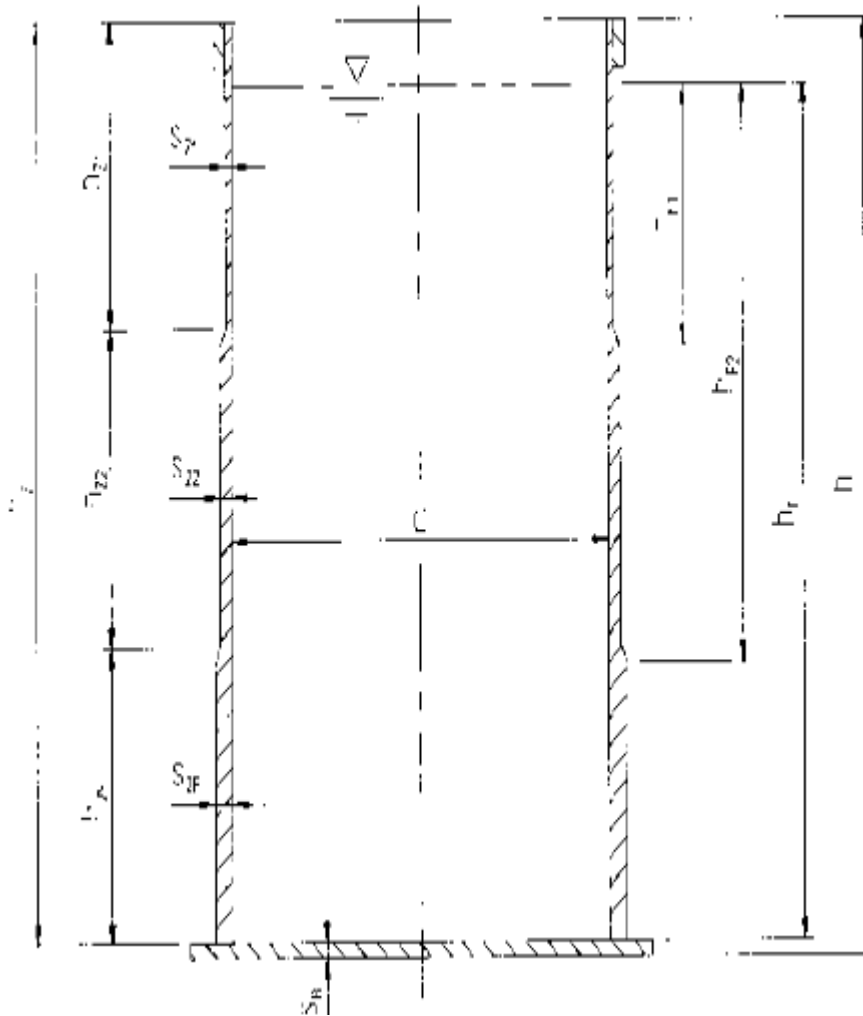


Рис. 3. Емкость с плоским дном и конусообразной крышей, бесступенчатой толщиной стен.

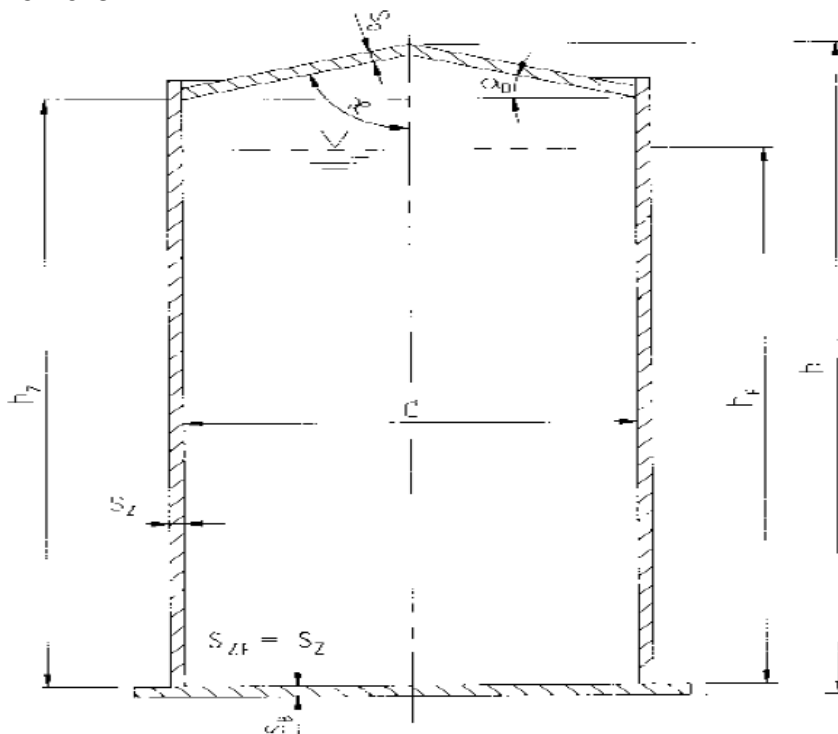
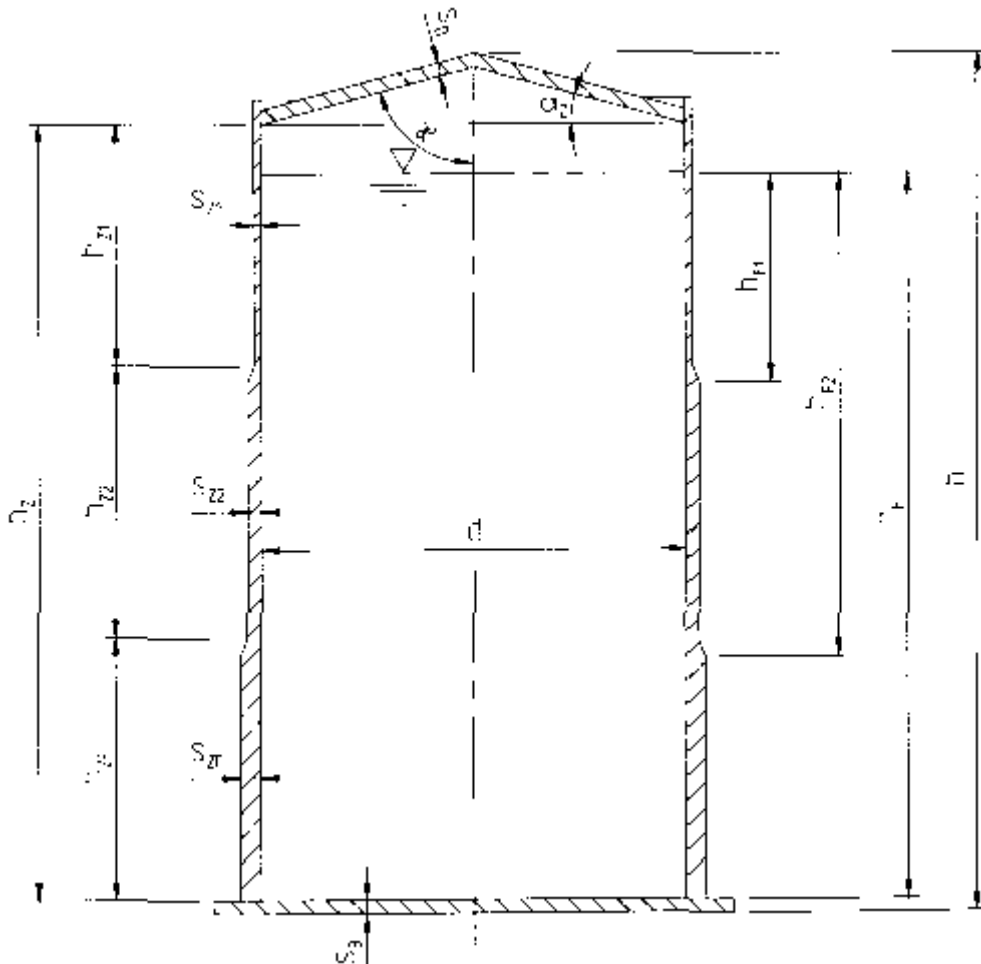


Рис. 4. Емкость с плоским дном и конусообразной крышей, ступенчатой толщиной стен.



3 Нагрузки

3.1 Постоянно действующие нагрузки

В зависимости от каждого конкретного случая емкости проектируют с расчетным сроком эксплуатации до 25 лет ($2 \cdot 10^5$ часов). Расчетный уровень заполнения h_p определяется предстоящими условиями эксплуатации.

3.1.1 Общий собственный вес G_E

$$G_E = G_D + G_Z + G_B \quad \text{Н} \quad (1)$$

Собственный вес крыши G_D

$$G_D = A_D \cdot S_D \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (2)$$

Собственный вес цилиндра G_Z

$$G_Z = A_Z \cdot s_Z \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (3)$$

Собственный вес дна G_B

$$G_B = A_B \cdot s_B \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (4)$$

Лестницы, рабочие площадки, платформы и т.п. должны устанавливаться и закрепляться независимо от емкости, в противном случае это будет препятствовать таким явлениям, как свободное расширение емкости, к примеру при ее заполнении, опорожнении и изменении температуры. Это может стать причиной возникновения значительных пиков напряжения, которые сложно рассчитать, использование подобных решений может быть нерентабельным с экономической точки зрения. Если эта рекомендация не будет выполнена, необходимо предоставить соответствующие доказательства допустимости выбранного решения.

3.1.2 Вес загружаемого материала G_F

$$G_F = V \cdot \rho_F \cdot g \quad \text{кН} \quad (5)$$

3.1.3 Внутреннее и наружное давление $p_{i,u}$, p_u

Следует учитывать значения давления, превышающие значения, указанные в разделе «Область действия», и находящиеся в рамках, заданных эксплуатирующей организацией.

В случае подключения защитного оборудования, предназначенного для предотвращения переполнения либо нагнетания или удаления воздуха, которые создают более высокое давление, следует учитывать только эти значения давления. Такие значения давления запрещено достигать при абсолютно пустой емкости, так как это опасно для дна, а также может привести к приподниманию всей емкости.

3.2 Среднесрочные нагрузки

Продолжительность оказания нагрузки - 3 месяца.

3.2.1 Снеговая нагрузка G_s

В соответствии с DIN 1055-5 снеговая нагрузка учитывается нарастающим итогом на протяжении расчетного срока эксплуатации, в соответствии с особенностями климата в конкретном регионе, при температуре стен крыши, равной 0°C.

3.2.2 Летняя температура

Летом крыши могут значительно нагреваться. Поэтому следует исходить из того, что температура стен может достигать 50 °C.

3.3 Краткосрочные нагрузки

Продолжительность оказания краткосрочных нагрузок принимается равной 10^{-1} ч.

Гидравлические удары (скачки давления), которые могут иметь место в процессе заполнения, необходимо предупреждать при помощи соответствующего комплекса мер.

3.3.1 Внутреннее и наружное давление p_{iK} , p_{uK}

Если в процессе эксплуатации не может возникнуть более высокое давление, следует учитывать указанные в разделе 1 минимальные значения давления. Из определения p_{uK} следует $p_{uK} \geq p_{r_{uK}}$ (см. Рис. 5). Аналогично для p_{iK} .

давление

время

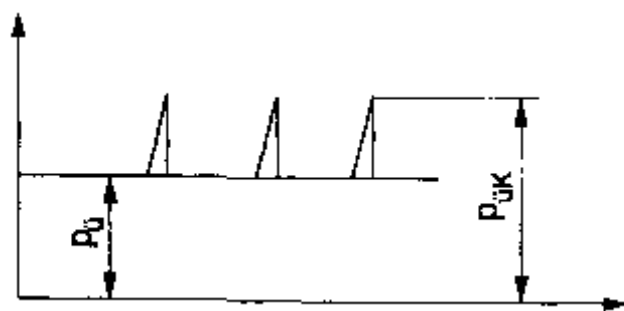


Рис. 5. Определение P_{uk} .

3.3.2 Нагрузки вследствие передвижения по крыше

Ходить по крыше, в отношении которой не предприняты меры по распределению нагрузки, запрещено. При проведении монтажных и инспекционных работ необходимо принять соответствующие меры.

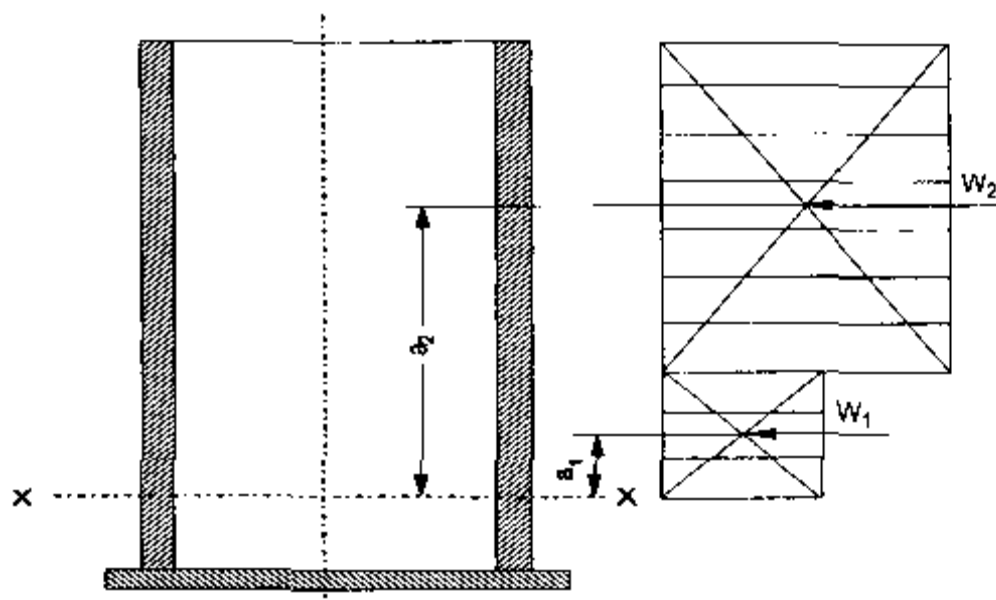


Рис. 6. Изгибающий момент в сечении $x \dots x$ вследствие ветровой нагрузки.

3.3.3 Ветровая нагрузка W_j

Ветровая нагрузка рассчитывается следующим образом:

$$W_j = c \cdot q_j \cdot A_j \quad \text{кН} \quad (6)$$

($j = 1. 2. 3. \dots$)

Это означает, что:

W_j = Ветровая нагрузка на части поверхности A_j

c = Коэффициент ветра для кругового цилиндра и крыши.

Так как нельзя исключить, что вследствие дополнительных мероприятий по строительству расположение по отдельности станет расположением в ряд, в соответствии с DIN 1055-4 расчет принципиально следует осуществлять исходя из $s = 1,2$.

Пристройки $s = 1,6$

q_i = Соответствующие значения скоростного напора в кН/кв.м (DIN 1055-4)

A_j = Соответствующая поверхность воздействия в кв.м (в области крыши – более простой расчет: высота крыши x диаметр)

Напряжение от момента ветровой нагрузки можно упрощенно рассчитывать следующим образом:

$$\sigma_w = \frac{4 \cdot M_w \cdot 10^3}{\pi \cdot d^2 \cdot s_{z,i}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (7)$$

M_w может быть рассчитан по закрепленному стержню, см. Рис. 6.

$$M_{w,x} = W_1 \cdot a_1 + W_2 \cdot a_2 \quad \text{Nm} \quad (8)$$

3.3.4 Радиально-симметричная нагрузка под воздействием ветровой нагрузки

Сжимающая нагрузка, возникающая вследствие воздействия ветра на цилиндрический корпус ёмкости, рассчитывается при помощи аналога нагрузки p_{eu} .

$$p_{eu} = \delta \cdot q_{\max} \cdot 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2 \quad (9)$$

Это означает, что:

$$\delta = 0,46 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C^* \cdot \frac{r}{h_z} \cdot \sqrt{\frac{r}{s_{zm}}}} \right) \leq 0,6 \quad (10)$$

$C^* = 1,0$ для закрытой ёмкости

$C^* = 0,6$ для открытой ёмкости

$$s_{zm} = \frac{\sum (h_{z,i} \cdot s_{z,i})}{h_z} \quad (11)$$

3.3.5 Пониженное давление вследствие подсоса ветра

В проветриваемых ёмкостях вследствие подсоса ветра создается внутреннее пониженное давление.

$$P_{us} = 0,6 \cdot q_{\max} \cdot 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2 \quad (12)$$

При проветривании с использованием трубопровода, выходящего наружу, справедлива следующая формула

$$P_{us} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{N/мм}^2.$$

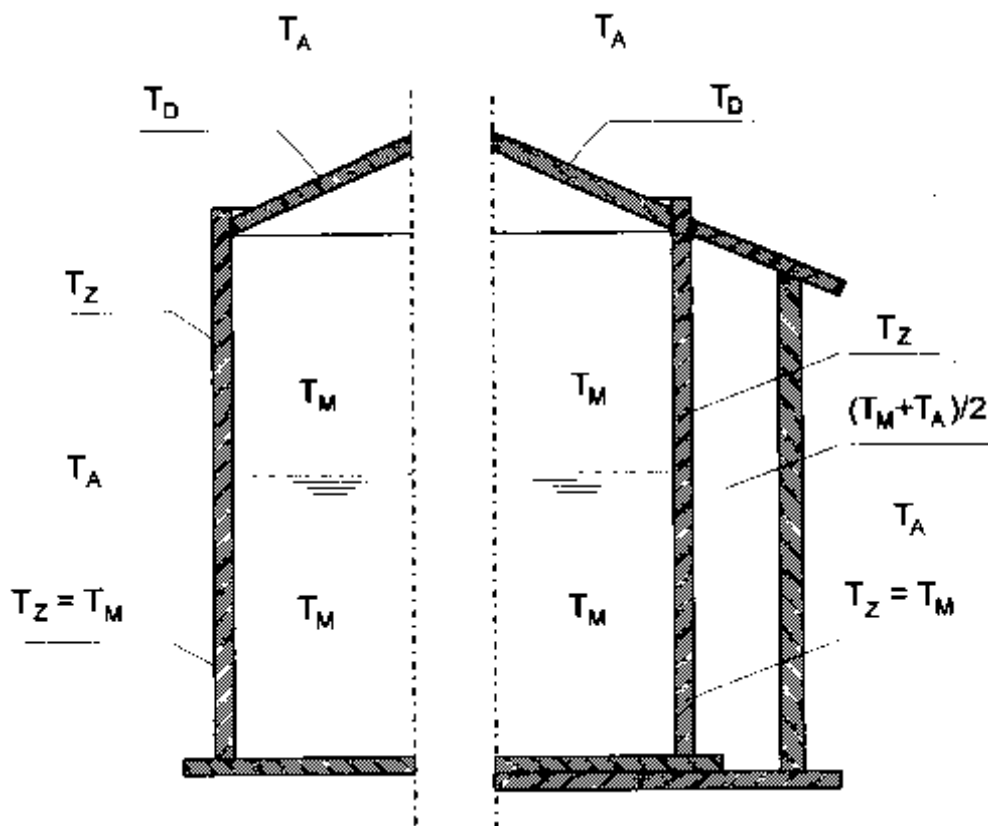
3.3.6 Нагрузки во время проведения работ по монтажу

Емкость должна быть рассчитана с учетом нагрузок, оказываемых при транспортировке и монтаже. При этом закладывают 1.5-кратный динамический коэффициент по нагрузкам в процессе монтажа. В качестве коэффициента частичной надежности используется значение F1. В соответствии с требованиями DVS 2205-1 также следует учитывать краткосрочный коэффициент прочности сварного шва.

3.4 Температура

Температура стен является решающим фактором при замерах отдельных конструктивных элементов. Контактующие с влажной средой элементы всегда следует проектировать исходя из температуры среды T_M . Элементы, не контактирующие с влажной средой, можно рассчитывать по упрощенной схеме, температура стен принимается равной средним соседним значениям температуры воздуха. Температурой воздуха в емкости считается температура среды, а в долгосрочной перспективе – среднее значение температуры наружного воздуха, принимаемое равным $T_A = 20\text{ }^\circ\text{C}$ при нахождении в помещении и температуре $T_A = 10\text{ }^\circ\text{C}$ при нахождении емкости на улице. На рис. 7 показаны значения температуры стен. При нахождении емкости на улице следует учитывать температуру крыши, на которую влияют солнечные лучи.

Для доказательства стабильности цилиндров при нахождении емкостей на улице используется значение $T_A = 30\text{ }^\circ\text{C}$.



Без накопителя
(приемного резервуара)

С накопителем (приемным резервуаром)

Температура наружного воздуха: $T_A = 10\text{ }^\circ\text{C}$ при расположении на улице
(Средняя годовая температура)
 $20\text{ }^\circ\text{C}$ при расположении в помещении

Без приемного резервуара	С приемным резервуаром
$T_D = (T_M + T_A) / 2$	$T_D = (T_M + T_A) / 2$

$T_Z=(T_M+T_A)/2$	$T_Z=(T_M+T_A)/4$
-------------------	-------------------

Рис. 7. Определение значений рабочей температуры

4 Подтверждение устойчивости

Подтверждение устойчивости осуществляется в соответствии с концепцией коэффициентов частичной надежности. Обычно считается, что

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1$$

где S_d - Расчетное значение нагрузки
 R_d - Расчетное значение прочности

При этом характеристические воздействия или значение нагрузки умножается на коэффициенты частичной надежности γ_F , в соответствии с данными из табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты частичной надежности различных воздействий.

Воздействие	Коэффициент частичной надежности
Собственный вес, заполнение, монтаж	$\gamma_{F1} = 1.35$
Давление, ветер, снег	$\gamma_{F2} = 1.5$
Нагрузка вследствие уменьшения собственного веса	$\gamma_{F3} = 0.9$

Расчетное значение существующей нагрузки получают из γ_F -кратной характерного значения соответствующей нагрузки в конструктивном элементе.

$$K_{K,d}^{vorh} = \gamma_F \cdot K_{K}^{vorh}$$

Расчетные значения существующей нагрузки следует умножить на главный коэффициент, который учитывает нагрузки, указанные в таблице 2.

Таблица 2. Главный коэффициент.

Вид нагрузки	γ
Нагрузка I Статическая нагрузка при комнатной температуре и постоянных условиях. В случае нанесения ущерба опасность для людей, имущества и окружающей среды отсутствует.	1,0
Нагрузка II Нагрузки при меняющихся условиях (например, при меняющейся температуре, уровне заполнения). В случае нанесения ущерба возможна опасность для людей, имущества и окружающей среды, например, контрольное оборудование или оборудование или компоненты, подлежащие проверке в обязательном порядке	1,2

Значение характеристического сопротивления или прочности делится на коэффициент частичной надежности $\gamma_M = 1,1$.

К примеру, расчетное значение кратковременной прочности K_{Kd}^* получают из значения кратковременной прочности K_K^* , поделенного на γ_M , в соответствии с диаграммами долговременной прочности, содержащимися в документе DVS 2205-1.

$$K_{K,d}^* = \frac{K_K^*}{\gamma_M}$$

Коэффициент измерения прочности получают путем деления на коэффициенты уменьшения A_1 и A_2 , а при доказательстве сварного шва – умножения на коэффициент прочности сварного шва. Ниже по тексту расчетное значение существующей нагрузки будет умножаться на коэффициенты уменьшения A_1 и A_2 и делиться на коэффициент прочности сварного шва, что приведет к тому же результату.

4.1 Доказательство прочности

4.1.1 Воздействия

Нагрузки, возникающие вследствие подключения патрубков и трубопроводов, не учитываются в рамках настоящего расчета, их нужно учитывать отдельно посредством принятия конструктивных мер (например, смонтировав компенсаторы).

По отношению к конструктивным элементам всегда следует вести поиск самых неблагоприятных воздействий. При воздействии ветра и снега нужно рассматривать два случая:

1. полная снеговая нагрузка
2. снеговая нагрузка, умноженная на 0,7 + полная ветровая нагрузка

Краткосрочные нагрузки не нужно комбинировать друг с другом подобным образом.

4.1.2 Сочетание воздействий

В соответствии с длительностью воздействий следует различать три категории нагрузок

- Краткосрочные нагрузки (K)
например, P_{uK} , $P_{\dot{u}K}$, P_{us} , P_{eu} . ветер
- Среднесрочные нагрузки (M)
например, снег p_s или летняя температура
- долгосрочные нагрузки (L), например, собственный вес, загруженный материал, p_u , $p_{\dot{u}}$

Если в течение расчетного срока эксплуатации емкости материал будет загружаться на различную высоту и его температура будет не постоянной, для расчета таких переменных нагрузок можно использовать «правило Минерша». При одновременном воздействии нагрузок из трех категорий это правило справедливо в меньшей мере.

Поэтому всегда следует приводить двойное доказательство.

1. Следует доказывать, что долгосрочно действующие нагрузки в сочетании со среднесрочными нагрузками, однако без учета краткосрочных нагрузок, не превышают значение длительной прочности.

$$\frac{K_{L,d}^{vorh}}{K_{L,d}^*} + \frac{K_{M,d}^{vorh}}{K_{M,d}^*} \leq 1 \quad (13)$$

Где

$$K_{L,M,d}^{vorh} = \sigma_{L,M,d}^{vorh} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_s} \text{ N/mm}^2 \quad (14)$$

$\sigma_{L,M,d}^{vorh}$ = расчетное значение действующих напряжений
 $K_{L,d}^*$ = расчетное значение длительной прочности для расчетного срока эксплуатации при средней текущей температуре

$K_{M,d}^*$ = расчетное значение длительной прочности при среднем времени воздействия (например, снег на крыше в течение трех месяцев при температуре 0 °С)
 Следует доказать, что к моменту окончания расчетного срока эксплуатации напряжения вследствие краткосрочных нагрузок в сочетании с другими воздействиями не превысят остаточную прочность материала. За остаточную прочность в данном случае принимается длительная прочность в течение 10⁻¹ часов.

$$\frac{\sum K_{K,d}^{vorh}}{K_{K,d}^*} \leq 1 \quad (15)$$

При

$$\sum K_{K,d}^{vorh} = \sum \sigma_{K,d}^{vorh} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_z} \text{ N/mm}^2 \quad (15a)$$

K_{Kd}^* = Расчетное значение длительной прочности на протяжении 10⁻¹ часов при температуре, соответствующей этой комбинации нагрузок.

При замере конструктивных элементов всегда следует исходить из самого плохого результата расчетов.

Примечание:

При проверке доказательства прочности крыши необходимо проверять, не приводит ли учет снеговой нагрузки к более плохому результату расчетов, так как хотя суммарная нагрузка и будет увеличена, в то же время и длительная прочность также будет увеличена в связи с тем, что температура стен будет принята равной 0°С.

4.1.3 Корпус

Высота самого нижнего пояса h_{ZF} должна как минимум равняться $1,4 \cdot \sqrt{d \cdot s_{ZF}}$.

В резервуарах со ступенчатыми стенами допустимое соотношение толщин стен у соседних поясов может достигать 3, в этом случае нет необходимости приводить доказательства. При разнице толщин, с соотношением толщин стен, превышающим 2, следует использовать шов в соответствии с требованиями DVS 2205-3, показанный на рис. 2.2 а), 2.2 с) или 2.2 с-).

4.1.3.1 Доказательство для радиального направления

Для каждого пояса i следует предоставить доказательство того, что на его нижняя кромка может воспринять растягивающую кольцевую нагрузку под воздействием загруженного материала и повышенного давления. В соответствии с положениями раздела 4.1.2 следует приводить двойное доказательство с использованием формулы

$$K_{L,d}^{vorh} = \frac{(\gamma_{F1} \cdot p_{stat,i} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}}) \cdot d}{2 \cdot s_{z,i}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_s} \quad \text{N/mm}^2 \quad (16)$$

и

$$\sum K_{K,d}^{vorh} = \frac{(\gamma_{F1} \cdot p_{stat,i} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}K}) \cdot d}{2 \cdot s_{z,i}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_z} \quad \text{N/mm}^2 \quad (17)$$

при

$$p_{stat,i} = \rho_F \cdot g \cdot h_{F,i} \cdot 10^{-6} \quad \text{N/mm}^2 \quad (18)$$

Где $h_{F,i}$ – высота уровня жидкости над нижней кромкой пояса i .

Данное доказательство не затрагивает среднесрочных требований

$$(K_{M,d}^{vorh} = 0).$$

У цилиндров, изготавливаемых из листов, принимается во внимание коэффициент прочности сварного шва корпуса f_s или i_z . В соответствии с сегодняшним уровнем развития техники предпочтение следует отдавать стыковой сварке при помощи нагревательного элемент. Для емкостей, изготовленных методом намотки, значения f_s и f_z принимаются равными 1.

Остаточными напряжениями, возникающими при сгибании плит при комнатной температуре, можно пренебречь, если растяжение волокон на краях $e = s/d \cdot 100$ [%] не превышает значения, указанные в таблице 3.

Таблица 3. Допустимые значения растяжения крайних волокон.

Материал	Растяжение крайних волокон ϵ
PE-HD	1,00
PP-H	0,50
PP-B	0,75
PP-R	1,00
PVDF	0,50
PVC-U	0,20
PVC-C	0,10

Примечание. Применительно к материалам PE 63, PE 80 и PE 100 можно использовать значение, указанное для PE-HD.

4.1.3.2 Доказательство продольного направления

Необходимо принять меры по защите от максимального напряжения при растяжении. При этом загружающие, постоянно действующие напряжения при растяжении разрешено учитывать только на 90%.

Для доказательства требований, предъявляемых к продольному направлению необходимо исследовать только самый нижний пояс, находящийся у дна емкости. Здесь нагрузки изгибающего и опрокидывающего момента сочетаются с нагрузками в

продольном направлении, с собственным весом, давлением и ветровыми нагрузками. В соответствии с требованиями пункта 4.1.2 следует предоставить двойные доказательства с использованием формулы

$$K_{L,d}^{vorh} = \left[C \cdot (\gamma_{F1} \cdot p_{stat} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}}) \cdot \frac{d}{2} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}} \cdot \frac{d}{4} - \frac{\gamma_{F3} \cdot (G_D + G_Z)}{\pi \cdot d} \right] \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{s_{ZF}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (19)$$

при

$$p_{stat} = \rho_F \cdot g \cdot h_F \cdot 10^{-6} \quad \text{N/mm} \quad (20)$$

и

$$K_{M,d}^{vorh} = \left[C \cdot (\gamma_{F1} \cdot p_{stat} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}K}) \cdot \frac{d}{2} + \gamma_{F2} \cdot p_{\bar{u}K} \cdot \frac{d}{4} + \frac{\gamma_{F2} \cdot 4 \cdot M_W \cdot 10^3}{\pi \cdot d^2} - \frac{\gamma_{F3} \cdot (G_D - G_Z)}{\pi \cdot d} \right] \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{s_{ZF}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (21)$$

Фактор С для сварного перехода дно- корпус является производным из фактора повышения напряжения $C_1=1,2$ и фактора C_2 , специфичного для материала, в соответствии с табл.4

Таблица 4. Фактор C_2 , специфичный для материала и фактор С для термопластичных пластмасс.

Материал	C_2	$C = C_1, C_2$
PE-HD	1,00	1,20
PP-H(тип 1)	1,17	1,40
PP-B (тип 2)	1,00	1,20
PP-R (тип 3)	1,00	1,20
PVC-NI (норм. Уд. вязкость)	1,25	1,50
PVC-RI (повыш. Уд. вязкость)	1,08	1,30
PVC-NI (высок. Уд. вязкость)	1,00	1,20
PVC-C	1,33	1,60
PVDF	1,17	1,40

Примечание: Для PE 63, PE 80 и PE 100 могут применяться значения PE-HD

От расчёта напряжений в сварном шве можно отказаться, если выполняются условия п. 4.1.5

Фактор повышения напряжения $C_1=1,2$ предполагает, что дно не толще, чем толщина стен нижнего пояса ($S_B \leq S_{ZF}$)

4.1.4 Дно

4.1.4.1 Доказательство для нагрузки заполнением

При соединении дна с цилиндром угловыми швами (рис.12 в П. 5.5), необходимая толщина дна определяется следующим образом:

$$\delta_3 \cdot S_{ZF}^* \leq S_B \leq S_{ZF}$$

При S_{ZF} – толщина стен
 δ_B – в соответствии с рис.8 и

$$S_{ZF}^* = \left[C \cdot (\gamma_{F1} \cdot p_{stat} + \gamma_{F2} \cdot p_u) \cdot \frac{d}{2} + \gamma_{F2} \cdot p_u \cdot \frac{d}{4} - \frac{\gamma_{F3} \cdot (G_D + G_Z)}{\pi \cdot d} \right] \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_l}{K_{L,d}^*} \quad \text{N/mm}^2 \quad (22)$$

При других формах конструкции требуется просчитать нагрузку на дно в зависимости от опорного момента цилиндра.

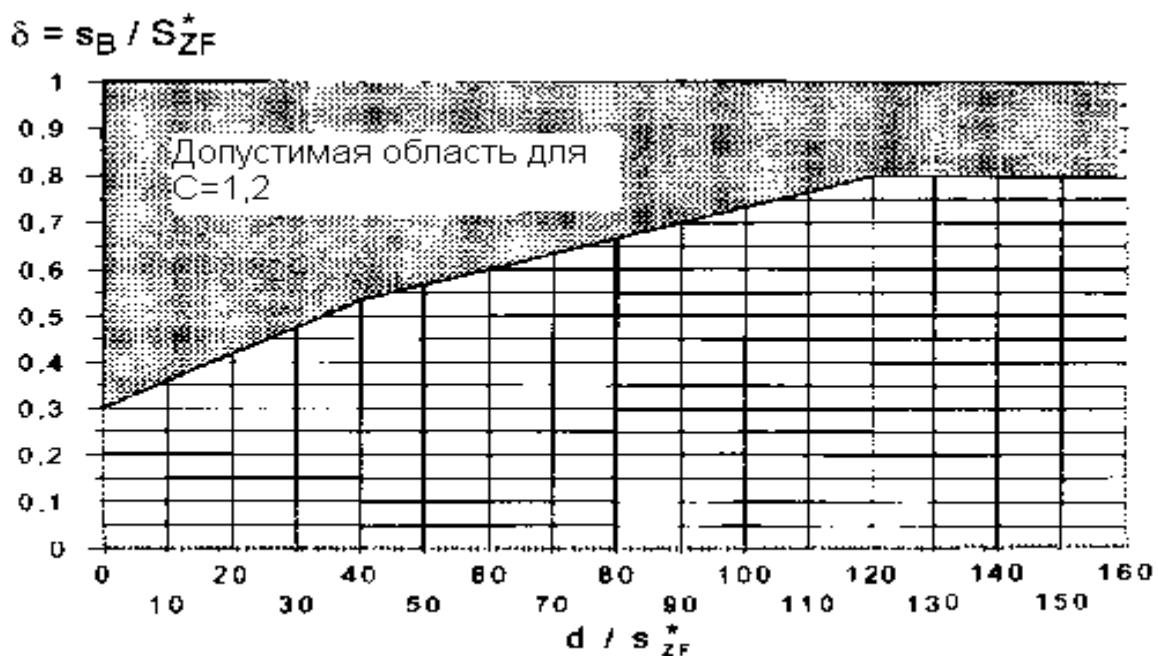


Рис.8 Диаграмма для определения толщины дна, выведенная для PE-HD (при $C > 1.2$ диаграмма будет находиться на стороне надёжности)

4.1.4.2 Доказательство для незакреплённых ёмкостей с избыточным давлением

В случае если незакреплённая ёмкость (например, сборник) подвергается действию избыточного давления, дно ёмкости выгибается наружу, что ведёт к приподниманию всей ёмкости и напряжению изгиба дна. При расчёте данного процесса необходимый гарантированный остаток при заполнении связан с высотой заполнения h_{RF} .

Краткосрочные и долговременные нагрузки просчитываются одинаковым образом, т.к. принимается, что состояние долговременного давления возникает только в ограниченный период. Следовательно, эффективное давление составляет:

$$p_1 = \max(p_{\ddot{u}}, p_{\ddot{u}K}) \quad \text{N/mm}^2 \quad (23)$$

Наряду с доказательством прочности, приводится также доказательство ограничения величины приподнятия при номинальной нагрузке $W_{gr}=10$ мм.

Доказательство прочности

$$h_{RF,\sigma} = \frac{p_{B,k} - p_1 - \rho \cdot g \cdot s_B \cdot 10^{-6}}{\rho_F \cdot g \cdot 10^{-6}} \quad \text{mm} \quad (24)$$

при

$$p_{B,k} = \frac{1,5 \cdot \left(\frac{p_1 \cdot d}{4} - \frac{G_D + G_Z}{\pi \cdot d} \right)}{I_B} \quad \text{N/mm}^2 \quad (24a)$$

при

$$I_B = \frac{s_B^2}{\delta_\sigma \cdot n_{Z,d} \cdot \gamma_I} \cdot \frac{K_K^* + K_M^*}{2} \cdot \frac{1}{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_M} \quad \text{mm} \quad (24b)$$

при

$$n_{Z,d} = \gamma_{F2} \cdot \frac{p_1 \cdot d}{4} - \gamma_{F3} \cdot \frac{G_D + G_Z}{\pi \cdot d} \quad \text{N/mm} \quad (24c)$$

и $\delta_\sigma = 1,5$ для установки в закрытом помещении

$\delta_\sigma = 2,12$ для установки в открытом помещении

Ограничение величины приподнятия

$$h_{RF,w} = \frac{p_B - p_1 - 0,9 \cdot \rho \cdot g \cdot s_B \cdot 10^{-6}}{0,9 \cdot \rho_F \cdot g \cdot 10^{-6}} \quad \text{mm} \quad (25)$$

при

$$p_B = \frac{1,5 \cdot n_Z}{I_B} \quad \text{N/mm}^2 \quad (25a)$$

при

$$I_B = s_R \cdot 3 \sqrt{\frac{w_{gr} \cdot 0,75 \cdot E_K^{T^{\circ C}}}{\delta_w \cdot A_{21} \cdot n_Z}} \quad \text{mm} \quad (25b)$$

при

$$n_Z = \frac{p_1 \cdot d}{4} - 0,9 \cdot \frac{G_D + G_Z}{\pi \cdot d} \quad \text{N/mm} \quad (25c)$$

и $\delta_{\sigma} = 0,56$ для установки в закрытом помещении

$\delta_{\sigma} = 1,12$ для установки в открытом помещении

Решающий уровень остаточного незаполненного объёма выводится из:

$$h_{RF} = \max(h_{RF,\sigma}, h_{RF,w}) \quad \text{мм} \quad (26)$$

Примечание: При доказательстве прочности исходим из того, что $(K_k + K_m)/2$, где длительность нагрузки принимается равной 12-ти часам.

При доказательстве ограничения величины поднятия исходим из $0,75 \cdot E_K^{T^{\circ C}}$ вместо $E_K^{T^{\circ C}}$ (см. раздел 5.4), т.к. при данном расчёте деформации нужно учитывать более высокий уровень напряжения и тем самым более низкий модуль, чем при проблемах со стабильностью.

4.1.4.3 Доказательство для внутреннего пониженного давления

Данное доказательство для дна можно не приводить, если в ёмкости остаётся незаполненный объём, уровень которого определяется таким образом, что сумма давления при заполнении (кратного $YF3$) и собственной массы дна (кратной $YF3$) больше, чем пониженное давление, кратное $YF2$.

4.1.5 Сварное соединение дно\корпус

Доказательство прочности сварного шва можно также не приводить, если выполняются следующие условия:

-толщина сварного шва $a \geq 0,7 s_B$

-долговременный коэффициент прочности сварного шва $f_s \geq 0,6$ (по DVS 2203-4)

В случае невыполнения одного из этих условий необходимо привести подробный расчёт напряжений сварного шва (например, FE-расчёт).

Для ёмкостей до 1000 л. с однослойным корпусом толщиной до 10 мм. данное справедливо также для долговременных сварочных факторов $f_s \geq 0,4$.

4.1.6 Коническая верхняя часть (крыша)

Угол наклона верхней части не должен быть более $\sigma D = 15^\circ$ ($K = 75^\circ$)

4.1.6.1 Нагрузки, направленные вовнутрь

Необходимо исследовать определяющую комбинацию собственного веса gD , пониженных давлений P_u , P_{uK} , снеговой нагрузки P_s и пониженного давления витка P_{us} , при этом P_u , P_{uK} и P_{us} не должны комбинироваться друг с другом и снеговая нагрузка может быть снижена до 70% при ветре.

Рассчитывается нагрузка на кольцевом шве верхней части.

Двойное доказательство в соответствии с разделом 4.1.2 проводится при

$$K_{L,d}^{vorh} = 0,306 \cdot \left(\frac{d}{s_D}\right)^{1,543} \cdot p_{D,L,d} \cdot \frac{\sin \kappa}{\sqrt{\cos \kappa}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{f_{sD}} \text{ N/mm}^2 \quad (27)$$

$$K_{M,d}^{vorh} = 0,306 \cdot \left(\frac{d}{s_D}\right)^{1,543} \cdot p_{D,M,d} \cdot \frac{\sin \kappa}{\sqrt{\cos \kappa}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{f_{sD}} \text{ N/mm}^2 \quad (28)$$

И

$$\sum K_{K,d}^{vorh} = 0,306 \cdot \left(\frac{d}{s_D}\right)^{1,543} \cdot \sum p_{D,K,d} \cdot \frac{\sin \kappa}{\sqrt{\cos \kappa}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{f_{zD}} \text{ N/mm}^2 \quad (29)$$

Следует исследовать комбинации в таблице 5. Для летних нагрузок применяется полученная по Miner эффективная средняя температура корпуса,

$$T_D^* = \frac{T_D + 50}{2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (30)$$

которая учитывает нагрев верхней части до 50° С в течение более чем 3-х месяцев (T_D по рис.7)

$$g_D = \frac{\rho \cdot g \cdot s_D \cdot 10^{-6}}{\sin \kappa} + g_A \text{ N/mm}^2 \quad (31)$$

g_A Аналог поверхностной нагрузки для конуса

Коэффициент прочности сварного шва зависит от качества продольного шва конической верхней части.

4.1.6.2 Нагрузки, направленные изнутри вовне

Вследствие избыточных давлений p возникают напряжения растяжения в кольцевом направлении, которые линейно увеличиваются от середины крыши и вблизи кромки резко переходят в пик напряжения давлением. Для наибольшей величины напряжения растяжения на стороне надёжности используется двойное напряжение при d/4.

Двойное доказательство в соответствии с разделом 4.1.2 приводится при

$$K_{L,d}^{vorh} = 0,5 \cdot \frac{d}{s_D} \cdot p_{D,L,d}^{vorh} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_I}{f_{sD} \cdot \cos \kappa} \text{ N/mm}^2 \quad (32)$$

И

$$\sum K_{K,d}^{vorh} = 0,5 \cdot \frac{d}{s_D} \cdot \sum p_{D,K,d}^{vorh} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_{zD} \cdot \cos \kappa} \text{ N/mm}^2 \quad (33)$$

Также требуется изучить комбинации в таблице 6.

4.1.7 Патрубки

Патрубки, в основном, размещаются в верхней части. Если они устанавливаются сбоку в цилиндр, необходимо ограничить их максимальный диаметр до $d_A=160\text{мм}$. Расстояние между центром патрубка и краями ёмкости, границами поясов или сварочных швов корпуса должно составлять не менее $d_A/2 + 100 \text{ мм}$. Расстояние от середины патрубка до дна и ближайшего пояса с ограниченной толщиной стенки должно составлять минимум d_A .

Следует доказать возможность поглощения повышенных нагрузок на корпус около отверстия, возникающих вследствие концентрации напряжения.

Нагрузка на неподвижном корпусе увеличивается делением на величину ослабления V_A .

При установке патрубка в крышу \ в корпус справедливо следующее:

$$V_A = \frac{0,75}{1 + \frac{d_A}{2 \cdot \sqrt{(d + s_a) \cdot s_a}}} \quad (34)$$

Таблица 5. Комбинации различных степеней нагрузки, направленной вовнутрь по крыше ёмкости.

Место	М	Сезон	Доказательство по (14)			Доказательство по (15)		
			$p_{D,L}^{vorh}$	емп	емп	$\sum p_{D,d}^{vorh}$	емп	
внутри	вн		$\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_u$	T_D	0	-	$\max(\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{uK}; \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{us})$	
снаружи	сн	зим	$\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_u$	T_D	$\gamma_{F2} \cdot p_s$	0°C	$\max(\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot (p_s + p_{uK}); \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot (0,7 \cdot p_s + p_u))$	
снаружи	сн	лет	$\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_u$	T_D^*	0	-	$\max(\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{uK}; \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{us})$	

Таблица 6. Комбинации различных степеней нагрузки, направленной изнутри, для расчёта прочности крыши.

Место	М	Сезон	Доказательство по (14)			Доказательство по (15)		
			$p_{D,L}^{vorh}$	емп	емп	$\sum p_{D,d}^{vorh}$	емп	
внутри	вн		$\gamma_{F2} \cdot p_u - \gamma_{F3} \cdot g_D$	T_D	0	-	$\gamma_{F2} \cdot p_{uK} - \gamma_{F3} \cdot g_D$	
снаружи	сн	лет	$\gamma_{F2} \cdot p_u - \gamma_{F3} \cdot g_D$	T_D^*	0	-	$\gamma_{F2} \cdot p_{uK} - \gamma_{F3} \cdot g_D$	

При d_A Внешний диаметр отверстия
 d диаметр цилиндра
 s_a толщина корпуса

Для доказательства по конусам крыши требуется рассчитать только больший конус, находящийся в области кромки. При этом величины измерения для

присутствующих нагрузок -- $K_{L,M,K,d}^{vorh}$ могут быть получены из следующего уравнения:

$$K_{L,M,K,d}^{vorh} = \frac{P_{D,L,M,K,d}}{2 \cdot \cos \kappa} \cdot \frac{d}{s_D} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{V_A} \quad (35)$$

При воздействии $P_{D,L,M,K,d}$ в соответствии с разделом 4.1.6.1

При установке штуцера в цилиндр доказательство по кольцевой нагрузке растяжения должно производиться учитывая высоту расположения патрубка аналогично разделу 4.1.3.1. Конструктивное исполнение должно соответствовать рис.9 раздела 5.5. Толщина корпуса должна соответствовать SDR11 (уровень давления PN10).

4.1.8 Анкерное крепление

Если требуется анкеровка, необходимо предусмотреть как минимум 4 анкера. ($z \geq 4$)

При расчёте анкеровки нужно различать 3 случая:

Случай 1: Кратковременное повышенное давление при температуре среды

$$\frac{\left[\frac{\gamma_{F2} \cdot P_{uK} \cdot \pi \cdot d^2}{4} - \gamma_{F3} \cdot (G_D + G_Z) \right] \cdot \frac{1}{z}}{(b_{Pr} + s_B) \cdot s_B \cdot \frac{K_{K,d}^*}{2 \cdot A_1 \cdot \gamma_1}} \leq 1 \quad (36)$$

Случай 2: долговременное повышенное давление при температуре среды

$$\frac{\left[\frac{\gamma_{F2} \cdot P_u \cdot \pi \cdot d^2}{4} - \gamma_{F3} \cdot (G_D + G_Z) \right] \cdot \frac{1}{z}}{(b_{Pr} + s_B) \cdot s_B \cdot \frac{K_{L,d}^*}{2 \cdot A_1 \cdot \gamma_1}} \leq 1 \quad (37)$$

Случай 3: Ветровая нагрузка при 20° С (только при внешней установке)

$$\frac{\left[\frac{4 \cdot \gamma_{F2} \cdot M_w}{d} \cdot 10^3 + \frac{\gamma_{F2} \cdot P_u \cdot \pi \cdot d^2}{4} - \gamma_{F3} \cdot (G_D + G_Z) \right] \cdot \frac{1}{z}}{(b_{Pr} + s_B) \cdot s_B \cdot \frac{K_{K,d}^*}{2 \cdot A_1 \cdot \gamma_1}} \leq 1 \quad (38)$$

В числителе стоит возникающая разрывная сила, а в знаменателе- разрывная сила, являющаяся следствием сдвигающего напряжения сварного шва, которая должна быть поглощена. В данном случае в качестве сдвигающего напряжения используется половина предела длительной прочности.

Необходимая сила анкеровки (в т.ч. для дюбелей) высчитывается (при учёте плеч силы) из максимальной разрывной силы (максимума трёх числителей).

Рис.10 раздела 5.5 иллюстрирует анкеровку.

4.1.9 Подъёмные проушины

Одна из возможных форм проушин показана на рис.11 (раздел 5.5) . При этом необходимо использовать только 2 проушины на ёмкость + параллельный подвес.

Чтобы не производить доказательство распределения нагрузки по верхнему поясу, нужно обеспечить, чтобы проушина не была толще, чем тройная толщина стенки самого верхнего пояса. Диаметр отверстия (d_L) должен быть согласован с диаметром всей проушины.

Справедливо следующее:

$$s_{Z,1} \leq \text{erf } s_0 \sim 3 \cdot s_{Z,1} \quad (39)$$

$$d_{Sch} < d_L \leq 1.1 \cdot d_{Sch} \quad (40)$$

Требуется доказать, что 1.5-кратная нагрузка (динамический коэффициент) может быть кратковременно выдержана при 20 ° С. При этом необходимо установить $\gamma = 1,2$, т.к. транспортировка ёмкости в любом случае, вне зависимости от её дальнейшего использования, представляет опасность для окружающих.

Необходимая толщина стенки проушин (s_0) выводится из расчёта стенки отверстия

$$s_0 = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{2} \cdot A_1 \cdot \gamma_I}{d_{Sch} \cdot 2 \cdot K_{K,d}^*} \quad \text{mm} \quad (41)$$

Максимум обоих следующих доказательств является определяющим для ширины проушины

$$b_0 = \max (b_{01} \quad b_{02})$$

Доказательство по сдвигающему напряжению поперечного шва при приподнятии лежащей ёмкости

$$b_{0,1} = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{4} \cdot \frac{A_1 \cdot \gamma_I}{f_z}}{0,7 \cdot s_{Z,1} \cdot \frac{K_{K,d}^*}{2}} \quad \text{mm} \quad (42)$$

Стержень с проушиной

$$b_{0,2} = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{2} \cdot A_1 \cdot \gamma_I}{s_0 \cdot K_{K,d}^*} + \frac{7}{3} \cdot d_L \quad \text{mm} \quad (43)$$

4.2 Доказательства стабильности

4.2.1 Наложение воздействий

Для расчётов по стабильности решающее значение имеют E-модули. Появление вздутий на корпусе -это внезапный процесс, который во многом зависит от дефектов, т.е. от величины пред-деформаций. Величина пред-деформаций возрастает вместе с увеличивающейся длительностью нагрузки исходя из ползучести материала. С другой стороны, эластичное сопротивление во время вздутия определяется преимущественно краткосрочным E-модулем при моментальной температуре. Критическое напряжение вздутия σ_k высчитывается с температурно-зависимым модулем E_k^{toc} .

В таблицах 8 и 9 (раздел 5.4) содержатся температурно- и временно-зависимые E-модули для распространённых термопластов.

Требуется исследовать неблагоприятную комбинацию нагрузок при учёте температурно-обусловленного поведения термопластов.

4.2.2 Корпус

Для корпуса ёмкости требуется доказать достаточную прочность против осевой и корпусной нагрузки, а также против их сочетания. От доказательства прочности корпуса около патрубков можно отказаться из-за ограничения диаметра патрубков. Исходим из того, что круговая деформация цилиндра остаётся в пределах следующей формы:

$$u = \frac{2 \cdot (d_{max} - d_{min})}{d_{max} + d_{min}} \cdot 100 \leq 0.5 \quad \% \quad (44)$$

4.2.2.1 Осевая стабильность

Для каждого пояса получаем напряжение давления по нижнему краю, которое складывается из собственного веса, пониженных давлений P_u P_{uk} P_{us} , снеговой и ветровой нагрузки в неблагоприятной комбинации, уравниваемое напряжением вздутия σ_{kid} .

При внешней установке:

$$\sum \sigma_{i,d}^{vorh} = \max \left[\gamma_{F1} \cdot \sigma_G + \gamma_{F2} \cdot \left\{ \max(\sigma_{puK}, \sigma_{pus}) + 0,7 \cdot \sigma_s + \frac{\sigma_w}{1,2} \right\} \right. \\ \left. \gamma_{F1} \cdot \sigma_G + \gamma_{F2} \cdot \{ \sigma_{puK} + \sigma_s \} \right] \quad N/mm^2 \quad (45)$$

При внутренней установке:

$$\sum \sigma_{i,d}^{vorh} = \gamma_{F1} \cdot \sigma_G + \gamma_{F2} \cdot \max(\sigma_{puK}, \sigma_{pus}) \quad N/mm^2 \quad (46)$$

Напряжение из ветрового момента σ_w может быть разделено на 1,2, т.к. напряжение вздутия при общем сгибании может быть повышено на 20 %.

Упрощённо, напряжение вздутия может быть получено при помощи следующей формулы:

$$\sigma_{k,i,d} = \alpha_i \cdot 0,62 \cdot f_{\alpha,i} \cdot \frac{E_K^{T^{\circ}C}}{\gamma_M} \cdot \frac{s_{z,i}}{r} \leq K_{K,d} \quad \text{N/mm}^2 \quad (47)$$

При

$$\alpha_i = \frac{0,70}{\sqrt{\frac{E_K^{20^{\circ}C}}{E_L^{20^{\circ}C}} \cdot \left(1 + \frac{r}{100 \cdot s_{z,i}}\right)}} \quad (48a)$$

и

$$f_{\alpha,i} = 1,5 - \frac{e_i}{s_{z,i}} \leq 1,0 \quad (48b)$$

,где e_i - эксцентricность вздутия двух соседних поясов в разноуровневом цилиндре, если он сам шире, чем рассматриваемый пояс.

Следующее условие должно быть выдержано для каждого пояса:

$$\eta_{A,i} = \frac{A_{2l} \cdot \gamma_l \cdot \sum \sigma_{i,d}^{vorh}}{\sigma_{k,i,d}} \leq 1 \quad (49)$$

4.2.2.2 Стабильность давления на корпусе

Решающее пониженное давление из неблагоприятной комбинации давлений P_u P_{uK} $P_{uS} + P_{eu}$ компенсируется критическим давлением на корпусе $P_{KM,d}$.

Должно выполняться следующее условие:

$$\eta_M = \frac{A_{2l} \cdot \gamma_l \cdot \sum p_d^{vorh}}{P_{KM,d}} \leq 1 \quad (50)$$

Критическое давление на корпусе в одноуровневом цилиндре выводится из:

$$P_{KM,d} = 0,67 \cdot C^* \cdot \frac{E_K^{T^{\circ}C}}{\gamma_M} \cdot \frac{r}{h_z} \cdot \left(\frac{s_z}{r}\right)^{2,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (51)$$

Где $C = 1,0$ для ёмкостей с фиксированной крышей
 $C = 0,6$ для открытых ёмкостей

Критическое давление разноуровневой ёмкости может быть просчитано на аналоге трёхпоясного цилиндра по DIN 18800-4:

$$P_{KM,d} = 0,67 \cdot \beta \cdot C^* \cdot \frac{E_K^{T^{\circ}C}}{\gamma_M} \cdot \frac{r}{l_o} \cdot \left(\frac{s_o}{r}\right)^{2,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (52)$$

β -величины можно найти на рис. 20а-с DIN 18800-4

4.2.2.3 Взаимодействие

Взаимодействие давлений осевой и корпусной стабильности должно быть доказано для каждого пояса.

$$\eta_{A_i}^{1,25} + \eta_M^{1,25} \leq 1 \quad (53)$$

При расчёте η_{A_i} для взаимодействия не нужно учитывать продольное напряжение, т.к. его действие уже содержится в η_M

4.2.3 Конусообразная крыша

Неблагоприятное сочетание напряжений давления в середине образующей линии конусообразной крыши в направлении расширения ($d/4$):

$$\sum \sigma_d^{vorh} = \frac{\sum p_d^{vorh}}{4 \cdot \cos \kappa} \cdot \frac{d}{s_D} \quad \text{N/mm}^2 \quad (54)$$

Уравновешивается критическими напряжениями

$$\sigma_{k,d} = 2,68 \cdot \frac{E_K^{T^{\circ C}}}{\gamma_M} \cdot \sin \kappa \cdot \sqrt{\cos \kappa} \cdot \left(\frac{s_D}{d}\right)^{1,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (55)$$

При

$$\eta = \frac{A_{21} \cdot \gamma_1 \cdot \sum \sigma_d^{vorh}}{\sigma_{k,d}} \leq 1 \quad (56)$$

Следует исследовать комбинации, указанные в таблице 7.

Таблица 7. Комбинации нагрузок для расчёта стабильности крыши.

Установка	комбинация	$\sum p_d^{vorh}$	emp.
Внутри		$\max [\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{uk}, \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{us}]$	T_D
снаружи	Зима	$\max [\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot (p_s + p_{uk}), \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot (0,7 \cdot p_s)]$	$0^{\circ C}$
снаружи	Лето	$\max [\gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{uk}, \gamma_{F1} \cdot g_D + \gamma_{F2} \cdot p_{us}]$	$0^{\circ C}$

5 приложения

5.1 Пояснения

Данное предписание было разработано компанией DVS-AG W4.3b «Конструирование/строительство аппаратов» совместно с уполномоченным комитетом «Пластмассовые ёмкости и трубы» (проектная группа «расчёты»). Настоящая публикация подготовлена группой опытных специалистов в рамках совместной деятельности, она рекомендуется к соблюдению в качестве важного источника информации. Лицо, использующее настоящую публикацию должно проверять, насколько содержание данного документа может быть применено к его конкретному случаю, и действует ли по-прежнему редакция и публикация, которой он располагает. Ответственность DVS и лиц, принявших участие в подготовке данного документа,

исключается.

Приложение 1 описывает установку и эксплуатацию ёмкостей в закрытых помещениях

Приложение 2 описывает измерение приёмных устройств (ёмкостей)

Приложение 3 описывает измерение плоских крыш.

5.2 Нормы и директивы

5.2.1 Основы вычислений

DIN 1055-3 Проектные нагрузки для строений, транспортные нагрузки

DIN 1055-4 Проектные нагрузки для строений, транспортные нагрузки, ветровые нагрузки для колебательно-устойчивых строений.

DIN 1055-5 Проектные нагрузки для строений, транспортные нагрузки, снеговые и ледяные нагрузки.

DIN 4119-1 Поверхностные цилиндрические плоскодонные ёмкости из металлических материалов; Основы, исполнение, испытания.

DIN 4119-2 Поверхностные цилиндрические плоскодонные ёмкости из металлических материалов; Расчёты.

DIN 18800-4 Стабильность конструкций, деформации корпуса.

DIN EN 1778 Характерные значения для сварных конструкций из термопласта; определение допустимых напряжений и модулей для расчёта строительных деталей из термопласта.

5.2.2 Формовочные массы

DIN EN ISO 1872-1 Часть 1: Полиэтилен (PE)-Формовочные массы.

Система обозначений и база для спецификаций.

DIN EN ISO 1872-2 Часть 2: Полиэтилен (PE)-Формовочные массы.

Изготовление опытных образцов и определение свойств.

DIN EN ISO 1873-1 Часть 1: Полипропилен (PP)-Формовочные массы.

Система обозначений и база для спецификаций.

DIN EN ISO 1873-2 Часть 2: Полипропилен (PP)-Формовочные массы

Изготовление опытных образцов и определение свойств.

DIN EN ISO 1163-1 непластифицированные поливинилхлоридные (PVC-U)-Формовочные массы

Часть 1. Система обозначений и база для спецификаций

DIN EN ISO 1163-2 непластифицированные поливинилхлоридные (PVC-U)-

Формовочные массы

Часть 2: Изготовление опытных образцов и определение свойств.

DIN EN ISO 12086-1 Фторполимерные дисперсии, Формовочные массы и экструзионные материалы

Часть 1: Система обозначений и база для спецификаций.

5.2.3 Листы и сварочные присадки

DIN EN 12943 Сварочные присадки для термопластичных пластмасс; Область действия, Обозначение, Требования, Испытания.

DIN EN ISO 14632 Экструдированные листы из полиэтилена (PE-HD); Требования и методы испытаний.

E-DIN EN ISO 15527 Опресованные листы из полиэтилена (PE-UHMW, PE-HMW, PE-HD); Требования и методы испытаний.

DIN EN ISO 15013 Экструдированные листы из полипропилена (PP); Требования и методы испытаний.

DIN 16927 Листы из термопластичного поливинилхлорида; Технические

условия поставки.

ISO 11833-1 Пластмассы, листы из термопластичного поливинилхлорида; формы поставки, размеры и свойства; Часть 1: Листы толщиной >1 мм.

pr EN ISO 15014 Экструдированные листы из поливинилиденфторида (PVDF); Требования и методы испытаний.

5.2.4 Трубы и профильные детали

DIN 8061 Трубы из непластифицированного поливинилхлорида –общие требования к качеству

DIN 8062 Трубы из непластифицированного поливинилхлорида (PVC-U, PVC-NI); размеры.

DIN 8074 Трубы из полиэтилена (PE) - PE63, PE 80, PE 100, PE-HD -размеры

DIN 8075 Трубы из полиэтилена (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – общие требования к качеству, испытания.

DIN 8077 Трубы из полипропилена (PP) - PP-H 100, PP-B80, PP-R 80 - размеры

DIN 8078 Трубы из полипропилена (PP) - PP-H (Тип 1), PP-B (Тип 2), PP-R (Тип 3) - общие требования к качеству, испытания.

DIN 8079 Трубы из хлорированного поливинилхлорида (PVC-C) -PVC-C 250- размеры.

DIN 8080 Трубы из хлорированного поливинилхлорида (PVC-C) - общие требования к качеству, испытания.

DIN 4740-1 Технические установки для работы с воздухом в помещении; Трубы из непластифицированного поливинилхлорида (PVC-U) – расчёт минимальной толщины стен.

DIN 16 961-1 Трубы и профильные детали из термопластичных пластмасс с профилированными стенками и гладкой внутренней поверхностью труб- Часть 1: размеры

DIN 16 961-2 Трубы и профильные детали из термопластичных пластмасс с профилированными стенками и гладкой внутренней поверхностью труб - Часть 2; технические условия поставки.

pr EN ISO 15494 Пластмассовые трубопроводы для промышленных применений - Полибутен (PB), Полиэтилен (PE), Полипропилен (PP) - Часть 1: Требования к деталям и системам трубопроводов –метрические ряды.

ISO/DIS15493 Системы пластмассовых трубопроводов для промышленных применений - Акрилнитрилбутадиенстирол (ABS), непластифицированный поливинилхлорид (PVC-U), (PVC-C)- Требования к деталям и системам трубопроводов

5.2.5 DVS-Инструкции и предписания

DVS 2205 Расчёт ёмкостей и аппаратов из термопластов.

Часть 1 -Параметрические значения.

Часть 3 -Сварные соединения.

Часть 4 –Фланцевые соединения; дополнительно- приложение.

DVS 2201 Испытания заготовок из термопластов

Часть 1: Основы- указания.

Часть 2; Сварное соединение- методы испытаний – требования.

DVS 2206 Испытания стройдеталей и конструкций из термопластичных пластмасс

DIBt Список допустимых наполнителей для ёмкостей, приёмных устройств и труб из пластмасс.

5.3 Список литературы

[1] Timoshenko, S.; Theory of Plates and Shells. McGraw Hill Book Comp, New York/London 1959.

[2] Kempe, B.: Verformungsmessungen an einem Behälter aus Polyethylen hoher Dichte bei Temperaturwechsel. Schw. Schn. 42 (1990), H. 4, S. 173.

[3] Tuercke, H.; Zur Stabilitat von Behaltern aus Thermoplasten, DIBt-Mitteilungen Heft 5/1995.

5.4 Температурно- и временнозависимые Е-Модули для расчётов по стабильности и деформации.

Таблица 8. Температурно-зависимые кратковременные Е-Модули E_k^{t0c} в N/mm^2 .

Материал	10°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C
PE-HD	100	100	50	90	70	90		
PP-H	400	200	60	70	20	00	00	20
PP-B	200	000	90	30	00	00	20	50
PP-R	000	00	20	90	80	00	30	80
PVC-NI	200	000	710	450	210	000		
PVDF	900	700	330	050	20	50		

Таблица 9. Временно-зависимые долговременные Е-Модули E_L^{20c} в N/mm^2 .

Материал	1 год	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
PE	3	26	25	24	23	23
PP	4	39	36	35	34	33
PP	4	33	30	29	28	27
PP	3	29	28	28	27	27
PV	1	16	16	16	16	16
PV	8	76	74	73	72	72

Примечание: Е-модули для PE-HD могут также применяться для PE-63, PE-80 и PE-100.

Долговременные Е-Модули для PE действуют для напряжений $\sigma \leq 0,5 N/mm^2$, в случае PP действуют для напряжений $\sigma \leq 1 N/mm^2$

Для PVC-NI и PVDF зависимость Е-модулей от напряжений может быть опущена.

5.5 Конструктивные детали

В данном разделе приводятся примеры конструкций для

- Патрубков в корпусе цилиндра, рис.9
- Анкерного закрепления, рис.10
- Подъёмных проушин, рис.11
- Стыка корпус\дно, рис.12
- Стыка корпус\крыша, рис.13
- Кромки открытых ёмкостей, рис.14

Рис.9 Патрубки в корпусе цилиндра

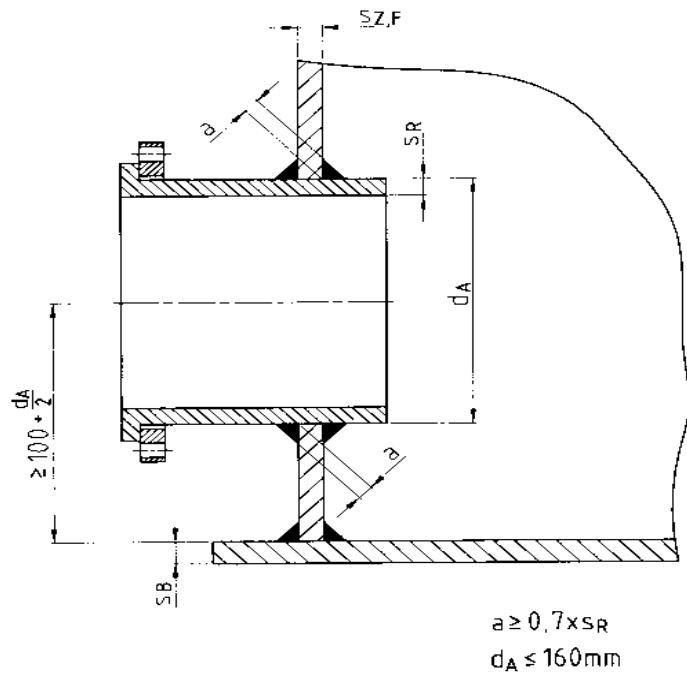


Рис.10 Анкерное закрепление

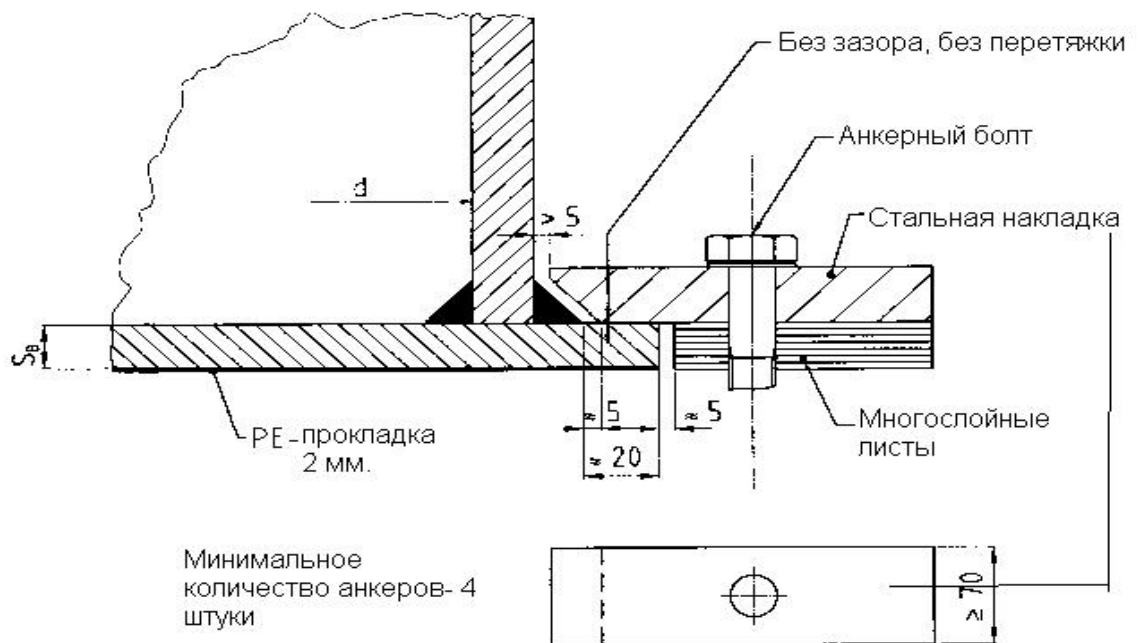
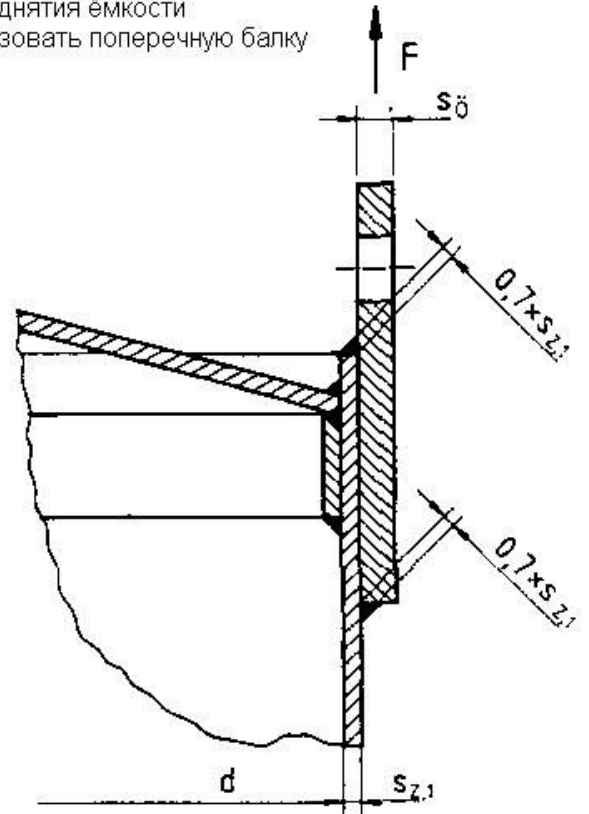
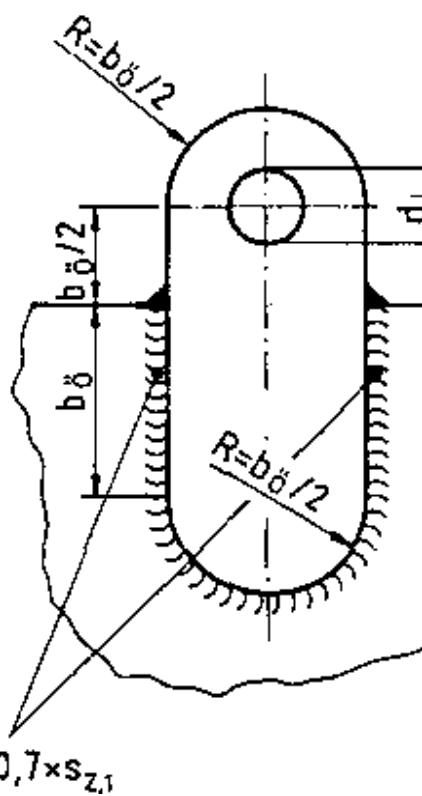
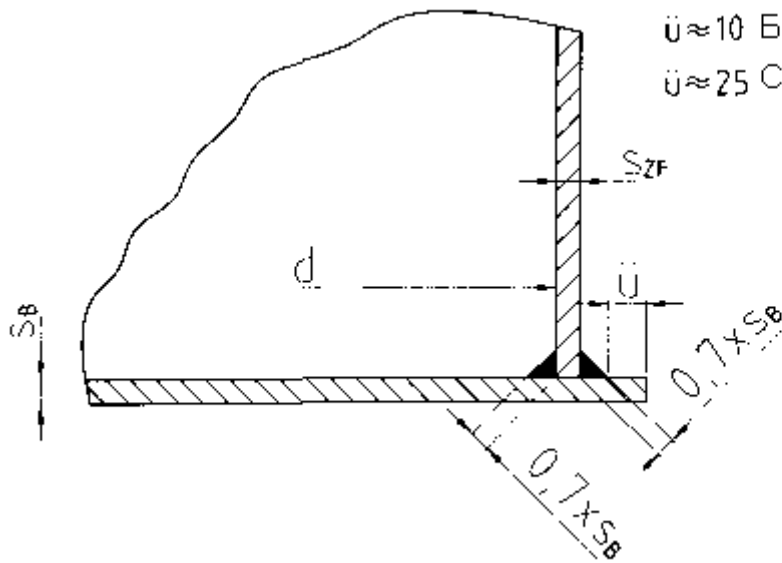


Рис.11 Подъёмные проушины

Для поднятия ёмкости
использовать поперечную балку



При соблюдении b_0 также возможна установка
Рис.12 **СТЫК** **корпус\дно**



$\bar{u} \approx 10$ Без анкерной
 $\bar{u} \approx 25$ С анкерной

Рис.13 Стык корпус\крыша

Экструзионный шов

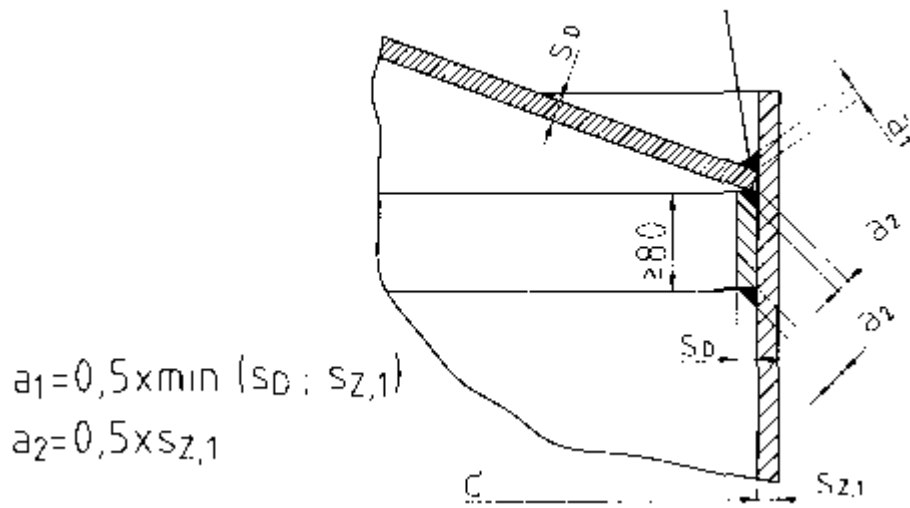
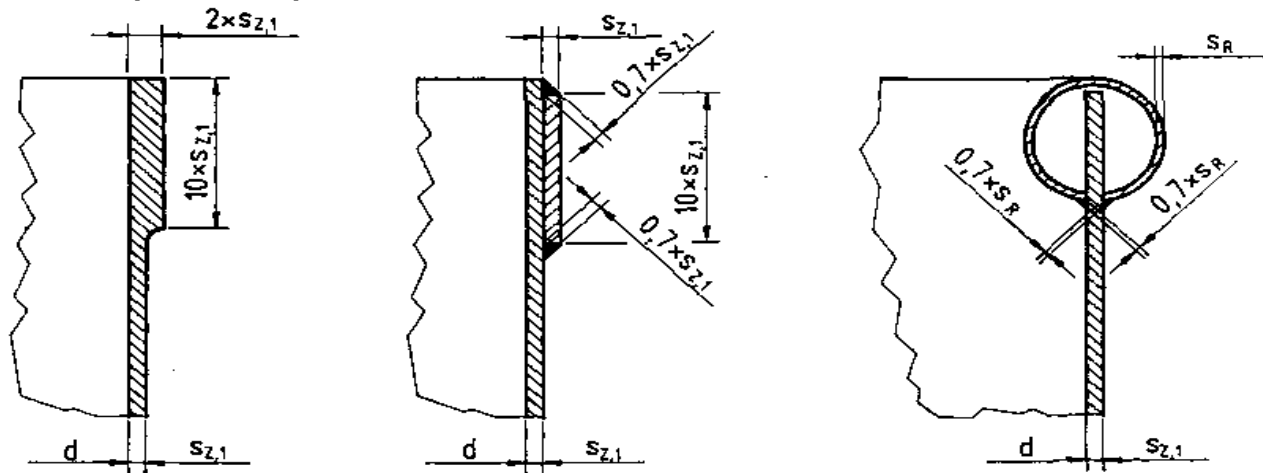


Рис.14 Кромки открытых ёмкостей



Ноябрь 2003

DVS – Немецкий Союз Сварки и родственных технологий

**Расчет емкостей и аппаратов из термопластов
Сварные стационарные ёмкости при установке в помещениях**

Директива DVS 2205-2, приложение 1

Замена редакции от октября 2000 г.

Содержание:

- 1 Область действия
- 2 Расчетные величины (см. **DVS 2205-2**)
- 3 Нагрузки
 - 3.1 Постоянные нагрузки
 - 3.1.1 Общий собственный вес конструкции
 - 3.1.2 Собственный вес загружаемого материала
 - 3.1.3 Внутреннее и наружное давление
 - 3.2 Краткосрочные нагрузки
 - 3.2.1 Внутреннее и внешнее давление
 - 3.2.2 Пониженное давление вследствие подсоса ветра
 - 3.2.3 Нагрузки вследствие передвижения по крыше
 - 3.2.4 Нагрузки в ходе монтажных работ
 - 3.3 Температура
- 4 Доказательство устойчивости
 - 4.1 Доказательство прочности
 - 4.1.1 Корпус
 - 4.1.2 Дно
 - 4.1.3 Патрубки
 - 4.1.4 Подъёмные проушины
 - 4.2 Доказательства стабильности
 - 4.2.1 Корпус
 - 4.2.2 Конусообразная крыша
- 5 Приложения
 - 5.1 Пояснения
 - 5.2 Нормы и директивы
 - 5.3 Список литературы
 - 5.4 Е-Модули для расчётов по стабильности и деформации.
 - 5.5 Конструктивные детали

1. Область действия

Указанные ниже правила по конструированию и расчетам действительны применительно к вертикальным емкостям цилиндрической формы, с плоским дном, изготавливаемым в заводских условиях из термопластов, в особенности из

- Поливинилхлорида (ПВХ / PVC),
- Полипропилена (ПП / PP),
- Полиэтилена (ПЭ / PE),
- Поливинилиденфторида (ПВДФ / PVDF).

Данный документ описывает сварные стационарные ёмкости при установке в помещениях.

Цилиндрическая обшивка с одинаковой или различной толщиной стен может свариваться из плит, или же представлять собой трубу, изготовленную методом намотки или экструзии.

Наряду с гидростатическими нагрузками также следует учитывать краткосрочные и долгосрочные воздействия давления. Установлены следующие минимальные значения:

Избыточное давление: $0,0005 \text{ Н/мм}^2$ (0,005 бар)

Пониженное давление: $0,0003 \text{ Н/мм}^2$ (0,003 бар)

Долгосрочное давление следует учитывать только тогда, когда оно действительно оказывает влияние.

Ограничения габаритных размеров:

Диаметр емкости : $d < 4 \text{ м}$

Соотношение: $h/d < 6$

Минимальная толщина стен: $s = 4 \text{ мм}$

Следует соблюдать требования соответствующих разделов права (к примеру, строительного права, водного права, совокупности правовых норм, обеспечивающих охрану труда наёмных работников и т.д.).

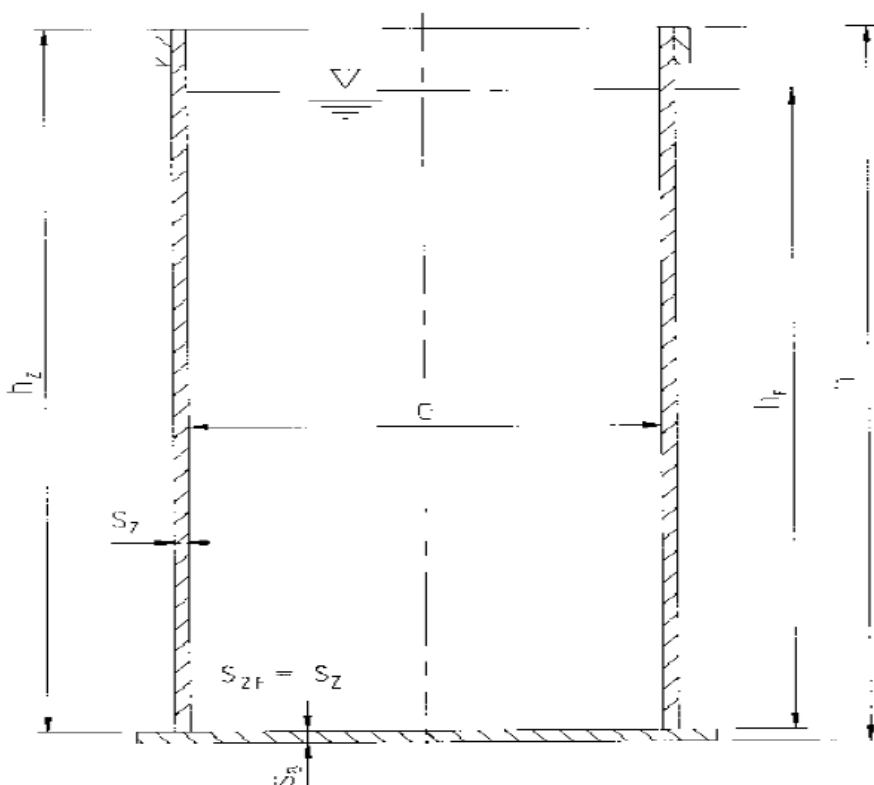


Рис. 1. Открытая емкость с плоским дном и бесступенчатой толщиной стен.

Рис. 2. Открытая емкость с плоским дном и ступенчатой толщиной стен

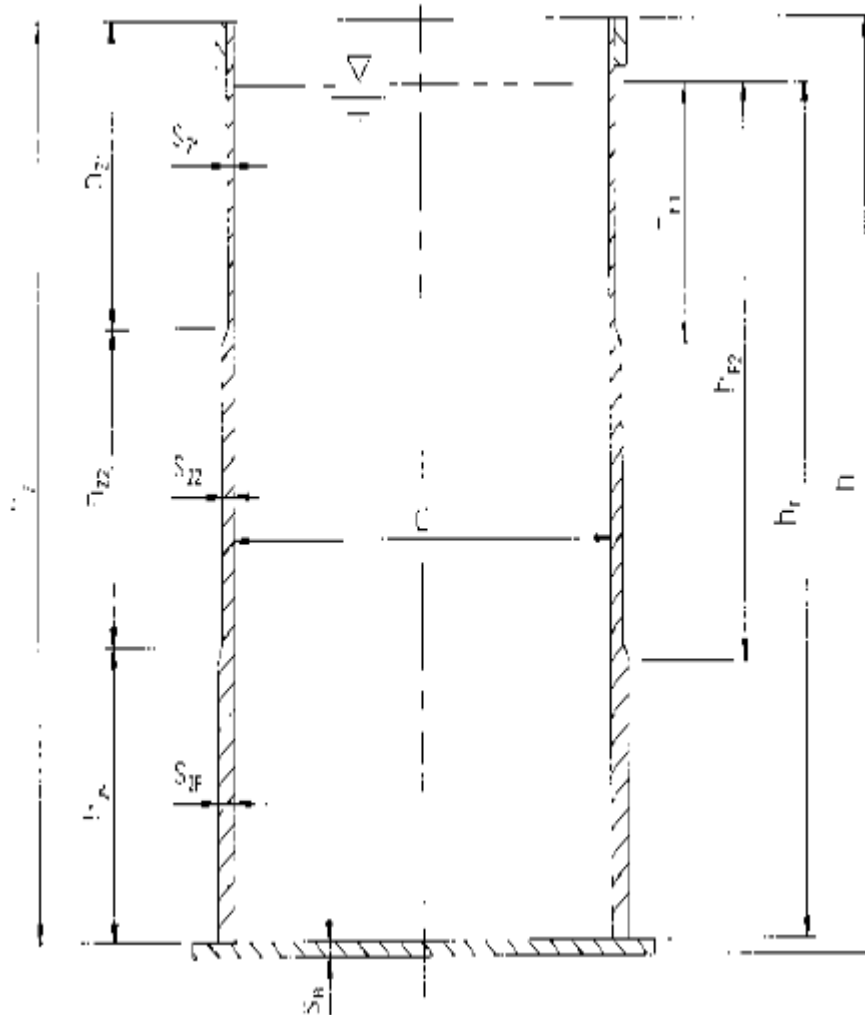


Рис. 3. Емкость с плоским дном и конусообразной крышей, бесступенчатой толщиной стен.

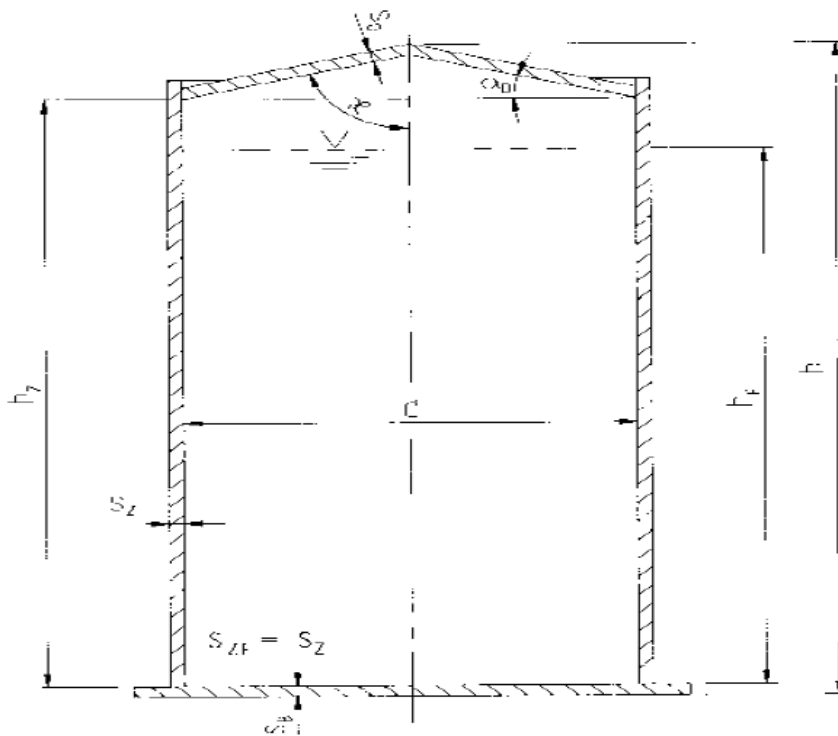
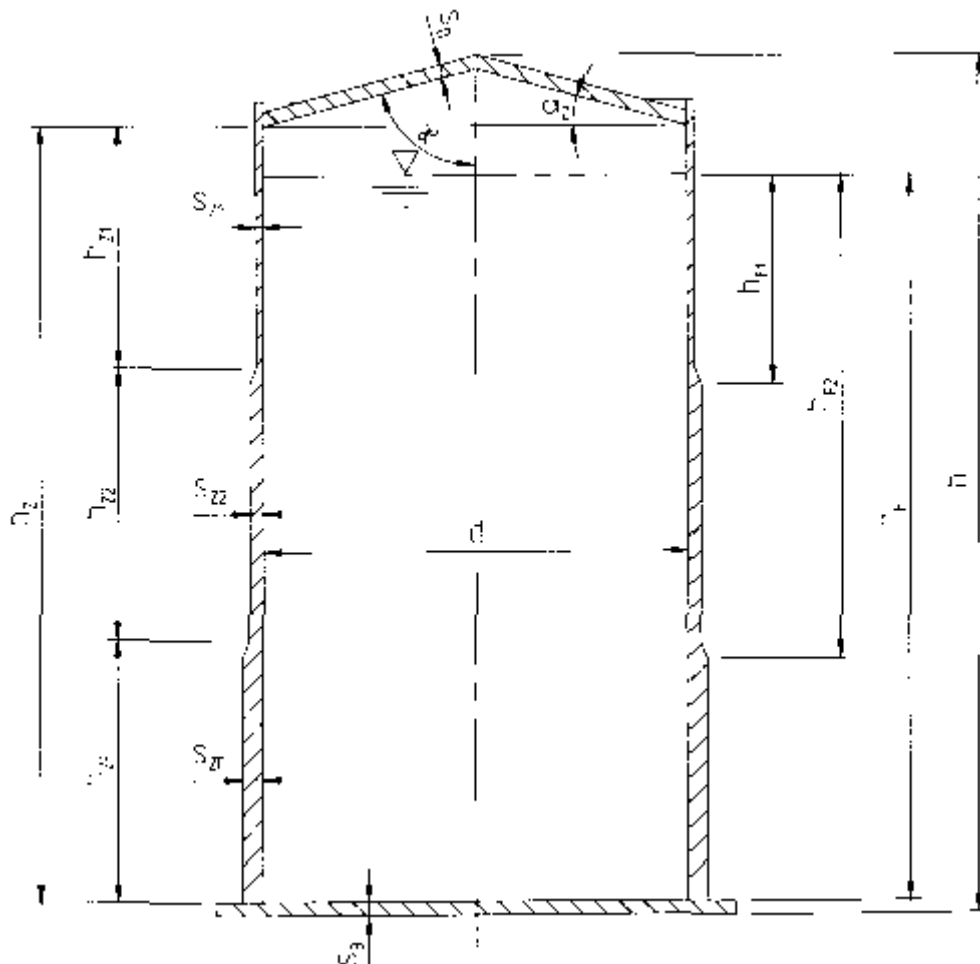


Рис. 4. Емкость с плоским дном и конусообразной крышей, ступенчатой толщиной стен.



3 Нагрузки

3.1 Постоянно действующие нагрузки

В зависимости от каждого конкретного случая емкости проектируют с расчетным сроком эксплуатации до 25 лет ($2 \cdot 10^5$ часов). Расчетный уровень заполнения h_p определяется предстоящими условиями эксплуатации.

3.1.1 Общий собственный вес G_E

$$G_E = G_D + G_Z + G_B \quad \text{Н} \quad (1)$$

Собственный вес крыши G_D

$$G_D = A_D \cdot S_D \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (2)$$

Собственный вес цилиндра G_Z

$$G_Z = A_Z \cdot s_Z \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (3)$$

Собственный вес дна G_B

$$G_B = A_B \cdot s_B \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (4)$$

Лестницы, рабочие площадки, платформы и т.п. должны устанавливаться и закрепляться независимо от емкости, в противном случае это будет препятствовать таким явлениям, как свободное расширение емкости, к примеру при ее заполнении, опорожнении и изменении температуры. Это может стать причиной возникновения значительных пиков напряжения, которые сложно рассчитать, использование подобных решений может быть нерентабельным с экономической точки зрения. Если эта рекомендация не будет выполнена, необходимо предоставить соответствующие доказательства допустимости выбранного решения.

3.1.2 Вес загружаемого материала G_F

$$G_F = V \cdot \rho_F \cdot g \quad \text{кН} \quad (5)$$

3.1.4 Внутреннее и наружное давление $p_{\text{в}}$, $p_{\text{н}}$

Следует учитывать значения давления, превышающие значения, указанные в разделе «Область действия», и находящиеся в рамках, заданных эксплуатирующей организацией.

В случае подключения защитного оборудования, предназначенного для предотвращения переполнения либо нагнетания или удаления воздуха, которые создают более высокое давление, следует учитывать только эти значения давления. Такие значения давления запрещено достигать при абсолютно пустой емкости, так как это опасно для дна, а также может привести к приподниманию всей емкости.

3.2 Краткосрочные нагрузки

Продолжительность оказания краткосрочных нагрузок принимается равной 10^{-1} ч.

Гидравлические удары (скачки давления), которые могут иметь место в процессе заполнения, необходимо предупреждать при помощи соответствующего комплекса мер.

3.2.1 Внутреннее и наружное давление $p_{\text{вК}}$, $p_{\text{нК}}$

Если в процессе эксплуатации не может возникнуть более высокое давление, следует учитывать указанные в разделе 1 минимальные значения давления. Из определения $p_{\text{вК}}$ следует $p_{\text{вК}} \geq p_{\text{рв}}$ (см. Рис. 5). Аналогично для $p_{\text{нК}}$. Для краткосрочных нагрузок требуется выполнить следующие условия:

$$p_{\text{нК}} \leq \frac{K_K^*}{K_L^*} \cdot p_{\text{н}} \quad \text{и} \quad p_{\text{вК}} \leq \frac{K_K^*}{K_I^*} \cdot p_{\text{в}}$$

давление

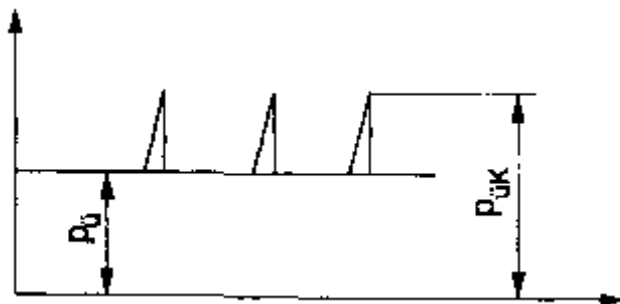


Рис. 5. Определение $p_{\text{вК}}$. время

3.2.2 Пониженное давление вследствие подсоса

В проветриваемых емкостях вследствие подсоса создается внутреннее пониженное давление. (см. норму DVS 2205-2)

При проветривании с использованием трубопровода, выходящего наружу, справедлива следующая формула

$$P_{us} = 0,48 \cdot 10^{-3} N / \text{мм}^2.$$

3.2.3 Нагрузки вследствие передвижения по крыше

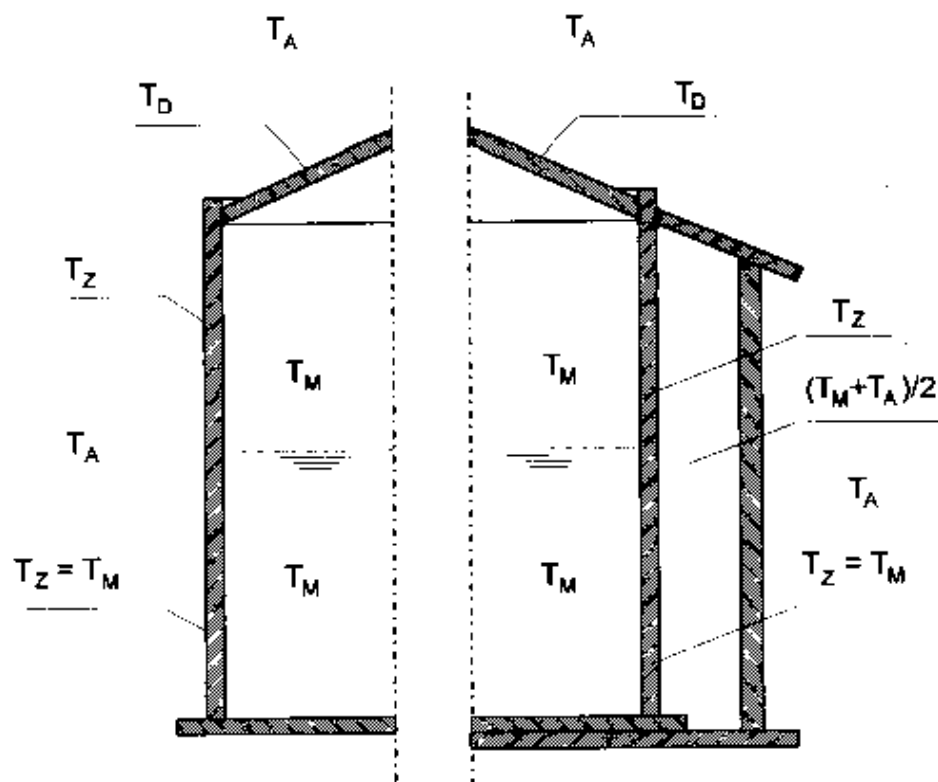
Ходить по крыше, в отношении которой не предприняты меры по распределению нагрузки, запрещено. При проведении монтажных и инспекционных работ необходимо принять соответствующие меры.

3.2.4 Нагрузки во время проведения работ по монтажу

Емкость должна быть рассчитана с учетом нагрузок, оказываемых при транспортировке и монтаже. При этом закладывают 1.5-кратный динамический коэффициент по нагрузкам в процессе монтажа. В качестве коэффициента частичной надежности используется значение F1. В соответствии с требованиями DVS 2205-1 также следует учитывать краткосрочный коэффициент прочности сварного шва.

3.3 Температура

Температура стен является решающим фактором при замерах отдельных конструктивных элементов. Контактующие с влажной средой элементы всегда следует проектировать исходя из температуры среды T_M . Элементы, не контактирующие с влажной средой, можно рассчитывать по упрощенной схеме, температура стен принимается равной средним соседним значениям температуры воздуха. Температурой воздуха в емкости считается температура среды, а в долгосрочной перспективе – среднее значение температуры наружного воздуха, принимаемое равным $T_A = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. На рис. 6 показаны значения температуры стен.



Без накопителя
(приемного резервуара)

С накопителем (приемным резервуаром)

Температура наружного воздуха: $T_A = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ при расположении в помещении

Без приемного резервуара	С приемным резервуаром
$T_D = (T_M + T_A)/2$	$T_D = (T_M + T_A)/2$
$T_Z = (T_M + T_A)/2$	$T_Z = (T_M + T_A)/4$

4 Подтверждение устойчивости

Подтверждение устойчивости осуществляется в соответствии с концепцией коэффициентов частичной надежности. При этом характеристические воздействия или значение нагрузки умножается на коэффициенты частичной надежности γ_F , в соответствии с данными из следующей табл.

Воздействие	Коэффициент частичной надежности
Собственный вес, заполнение, монтаж	$\gamma_{F1} = 1.35$
Нагрузки	$\gamma_{F2} = 1.5$

Кроме того, воздействия умножаются на коэффициенты уменьшения A_1 и A_2 и величину γ_1 . Характерные сопротивления и мех.прочности делятся на величину $\gamma_M = 1,1$

4.1 Доказательства прочности

4.1.1 Корпус

Высота самого нижнего пояса h_{ZF} должна как минимум равняться $1,4 \cdot \sqrt{d \cdot s_{ZF}}$.

В резервуарах со ступенчатыми стенами допустимое соотношение толщин стен у соседних поясов может достигать 3, в этом случае нет необходимости приводить доказательства. При разнице толщин, с соотношением толщин стен, превышающим 2, следует использовать шов в соответствии с требованиями DVS 2205-3, показанный на рис. 2.2 а), 2.2 с) или 2.2 с-).

Нижний пояс

Максимум обоих последующих доказательств определяет толщину стен нижнего пояса s_{ZF}

$$s_{ZF} = \max(s_{ZFR}, s_{ZFC})$$

$$s_{ZFR} = \frac{(\gamma_{F1} \cdot p_{stat} + \gamma_{F2} \cdot p_0) \cdot d}{2 \cdot \frac{K_L^*}{\gamma_M}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1}{f_s} \quad \text{mm} \quad (6)$$

$$s_{ZFC} = \frac{C \cdot (\gamma_{F1} \cdot p_{stat} + \gamma_{F2} \cdot p_0) \cdot d}{2 \cdot \frac{K_L^*}{\gamma_M}} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \gamma_1 \quad \text{mm} \quad (7)$$

При

$$P_{stat} = \rho_F \cdot g \cdot h_F \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

Где h_F обозначает высоту заполнения.

Промежуточные пояса

Толщина стен s_{Zi} для каждого пояса i выводится из кольцевой нагрузки растяжения при заполнении объема и избыточных давлений с его нижнего края.

$$s_{Z,i} = \frac{(\gamma_{F1} \cdot P_{stat,i} + \gamma_{F2} \cdot P_U) \cdot d}{2 \cdot \frac{K_L^*}{\gamma_M}} \cdot \frac{A_1 - A_2 \cdot \gamma_f}{f_s} \text{ mm} \quad (9)$$

$$P_{stat,i} = \rho_F \cdot g \cdot h_{F,i} \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

У цилиндров, изготавливаемых из листов, в ур.(6) и (9) принимается во внимание коэффициент прочности сварного шва корпуса f_s . В соответствии с сегодняшним уровнем развития техники предпочтение следует отдавать стыковой сварке при помощи нагревательного элемента. Для емкостей, изготовленных методом намотки, значения f_s и принимается равным 1.

Остаточными напряжениями, возникающими при сгибании плит при комнатной температуре, можно пренебречь, если растяжение волокон на краях $e = s/d \cdot 100$ [%] не превышает значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Допустимые значения растяжения крайних волокон.

Материал	Растяжение крайних волокон e
PE-HD	1,00
PP-H	0,50
PP-B	0,75
PP-R	1,00
PVDF	0,50
PVC-U	0,20
PVC-C	0,10

Примечание. Применительно к материалам PE 63, PE 80 и PE 100 можно использовать значение, указанное для PE-HD.

Фактор C для сварного перехода дно- корпус является производным из фактора повышения напряжения $C_1=1,2$ и фактора C_2 , специфичного для материала, в соответствии с табл.2

Таблица 2. Фактор C_2 , специфичный для материала и фактор C для термопластичных пластмасс.

Материал	C ₂	C = C ₁ , C ₂
PE-HD	1,00	1,20
PP-H(тип 1)	1,17	1,40
PP-B (тип 2)	1,00	1,20
PP-R (тип 3)	1,00	1,20
PVC-NI (норм. Уд. вязкость)	1,25	1,50
PVC-RI (повыш. Уд. вязкость)	1,08	1,30
PVC-HI (высок. Уд. вязкость)	1,00	1,20
PVC-C	1,33	1,60
PVDF	1,17	1,40

Примечание: Для PE 63, PE 80 и PE 100 могут применяться значения PE-HD
От расчёта напряжений в сварном шве можно отказаться, если угловой шов выполнен с толщиной $a \geq 0,7 s_B$ и долговременным коэффициентом прочности сварного шва $f_s \geq 0,6$

Для однослойных ёмкостей до 1000 л. с толщиной стен до 10 мм., данное справедливо также и для коэффициентов прочности сварного шва $f_s \geq 0,4$

Фактор повышения напряжения $C_1=1,2$ предполагает, что дно не толще, чем толщина стен нижнего пояса ($S_B \leq S_{ZF}$)

4.1.2 Дно

При соединении дна с цилиндром угловыми швами (рис.11), необходимая толщина дна определяется следующим образом:

$$\delta_B \cdot s_{ZFC} \leq s_B \leq s_{ZF}$$

При s_{ZF} – толщина стен
 δ_B – в соответствии с рис.7

При других формах конструкции требуется просчитать нагрузку на дно в зависимости от опорного момента цилиндра.

Расчёт дна ёмкостей без анкеровки с повышенным давлением и расчёт анкеровки (при необходимости) см. в разделе 4.1.4.2 и 4.1.8 инструкции DVS 2205-2

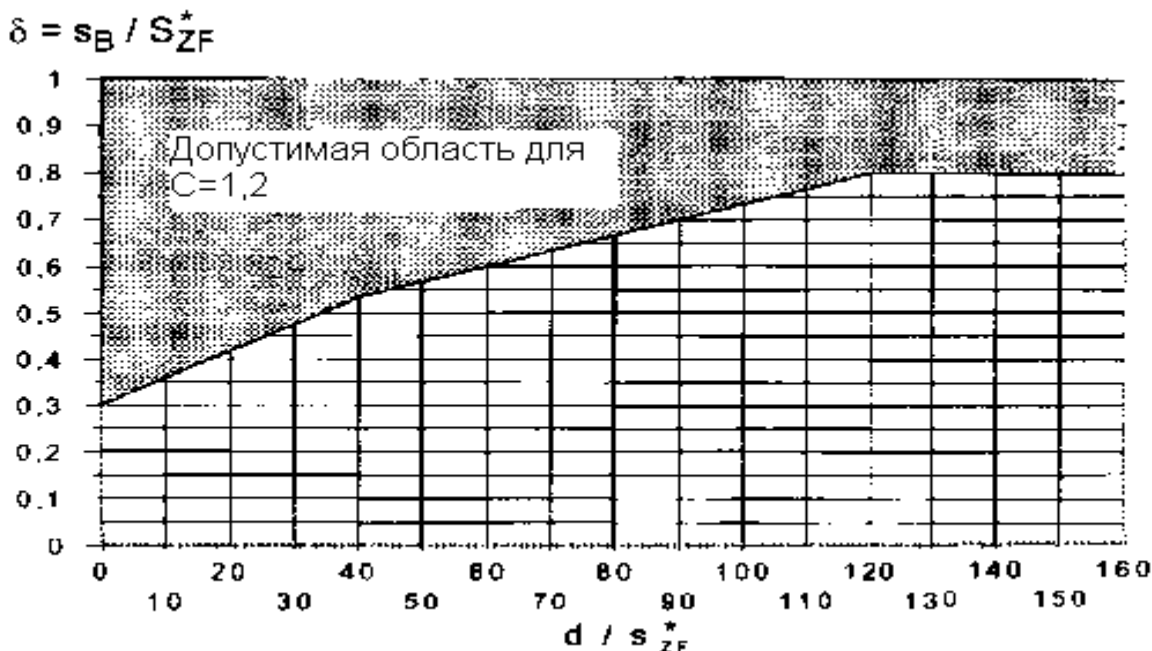


Рис.7 Диаграмма для определения толщины дна, выведенная для PE-HD (при $C > 1.2$ диаграмма будет находиться на стороне надёжности)

4.1.3 Патрубки

4.1.3.1 Патрубки в верхней части

Патрубки, в основном, размещаются в верхней части. Доказательство по ним можно не приводить, если край патрубка удалён минимум на 100 мм. от края крыши и расположен не в области шва.

4.1.3.1 Патрубки сбоку в корпусе

Если они устанавливаются сбоку в цилиндр, необходимо ограничить их максимальный диаметр до $d_A = 160$ мм. Расстояние между центром патрубка и краями ёмкости, границами поясов или сварочных швов корпуса должно составлять не менее $d_A/2 + 100$ мм. Расстояние от середины патрубка до днища и ближайшего пояса с ограниченной толщиной стенки должно составлять минимум d_A .

Следует доказать возможность поглощения повышенных нагрузок на корпус около отверстия, возникающих вследствие концентрации напряжения.

Нагрузка на неподвижном корпусе увеличивается делением на величину ослабления V_A .

При установке патрубка в крышу \ в корпус справедливо следующее:

$$V_A = \frac{0,75}{1 + \frac{d_A}{2 \cdot \sqrt{(d + s_a) \cdot s_a}}} \quad (11)$$

При d_A Внешний диаметр отверстия
 d диаметр цилиндра
 s_a толщина корпуса,
с добавлением

$$s_a = \frac{s_{zFR}}{v_A} \quad \text{или} \quad s_a = \frac{s_{z,i}}{v_A} \quad \text{мм} \quad (12)$$

Если в ёмкостях, изготовленных из листов, выдержана дистанция установки патрубка от сварного шва, в уравнении 12 толщина корпуса s_{zFR} или $s_{z,i}$ может быть сокращена с долговременным коэффициентом прочности сварного шва f_s .

Конструктивное исполнение должно соответствовать рис.9 раздела 5.5. Толщина корпуса должна соответствовать SDR11 (уровень давления PN10).

4.1.4 Подъёмные проушины

Одна из возможных форм проушин показана на рис.10 (раздел 5.5) . При этом необходимо использовать только 2 проушины на ёмкость + параллельный подвес.

Чтобы не производить доказательство распределения нагрузки по верхнему поясу, нужно обеспечить, чтобы проушина не была толще, чем тройная толщина стенки самого верхнего пояса. Диаметр отверстия (d_L) должен быть согласован с диаметром всей проушины (d_{Sch}).

Справедливо следующее:

$$s_{z,i} \leq s_0 \leq 3 \cdot s_{z,i}$$

$$d_{Sch} \leq d_L \leq 1,1 \cdot d_{Sch}$$

Требуется доказать, что 1.5-кратная нагрузка (динамический коэффициент) может быть кратковременно выдержана при 20 ° С. При этом необходимо установить $\gamma_I = 1,2$ т.к. транспортировка ёмкости в любом случае, вне зависимости от её дальнейшего использования, представляет опасность для окружающих.

Необходимая толщина стенки проушин (s_0) выводится из расчёта стенки отверстия

$$s_0 = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{2}}{d_{Sch} \cdot \left(2 \cdot \frac{K^*}{\gamma_M} \right)} \cdot A_1 \cdot \gamma_I \quad \text{мм} \quad (13)$$

Максимум обоих следующих доказательств является определяющим для ширины проушины

$$b_0 = \max (b_{01} \quad b_{02})$$

Доказательство по сдвигающему напряжению поперечного шва при приподнимании лежащей ёмкости

$$b_{0,1} = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{4}}{0,7 \cdot s_{Z,1} \cdot \frac{K_K^*}{2 \cdot \gamma_M}} \cdot \frac{A_1 \cdot \gamma_I}{f_z} \text{ mm} \quad (14)$$

Стержень с проужиной

$$b_{0,2} = \frac{1,5 \cdot \gamma_{F1} \cdot \frac{G_E - G_A}{2}}{s_0 \cdot \frac{K_K^*}{\gamma_M}} \cdot A_1 \cdot \gamma_I + \frac{7}{3} \cdot d_L \text{ mm} \quad (15)$$

4.2 Доказательства стабильности

4.2.1 Корпус

Требуемая толщина корпуса исходя из стабильности давления вследствие пониженного давления P_u может быть определена с помощью аналога трёхпоясного цилиндра (рис.8). Размеры его указаны в таблице 3. Коэффициент определяется из

$$\lambda = \frac{s_M}{2 \cdot s_Z} \quad (16)$$

При

$$s_M = 0,77 \cdot \left(A_{21} \cdot \frac{h_z \cdot \gamma_{F2} \cdot \gamma_I \cdot P_u}{\frac{E_K^{T^{\circ}C}}{\gamma_M} \cdot d} \right)^{0,4} \cdot d \text{ mm} \quad (17)$$

Температурно- и временно-зависимые модули $E_K^{T^{\circ}C}$ могут быть взяты из таблицы 5 (раздел 5.4) **Рис.8 аналог цилиндра по DIN 18800-4**

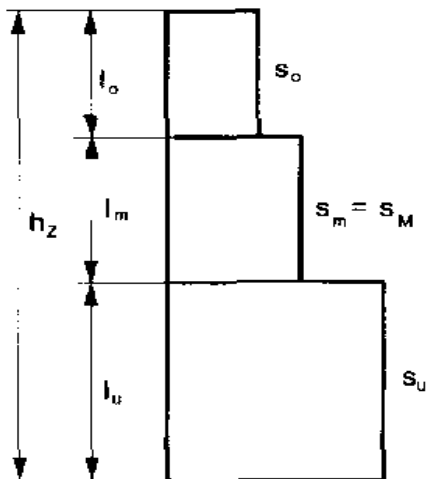


Таблица 3. Размеры аналога цилиндра в зависимости от λ

размеры аналога цилиндра	формулы для расчёта		
	$\lambda \leq 1/3$	$1/3 < \lambda < 1/2$	$\lambda \geq 1/2$
l_o	$\lambda \cdot h_z$	$\lambda \cdot h_z$	—
s_o	$s_M \cdot (1 + 5 \cdot \lambda)/4$	$2 \cdot \lambda \cdot s_M$	s_M
l_m	l_o	$(h_z - l_o)/2$	—
s_m	s_M	s_M	s_M
l_u	$h_z - 2 \cdot l_o$	l_m	—
s_u	$2 \cdot s_m - s_o$	$2 \cdot s_m - s_o$	s_M

Различные уровни должны быть примерно одной длины (>500мм.) с изменениями толщины >1 мм.

Уменьшение уровней должно происходить с выполнением условия

$$\sum s_{z,i} \cdot h_{z,i} \geq s_o \cdot l_o \quad \text{или} \quad s_m \cdot l_m \quad \text{или} \quad s_u \cdot l_u$$

При этом следует стремиться к равномерному распределению уровней.

Круговая деформация цилиндра должна при этом находиться в пределах

$$u = \frac{2 \cdot (d_{\max} - d_{\min})}{d_{\max} + d_{\min}} \cdot 100 \leq 0,5 \quad \% \quad (18)$$

4.2.2 Конусообразная крыша

Угол наклона крыши не должен быть более $\alpha_D = 15^\circ$ ($\kappa = 75^\circ$)

Для крыши требуется доказать стабильность исходя из собственного веса и пониженного давления (до 0,003 бар). Для не свободнопроветриваемых ёмкостей с долговременно действующим пониженным давлением $P_u > 0,003$ доказательство прочности может определять размеры.

Приблизённо :

1000 мм. $\leq d \leq 4000$ мм. и $\alpha_D = 15^\circ$

$$s_D = \left(\frac{d}{\beta_s} - \delta_s \right) \cdot \left(\frac{A_{2I}}{1,4} \cdot \frac{p_u (\text{bar})}{0,003} \right)^{0,4} \quad \text{мм} \quad (19a)$$

С β_s и δ_s соответствующими таблице 4.

Для $P_u > 0,003$ bar следует проверить, чтобы толщина крыши была основана на доказательстве прочности в соответствии с уравнением 19b.

$$s_D = \left(\frac{d}{\beta_F} - \delta_F \right) \cdot \left(\frac{A_2}{1,4} \cdot \frac{p_u (\text{bar})}{0,003} \right)^{0,648} \quad \text{мм} \quad (19b)$$

С β_F и δ_F соответствующими таблице 4. Предполагается долговременный коэффициент прочности сварного шва $f_{sD} \geq 0,6$ / $D < 1000$ мм. рассчитывается как $d = 1000$ мм.

Таблица 4. Коэффициенты для расчёта крыши при $\alpha_D = 15^\circ$

	я	Средня	Рабоча	s	s	δ	F	F	δ
		Темп.							
PE-		30	25		2	0			0,
		40	30		1	0			0,
		50	35		1	1			1,
		60	40		1	1			1.
PE63		30	25		2	0			1,
		40	30		1	0			1,
		50	35		1	1			1,
		60	40		1	1			1,
PES0		30	25		2	0			0,
		40	30		1	0			0,
		50	35		1	1			0,
		60	40		1	1			1.
PE		30	25		2	0			0,
		40	30		1	0			0,
		50	35		1	1			0,
		60	40		1	1			0,
PP-H		30	25		2	0			0,
		40	30		2	0			0,
		50	35		2	0			0,
		60	40		2	0			0,
PP-B		30	25		2	0			0,
		40	30		2	0			0,
		50	35		2	0			0,
		60	40		1	0			0,
PP-R		30	25		2	0			0,
		40	30		1	0			0,
		50	35		1	0			0,
		60	40		1	1			0,
PCV-		30	25		3	0			0.
		40	30		3	0			0.
		50	35		3	0			0.
		60	40		3	0			0,
PVDF		30	25		2	0			0,
		40	30		2	0			0.
		50	35		2	0			0,
		60	40		2	0			0,
		70	45		2	0			0,
		80	50		2	0			0,

5 приложения

5.1 Пояснения

При установке ёмкостей в зданиях не требуется учитывать дополнительные нагрузки, например ветровые и снеговые. Это позволяет произвести более простой расчёт ёмкости по отношению к предписанию DVS 2205-2.

Приложение 1 описывает установку и эксплуатацию Ёмкостей в закрытых помещениях

Приложение 2 описывает измерение приёмных устройств (ёмкостей)

Приложение 3 описывает измерение плоских крыш.

5.2 Нормы и директивы

См. DVS 2205-2., п. 5.2

5.3 Список литературы

[1] Timoshenko, S.: Theory of Plates and Shells. McGraw Hill Book Comp, New York/London 1959.

[2] Kempe, B.: Verformungsmessungen an einem Behälter aus Polyethylen hoher Dichte bei Temperaturwechsel, Schweißen & Schneiden, Heft 4/90.

[3] Tuercke, H.: Vereinfachter Nachweis der Manteldruckstabilität bei Flachbodenbehältern aus Thermoplasten, DIBT-Mitteilungen Heft 6/1995.

[4] Tuercke, H.: Zur Stabilität von Behältern aus Thermoplasten, DIBT-Mitteilungen Heft 5/1995.

5.4 E-Модули для расчётов по стабильности.

Таблица 5. Температурно-зависимые кратковременные E-Модули $E_k^{t_{oc}}$ в N/mm^2 .

Материал	10°C	< 0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C
PE-HD	100	100	50	90	70	90			
PP-H	400	1200	60	70	20	00	00	20	
PP-B	200	1000	90	30	00	00	20	50	
PP-R	000	1000	20	90	80	00	30	80	
PVC-NI	200	3000	710	450	210	000			
	10°C	< 0°C	0°C	0°C	0°C	00°C			
PVDF	900	1700	330	050	20	50			

Примечание: E-модули для PE-HD могут также применяться для PE-63, PE-80 и PE-100.

5.5 Конструктивные детали

В данном разделе приводятся примеры конструкций для

- Патрубков в корпусе цилиндра, рис.9
- Подъёмных проушин, рис.10
- Стыка корпус\дно, рис.11
- Стыка корпус\крыша, рис.12

- Кромки открытых ёмкостей, рис.13
Рис.9 Патрубки в корпусе цилиндра

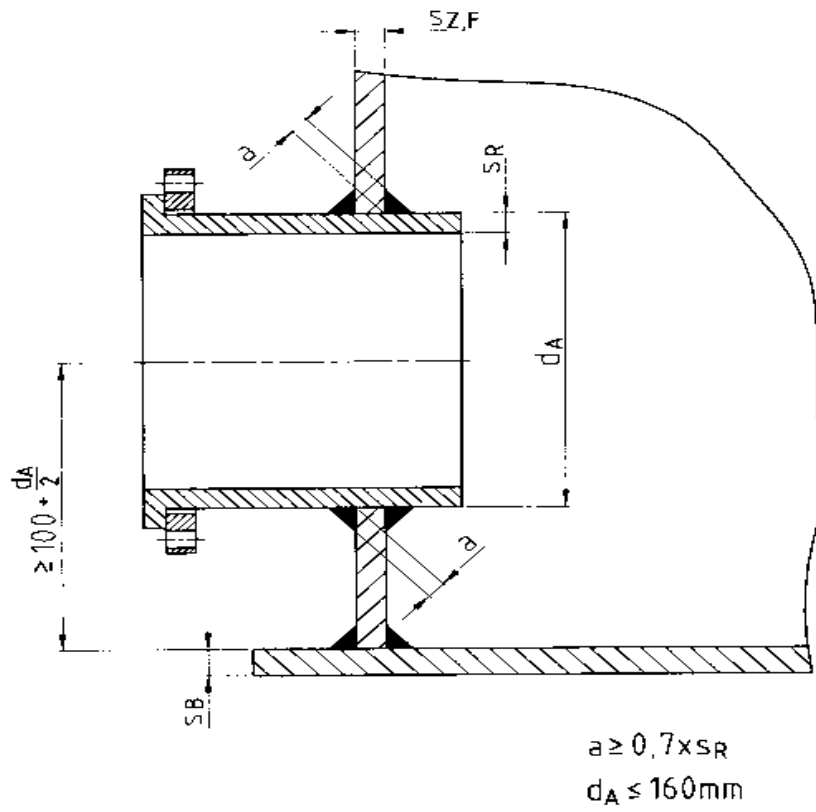
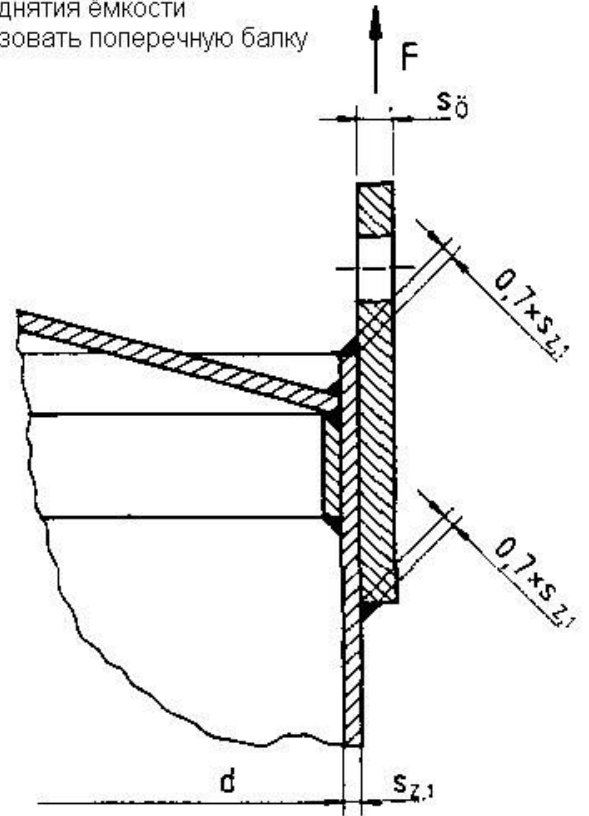
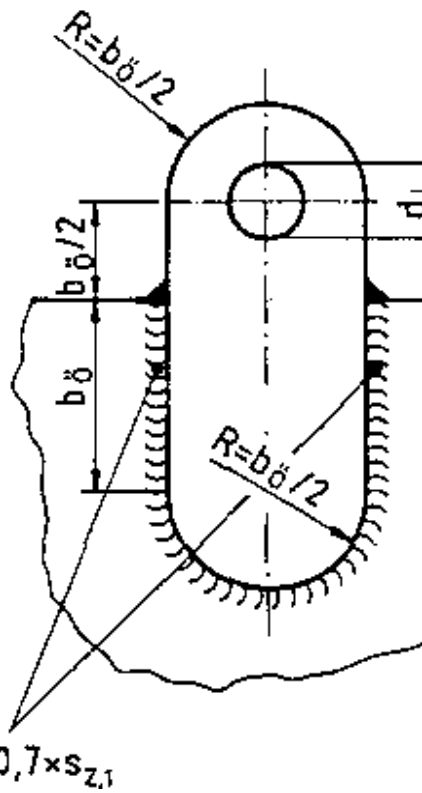
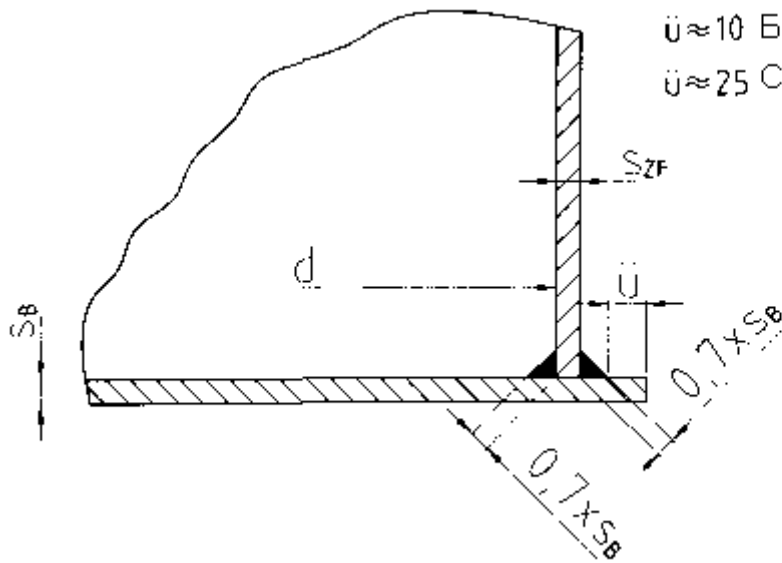


Рис.10 Подъёмные проушины

Для поднятия ёмкости
использовать поперечную балку



При соблюдении b_0 также возможна установка
Рис.11 **СТЫК** **корпус\дно**



$\bar{u} \approx 10$ Без анкерной
 $\bar{u} \approx 25$ С анкерной

Рис.12 Стык корпус\крыша

Экструзионный шов

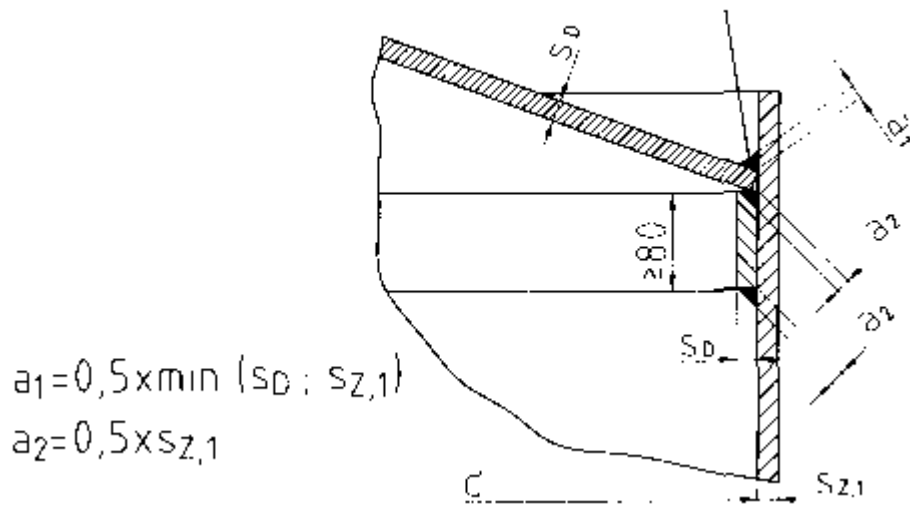
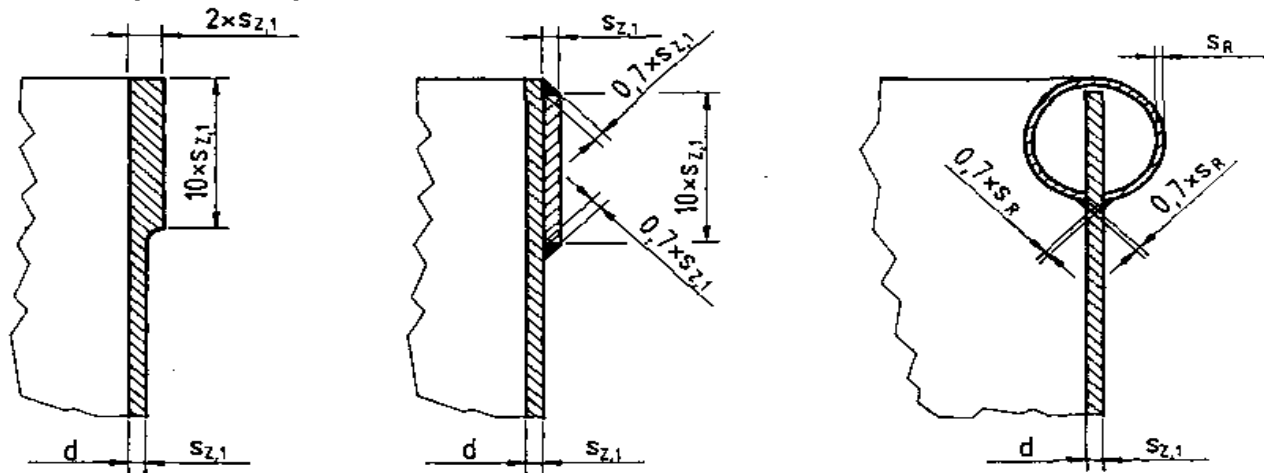


Рис.13 Кромки открытых ёмкостей



Ноябрь 2003

DVS – Немецкий Союз Сварки и родственных технологий

**Расчет емкостей и аппаратов из термопластов
Стационарные круглые ёмкости, не находящиеся под давлением
Накопители (приемные резервуары)
Директива DVS 2205-2, приложение 2**

Замена редакции от октября 2000 г.

Содержание:

- 1 Область действия
- 2 Расчетные величины (см. **DVS 2205-2**)
- 3 Нагрузки
 - 3.1 Постоянные нагрузки
 - 3.1.1 Общий собственный вес конструкции
 - 3.1.2 Собственный вес загружаемого материала
 - 3.2 Ветер
 - 3.2.1 Ветровая нагрузка
 - 3.2.2 Радиально-симметрическая нагрузка вследствие ветровой нагрузки
 - 3.3 Нагрузки в ходе монтажных работ
 - 3.4 Температура
- 4 Доказательство устойчивости
 - 4.1 Доказательство прочности
 - 4.1.1 Воздействия
 - 4.1.2 Корпус
 - 4.1.3. Дно
 - 4.1.4 Сварное соединение дно\корпус
 - 4.1.6 Подъемные проушины
 - 4.2 Доказательства стабильности
 - 4.2.1 Наложение воздействий
 - 4.2.2 Осевая стабильность
 - 4.2.3 Стабильность давления на корпусе
- 5 Приложения
 - 5.1 Пояснения
 - 5.2 Нормы и директивы
 - 5.3 Список литературы
 - 5.4 Температурные и временные E-Модули для расчётов по стабильности и деформации.
 - 5.5 Конструктивные детали

1. Область действия

Указанные ниже правила по конструированию и расчетам действительны применительно к накопителям цилиндрической формы, с плоским дном, изготавливаемым в заводских условиях из термопластов, в особенности из

- Поливинилхлорида (ПВХ / PVC),
- Полипропилена (ПП / PP),
- Полиэтилена (ПЭ / PE),
- Поливинилиденфторида (ПВДФ / PVDF).

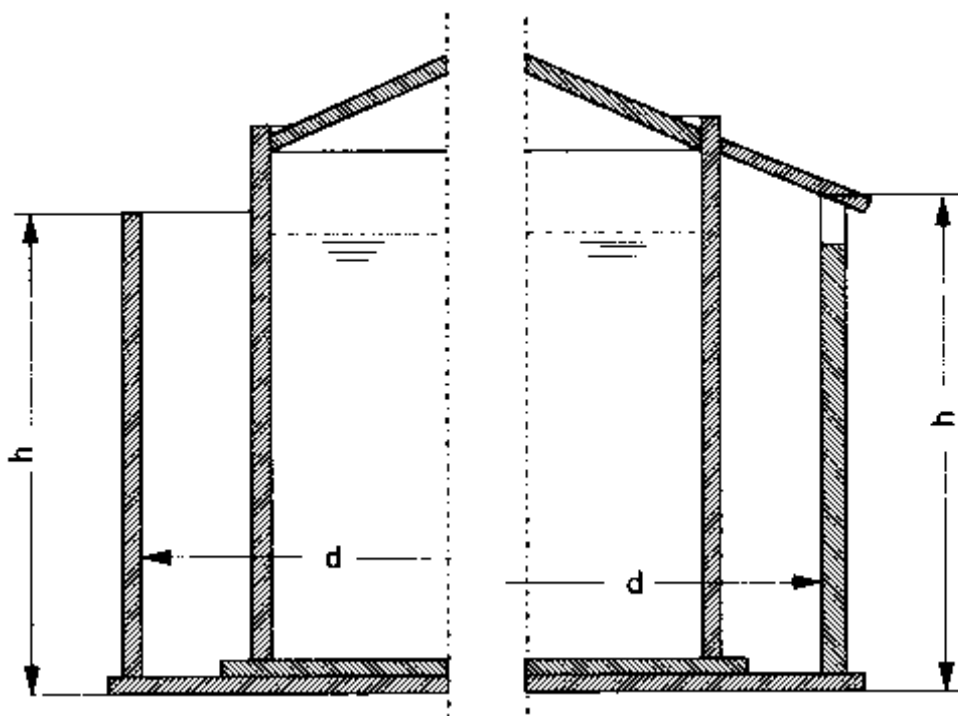
Цилиндрическая обшивка с одинаковой или различной толщиной стен может

свариваться из плит, или же представлять собой трубу, изготовленную методом намотки или экструзии. Цилиндр и дно ёмкости не должны содержать отверстий.

Размеры должны зависеть от размеров основной ёмкости, см. раздел 5. Минимальная толщина корпуса составляет 4 мм.

Следует соблюдать требования соответствующих разделов права (к примеру, строительного права, водного права, совокупности правовых норм, обеспечивающих охрану труда наёмных работников и т.д.).

Рис.1 Накопитель для плоскодонной ёмкости



открытый

проветриваемый

2 Расчетные величины -см. DVS 2205-2

3 Нагрузки

Накопители рассчитываются на такой же срок эксплуатации как и основной бак, при этом нагрузка заполнением при просачивании определяется сроком на 3 мес.

В целом, требуется учесть следующие нагрузки:

3.1 Постоянно действующие нагрузки

3.1.1 Общий собственный вес G_E

$$G_E = G_D + G_Z + G_B \quad \text{Н} \quad (1)$$

Собственный вес цилиндра G_Z

$$G_Z = A_Z \cdot s_z \cdot p \cdot g \quad \text{Н} \quad (2)$$

Собственный вес дна G_B

$$G_B = A_B \cdot s_B \cdot \rho \cdot g \quad \text{Н} \quad (3)$$

Лестницы, рабочие площадки, платформы и т.п. должны устанавливаться и закрепляться независимо от емкости, в противном случае это будет препятствовать таким явлениям, как свободное расширение емкости, к примеру при ее заполнении, опорожнении и изменении температуры. Это может стать причиной возникновения значительных пиков напряжения, которые сложно рассчитать, использование подобных решений может быть нерентабельным с экономической точки зрения. Если эта рекомендация не будет выполнена, необходимо предоставить соответствующие доказательства допустимости выбранного решения.

3.1.2 Вес загружаемого материала G_F

$$G_F = V \cdot \rho_F \cdot g \quad \text{кН} \quad (4)$$

3.2 Ветер

3.2.1 Ветровая нагрузка W_j

Ветровая нагрузка рассчитывается следующим образом:

$$W_j = c \cdot q_j \cdot A_j \quad \text{кН} \quad (5)$$

$$(j = 1. 2. 3. \dots)$$

Это означает, что:

W_j = Ветровая нагрузка на части поверхности A_j

c = Коэффициент ветра для кругового цилиндра.

Так как нельзя исключать, что вследствие дополнительных мероприятий по строительству расположение по отдельности станет расположением в ряд, в соответствии с DIN 1055-4 расчет принципиально следует осуществлять исходя из $c = 1,2$.

Пристройки $c = 1,6$

q_j = Соответствующие значения скоростного напора в кН/кв.м (DIN 1055-4)

A_j = Соответствующая поверхность воздействия в кв.м

Напряжение от момента ветровой нагрузки M_w можно упрощенно рассчитывать следующим образом:

$$\sigma_w = \frac{4 \cdot M_w \cdot 10^3}{\pi \cdot d^2 \cdot s_z} \quad \text{Н/мм}^2 \quad (6)$$

M_w может быть рассчитан по закрепленному стержню, см. Рис. 2.

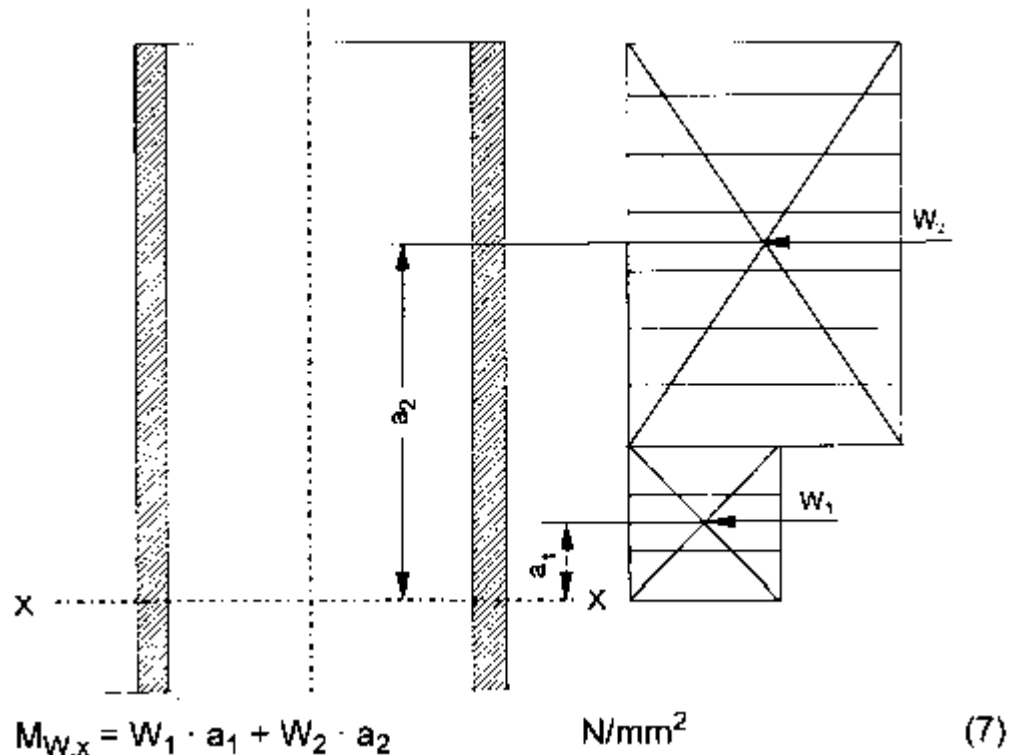


Рис. 2- изгибающий момент при ветровой нагрузке в поперечном сечении X.....X

3.2.2 Радиально-симметричная нагрузка под воздействием ветровой нагрузки

Сжимающая нагрузка, возникающая вследствие воздействия ветра на цилиндрический корпус ёмкости, рассчитывается при помощи аналога нагрузки p_{eu} .

$$p_{eu} = \delta \cdot q_{max} \cdot 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2 \quad (8)$$

Это означает, что:

$$\delta = 0,46 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C^* \cdot \frac{r}{h_z} \cdot \sqrt{\frac{r}{s_{zm}}}} \right) \leq 0,6 \quad (9)$$

$C^* = 0,6$ для открытой ёмкости

$$s_{zm} = \frac{\sum (h_{z,i} \cdot s_{z,i})}{h_z} \quad \text{mm} \quad (10)$$

3.3 Нагрузки во время проведения работ по монтажу

Ёмкость должна быть рассчитана с учетом нагрузок, оказываемых при транспортировке и монтаже. При этом закладывают 1.5-кратный динамический коэффициент по нагрузкам в процессе монтажа. В качестве коэффициента частичной надежности используется значение F1. В соответствии с требованиями DVS 2205-1 также следует учитывать краткосрочный коэффициент прочности сварного шва.

3.4 Температура

Температура стен является решающим фактором при замерах отдельных конструктивных элементов. Контактующие с влажной средой элементы всегда следует проектировать исходя из температуры среды T_m . При внешней установке для проведения доказательств стабильности необходимо установить эффективную температуру корпуса = 30 °С. Данная температура охватывает краткосрочный нагрев летом.

4 Подтверждение устойчивости

Подтверждение устойчивости осуществляется в соответствии с концепцией

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1$$

коэффициентов частичной надежности. В целом справедливо: , где S_d - величина воздействия, R_d - величина абсорбции воздействия. При этом характерные воздействия или значения нагрузки умножаются на коэффициенты частичной надежности γ_F , в соответствии с данными из следующей табл.

Воздействие	Коэффициент частичной надежности
Собственный вес, заполнение, монтаж	$\gamma_{F1} = 1.35$
Ветер	$\gamma_{F2} = 1.5$
Нагрузка сокращающегося собственного веса	$\gamma_{F3} = 0.9$

К примеру, величина присутствующего воздействия выводится из γ_F –кратного характерного значения имеющегося воздействия на деталь.

$$K_{K,d}^{vorh} = \gamma_F \cdot K_K^{vorh}$$

Значения присутствующего воздействия ещё должны быть умножены на понижающие коэффициенты A_1 и A_2 , а также коэффициент Y_1 , который учитывает вид нагрузки в соответствии с таблицей 2. При доказательстве для сварного шва показатель присутствующей нагрузки делится на коэффициент прочности сварного шва.

Таблица 2. Главный коэффициент.

Вид нагрузки	γ
Нагрузка I Статическая нагрузка при комнатной температуре и постоянных условиях. В случае нанесения ущерба опасность для людей, имущества и окружающей среды отсутствует.	1,0
Нагрузка II Нагрузки при меняющихся условиях (например, при меняющейся температуре, уровне заполнения). В случае нанесения ущерба возможна опасность для людей, имущества и окружающей среды, например, контрольное оборудование или оборудование или компоненты, подлежащие проверке в обязательном порядке	1,2

Значение характеристического сопротивления или прочности делится на коэффициент частичной надежности $\gamma_M = 1,1$.

К примеру, расчетное значение кратковременной прочности $K_{K,d}^*$ получают из значения кратковременной прочности K_K^* , поделенного на γ_M , в соответствии с диаграммами долговременной прочности, содержащимися в документе DVS 2205-1

$$K_{K,d}^* = \frac{K_K^*}{\gamma_M}$$

4.1 Доказательства прочности

4.1.1 Воздействия

По отношению к конструктивным элементам всегда следует вести поиск самых неблагоприятных сочетаний воздействий.

В соответствии с длительностью воздействий следует различать три категории нагрузок

- Краткосрочные нагрузки (K)
например, P_{uK} , $P_{\dot{u}K}$, P_{us} , P_{eu} . ветер
- Среднесрочные нагрузки (M)
например, снег p_s или летняя температура
- долгосрочные нагрузки (L), например, собственный вес, загруженный материал, p_u , $p_{\dot{u}}$

Краткосрочные нагрузки не нужно комбинировать друг с другом.

Длительность воздействия кратковременных нагрузок определяется 10^{-1} часами, а нагрузок средней продолжительности – 3мя месяцами.

4.1.2 Корпус

Высота самого нижнего пояса h_{ZF} должна как минимум равняться $1,4 \cdot \sqrt{d} \cdot s_{ZF}$.

В резервуарах со ступенчатыми стенами допустимое соотношение толщин стен у соседних поясов может достигать 3, в этом случае нет необходимости приводить доказательства. При разнице толщин, с соотношением толщин стен, превышающим 2, следует использовать шов в соответствии с требованиями DVS 2205-3, показанный на рис. 2.2 а), 2.2 с) или 2.2 с1,).

4.1.2.1 Доказательство для радиального направления

Для каждого пояса i следует предоставить доказательство того, что на его нижняя кромка может воспринять растягивающую кольцевую нагрузку под воздействием загруженного материала и повышенного давления:

$$\frac{K_{M,d}^{vorh}}{K_{M,d}^*} \leq 1 \quad (11)$$

$$K_{M,d}^{vorh} = \frac{\gamma_{F1} \cdot p_{stat,i} \cdot d}{2 \cdot s_{z,i}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_{2K} \cdot \gamma_I}{f_s} \quad \text{N/mm}^2 \quad (12)$$

При

$$\text{При } p_{stat,i} = \rho_F \cdot g \cdot h_{F,i} \cdot 10^{-6} \quad \text{N/mm}^2 \quad (13)$$

Где h_{Fi} – высота уровня жидкости над нижней кромкой пояса i .

Понижающий фактор для потока содержимого при 3-х месячном воздействии рассчитывается из:

$$A_{2K} = \max (\delta_A \cdot A_2, 1,0) \quad (14)$$

При δ_A в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3. Коэффициенты δ_A для получения A_{2k}

TM °C 3 мес	PE	P	P	PE	P	P	P	P
	-HD	E63	ESO	100	P-H	P-B	P-R	P
20	0,5	0,07	0,09	0,1	0	0	0	0
30	0,6	0,12	0,14	0,2	0	0	0	0
40	0,7	0,20	0,24	0,3	0	0	0	0
50	0,9	0,24	0,27	0,4	0	0	0	0
60	1,0	0,51	0,57	0,6	0	0	0	0
70	-	-	-	-	0	0	0	0
80	-	-	-	-	0	0	0	0

Примечание: для ПВХ и ПВДФ $\delta_A=1,0$

У цилиндров, изготавливаемых из листов, принимается во внимание коэффициент прочности сварного шва корпуса f_s или i_z . В соответствии с современным уровнем развития техники предпочтение следует отдавать стыковой сварке при помощи нагревательного элемента. Для емкостей, изготовленных методом намотки, значения f_s и f_z принимаются равными 1.

Остаточными напряжениями, возникающими при сгибании плит при комнатной температуре, можно пренебречь, если растяжение волокон на краях $e = s/d \cdot 100$ [%] не превышает значения, указанные в таблице 4.

Таблица 4. Допустимые значения растяжения крайних волокон.

Материал	Растяжение крайних волокон E
PE-HD	1,00
PP-H	0,50
PP-B	0,75
PP-R	1,00
PVDF	0,50
PVC-U	0,20
PVC-C	0,10

Примечание. Применительно к материалам PE 63, PE 80 и PE 100 можно использовать значение, указанное для PE-HD.

4.1.2.2 Доказательство продольного направления

Для доказательства требований, предъявляемых к продольному направлению

необходимо исследовать только самый нижний пояс, находящийся у дна емкости. Здесь нагрузки изгибающего и опрокидывающего момента сочетаются с нагрузками в продольном направлении, с собственным весом, давлением и ветровыми нагрузками.

Расчёт продольных напряжений собственного веса может быть опущен, так же как и расчёт краткосрочного растяжения от ветра.

Доказательство требуется вести в соответствии с уравнением 11

При

$$K_{M,d}^{vorh} = \left[C \cdot \gamma_{F1} \cdot p_{stat} \cdot \frac{d}{2} \right] \cdot \frac{A_1 \cdot A_{2K} \cdot \gamma_1}{s_{ZF}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (15)$$

И

$$p_{stat} = \rho_F \cdot g \cdot h_F \cdot 10^{-6} \quad \text{N/mm}^2 \quad (16)$$

Фактор С для сварного перехода дно- корпус является производным из фактора повышения напряжения $C_1=1,2$ и фактора C_2 , специфичного для материала, в соответствии с табл.5

Таблица 5. Фактор C_2 , специфичный для материала и фактор С для термопластичных пластмасс.

Материал	C_2	$C = C_1, C_2$
PE-HD	1,00	1,20
PP-H(тип 1)	1,17	1,40
PP-B (тип 2)	1,00	1,20
PP-R (тип 3)	1,00	1,20
PVC-NI (норм. Уд. вязкость)	1,25	1,50
PVC-RI (повыш. Уд .вязкость)	1,08	1,30
PVC-HI (высок. Уд .вязкость)	1,00	1,20
PVC-C	1,33	1,60
PVDF	1,17	1,40

Примечание: Для PE 63, PE 80 и PE 100 могут применяться значения PE-HD

От расчёта напряжений в сварном шве можно отказаться, если угловой шов выполнен с толщиной $a \geq 0,7 s_B$ и долговременным коэффициентом прочности сварного шва $f_s \geq 0,6$

Для однослойных ёмкостей до 1000 л. с толщиной стен до 10 мм., данное справедливо также и для коэффициентов прочности сварного шва $f_s \geq 0,4$

Фактор повышения напряжения $C_1=1,2$ предполагает, что дно не толще, чем толщина стен нижнего пояса ($S_B \leq S_{ZF}$)

4.1.3 Дно

При соединении дна с цилиндром угловыми швами (рис.7), необходимая толщина дна определяется следующим образом:

$$\delta_B \cdot s_{ZF} \leq s_B \leq s_{ZF} \quad (17)$$

При s_{ZF} – толщина стен
 δ_B – в соответствии с рис.3

$$s_{ZF}^* = \frac{C \cdot \gamma_{F1} \cdot p_{stat} \cdot d}{2 \cdot K_{M,d}} \cdot A_1 \cdot A_{2K} \cdot \gamma_1 \quad \text{mm} \quad (18)$$

При других формах конструкции требуется просчитать нагрузку на дно в зависимости от опорного момента цилиндра.

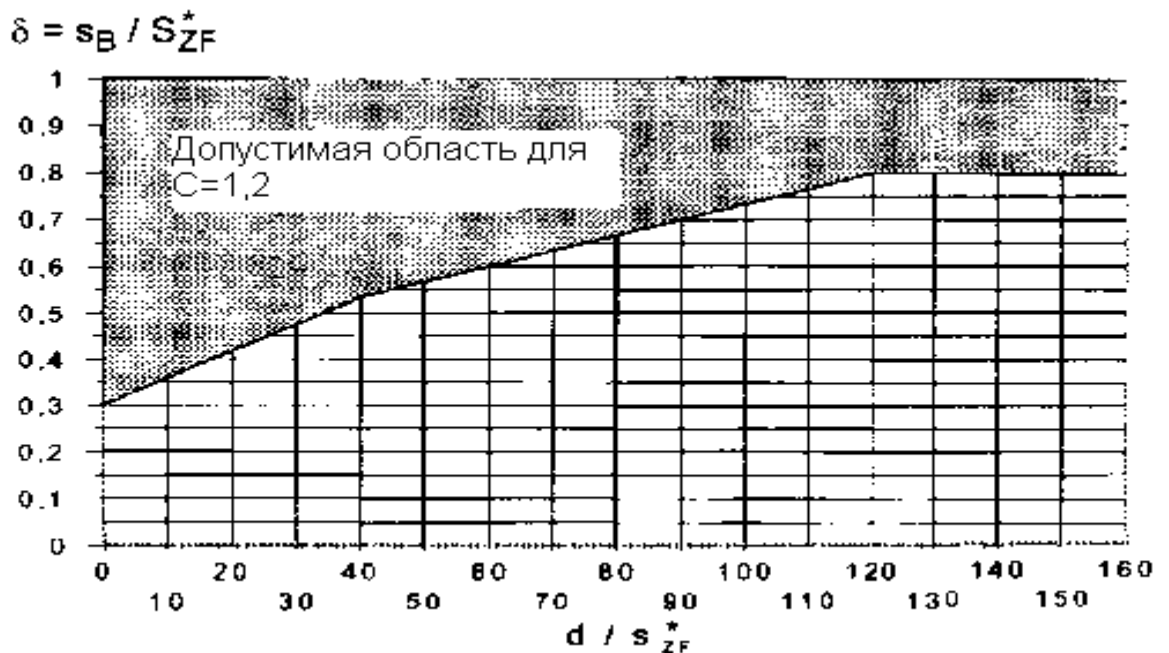


Рис.3 Диаграмма для определения толщины дна, выведенная для PE-HD (при $C > 1.2$ диаграмма будет находиться на стороне надёжности)

4.1.4 Сварное соединение дно\корпус

Доказательство прочности сварного шва можно также не приводить, если выполняются следующие условия:

- толщина сварного шва $a \geq 0,7 s_B$
- долговременный коэффициент прочности сварного шва $f_s \geq 0,6$ (по DVS 2203-4)

В случае невыполнения одного из этих условий необходимо привести подробный расчёт напряжений сварного шва (например, FE-расчёт).

Для ёмкостей до 1000 л. с однослойным корпусом толщиной до 10 мм. данное справедливо также для долговременных сварочных факторов $f_s \geq 0,4$.

4.1.5 Анкерное крепление

Если требуется анкеровка, необходимо предусмотреть как минимум 4 анкера. ($z \geq 4$)

Анкерные силы высчитываются из разрывных сил при учёте плечей. При расчёте анкеровки исследуется кратковременное повышенное давление

при температуре 20С

$$\frac{\left[4 \cdot 10^3 \cdot \frac{\gamma_{F2} \cdot M_w}{d} - \gamma_{F3} \cdot G_z \right] \cdot \frac{1}{z}}{(b_{Pr} + s_B) \cdot s_B \cdot \frac{K_{K,d}}{2 \cdot A_1 \cdot \gamma_I}} \leq 1 \quad (19)$$

В числителе стоит возникающая разрывная сила, а в знаменателе- разрывная сила, являющаяся следствием сдвигающего напряжения сварного шва, которая должна быть поглощена. В данном случае в качестве сдвигающего напряжения используется половина предела длительной прочности.

Рис.5 раздела 5.5 иллюстрирует анкеровку.

4.1.6 Подъёмные проушины

Одна из возможных форм проушин показана на рис.6 (раздел 5.5) . При этом необходимо использовать только 2 проушины на ёмкость + параллельный подвес.

Чтобы не производить доказательство распределения нагрузки по верхнему поясу, нужно обеспечить, чтобы проушина не была толще, чем тройная толщина стенки самого верхнего пояса. Диаметр отверстия (d_L) должен быть согласован с диаметром всей проушины (d_{Sch}).

Справедливо следующее: (20) (21)

$$s_{z,i} \leq s_0 \leq 3 \cdot s_{z,i}$$

$$d_{Sch} \leq d_L \leq 1,1 \cdot d_{Sch}$$

Требуется доказать, что 1.5-кратная нагрузка (динамический коэффициент) может быть кратковременно выдержана при 20 ° С.

Необходимая толщина стенки проушин (s_0) выводится из расчёта стенки отверстия

$$s_0 = \frac{1,5 \cdot \frac{\gamma_{F1} \cdot G_E}{2}}{d_{Sch} \cdot 2 \cdot K_{K,d}} \cdot A_1 \cdot \gamma_I \quad \text{mm} \quad (22)$$

Максимум обоих следующих доказательств является определяющим для ширины проушины

$$b_0 = \max (b_{01} \ b_{02})$$

Доказательство по сдвигающему напряжению поперечного шва при приподнимании лежащего накопителя

$$b_{O,1} = \frac{1,5 \cdot \frac{\gamma_{F1} \cdot G_E}{4}}{0,7 \cdot s_{Z,1} \cdot \frac{K_{K,d}}{2}} \cdot \frac{A_1 \cdot \gamma_1}{f_z} \quad \text{mm} \quad (23)$$

Стержень с проушиной

$$b_{O,2} = \frac{1,5 \cdot \frac{\gamma_{F1} \cdot G_E}{2}}{s_O \cdot K_{K,d}} \cdot A_1 \cdot \gamma_1 + \frac{7}{3} \cdot d_L \quad \text{mm} \quad (24)$$

4.2 Доказательства стабильности

Данные доказательства приводятся только при внешней установке. Для корпуса накопителя требуется доказать достаточную надёжность при осевых и корпусных нагрузках.

Важным условием является круговая деформация цилиндра не более

$$u = \frac{2 \cdot (d_{\max} - d_{\min})}{d_{\max} + d_{\min}} \cdot 100 \leq 0,5 \quad \% \quad (25)$$

4.2.1 Наложение воздействий

Для расчётов по стабильности решающее значение имеют Е-модули. Появление вздутий на корпусе -это внезапный процесс, который во многом зависит от дефектов, т.е. от величины пред-деформаций. Величина пред-деформаций возрастает вместе с увеличивающейся длительностью нагрузки исходя из ползучести материала. С другой стороны, эластичное сопротивление во время вздутия определяется преимущественно краткосрочным Е-модулем при моментальной температуре. Критическое напряжение вздутия O_k высчитывается с температурно-зависимым модулем E_k^{toc} .

В таблицах 6 и 7 (раздел 5.4) содержатся температурно- и временно-зависимые Е-модули для распространённых термопластов.

Требуется исследовать неблагоприятную комбинацию нагрузок при учёте температурно-обусловленного поведения термопластов.

4.2.2 Осевая стабильность

Для каждого пояса получаем напряжение давления по нижнему краю, которое складывается из собственного веса, снеговой и ветровой нагрузки в неблагоприятной комбинации, уравновешиваемое напряжением вздутия σ_{kid} . При внутренней установке данный анализ можно не проводить.

При внешней установке:

$$\sum \sigma_{i,d}^{vorh} = \gamma_{F1} \cdot \sigma_G + \gamma_{F2} \cdot \sigma_W \quad \text{N/mm}^2 \quad (26)$$

Упрощённо, напряжение вздутия может быть получено при помощи следующей формулы:

$$\sigma_{k,i,d} = \alpha_i \cdot 0,62 \cdot f_{\alpha,i} \cdot \frac{E_K^{30^\circ\text{C}}}{\gamma_M} \cdot \frac{s_{z,i}}{r} \leq K_{K,d}^* \quad \text{N/mm}^2 \quad (27)$$

При:

$$\alpha_i = \frac{0,7}{\sqrt{\frac{E_K^{20^\circ\text{C}}}{E_L^{20^\circ\text{C}}} \cdot \left(1 + \frac{r}{100 \cdot s_{z,i}}\right)}} \quad (28a)$$

И

$$f_{\alpha,i} = 1,5 - \frac{e_i}{s_{z,i}} \leq 1 \quad \text{aber} \geq 0,4 \quad (28b)$$

,где e_i - эксцентricность вздутия двух соседних поясов в разноуровневом цилиндре, если он сам шире, чем рассматриваемый пояс i .

Следующее условие должно быть выдержано для каждого пояса:

$$\eta_{A,i} = \frac{A_{2I} \cdot \gamma_I \cdot \sum \sigma_{i,d}^{\text{vorn}}}{\sigma_{k,i,d}} \leq 1 \quad (29)$$

Можно принять $A_{2I} = 1,0$, т.к. накопитель подвержен опасности вздутия только в пустом состоянии, т.е. без воздействия содержимого.

4.2.3 Стабильность давления на корпусе

Пониженное давление из P_{eu} компенсируется критическим давлением на корпусе P_{KM} .

Должно выполняться следующее условие:

$$\eta_M = \frac{A_{2I} \cdot \gamma_I \cdot \gamma_{F2} \cdot P_{eu}}{P_{KM,d}} \leq 1 \quad (30)$$

Можно принять $A_{2I} = 1,0$, т.к. накопитель подвержен опасности вздутия только в пустом состоянии, т.е. без воздействия содержимого.

Критическое давление на корпусе в одноуровневом по толщине цилиндре выводится из:

$$P_{KM,d} = 0,67 \cdot C^* \cdot \frac{E_K^{30^\circ\text{C}}}{\gamma_M} \cdot \frac{r}{h_z} \cdot \left(\frac{s_z}{r}\right)^{2,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (31)$$

$C^* = 0,6$ для открытых ёмкостей

Критическое давление разноуровневой емкости может быть просчитано на аналоге трёхпоясного цилиндра по DIN 18800-4:

$$p_{KM,d} = 0,67 \cdot \beta \cdot C^* \cdot \frac{E_K^{30^{\circ}C}}{\gamma_M} \cdot \frac{r}{r_0} \cdot \left(\frac{s_0}{r}\right)^{2,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (32)$$

В-величины можно найти на рис. 20а-с DIN 18800-4

От расчёта осевого и корпусного взаимодействия можно отказаться.

5 приложения

5.1 Пояснения

Данное приложение №2 к предписанию DVS 2205-2. было разработано DVS-AG W4.3b «Конструирование\строительство аппаратов) совместно с уполномоченным комитетом «Пластмассовые ёмкости и трубы» (проектная группа «расчёты»).

5.2 Нормы и директивы

См. DVS 2205-2., п. 5.2

5.3 Список литературы

[1] Timoshenko, S.: Theory of Plates and Shells. McGraw Hill Book Comp, New York/London 1959.

[2] Kempe, B.: Verformungsmessungen an einem Behälter aus Polyethylen hoher Dichte bei Temperaturwechsel, Schwei-fien & Schneiden, Heft 4/90.

[3] Tuercke, H: Vereinfachter Nachweis der Manteldruckstabilität bei Flachbodenbehältern aus Thermoplasten, DIBT-Mitteilungen Heft 6/1995.

[4] Tuercke, H.: Zur Stabilität von Behältern aus Thermoplasten, DIBT-Mitteilungen Heft 5/1995.

5.4 Температурно- и временнозависимые E-Модули для расчётов по стабильности и деформации.

Таблица 6. Температурно-зависимые кратковременные E-Модули E_k^{t0c} в N/mm^2 .

Материал	<10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
PE-HD	1100	800	550	390	270	190	-	-
PP-H	1400	1200	960	770	620	500	400	320
PP-B	1200	1000	790	630	500	400	320	250
PP-R	1000	800	620	490	380	300	230	180
PVC-NI	3200	3000	2710	2450	2210	2000	-	-
	<10°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	-	-
PVDF	1900	1700	1330	1050	820	650	-	-

Таблица 7. Временно-зависимые долговременные E-Модули E_L^{20c} в N/mm^2 .

Материал	1 год	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет
PE-HD	308	269	254	245	239	235
PP-H	464	393	365	350	340	330
PP-B	405	334	307	293	283	275
PP-R	322	298	288	283	279	276
PVC-NI	1800	1695	1652	1627	1609	1600
PVDF	810	763	744	733	725	720

Примечание: E-модули для PE-HD могут также применяться для PE-63, PE-80 и PE-100.

Долговременные E-Модули для PE действуют для напряжений $\sigma \leq 0,5 \text{ N/mm}^2$, в случае PP действуют для напряжений $\sigma \leq 1 \text{ N/mm}^2$

Для PVC-NI и PVDF зависимость E-модулей от напряжений может быть опущена.

5.5 Конструктивные детали

В данном разделе приводятся примеры конструкций для

- Зазора между накопителем и главной ёмкостью (рис.4)
- Анкеровки (рис.5)
- Подъёмных проушин (рис.6)
- Стыка корпус\дно, (рис.7)
- Кромки открытых ёмкостей, (рис.8)

Рис.4 Зазор между накопителем и главной ёмкостью

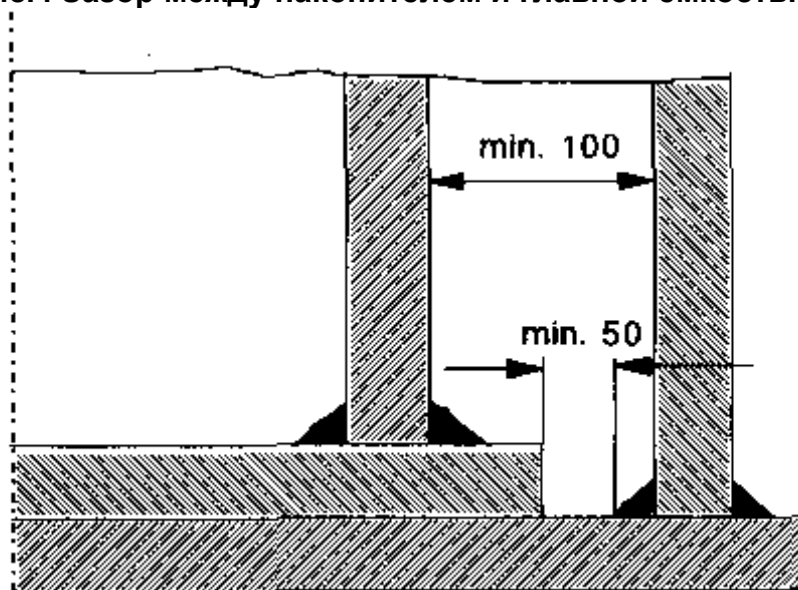


Рис.5 Анкерное закрепление

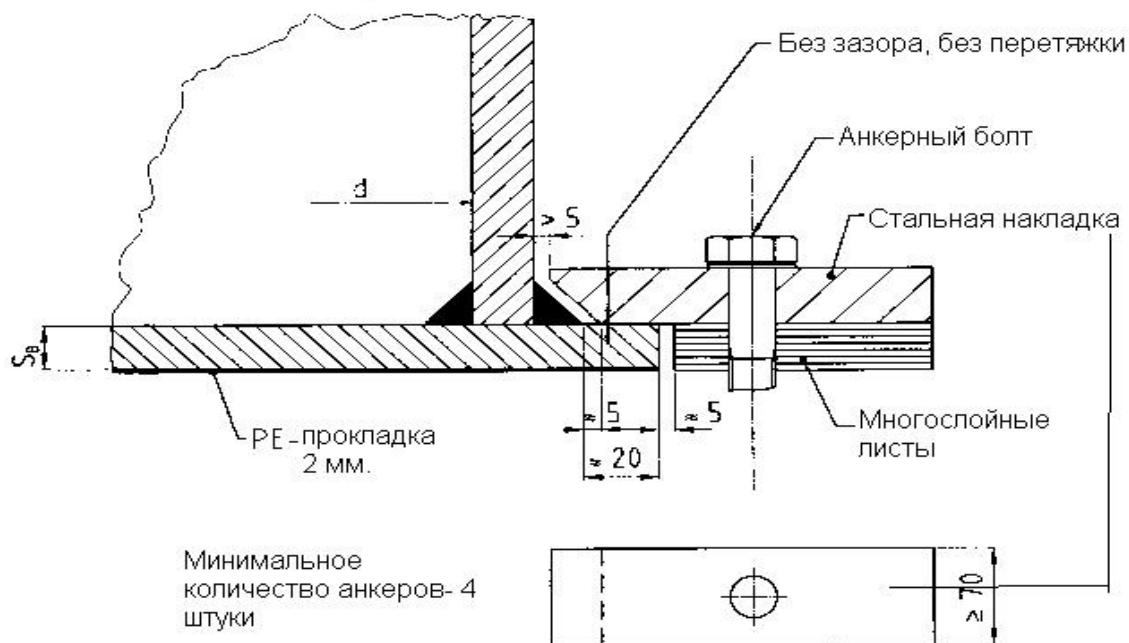
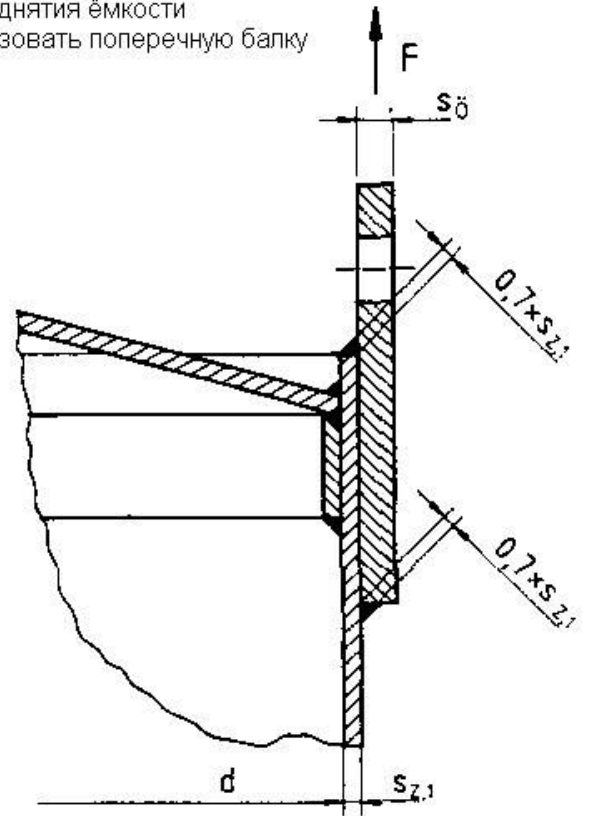
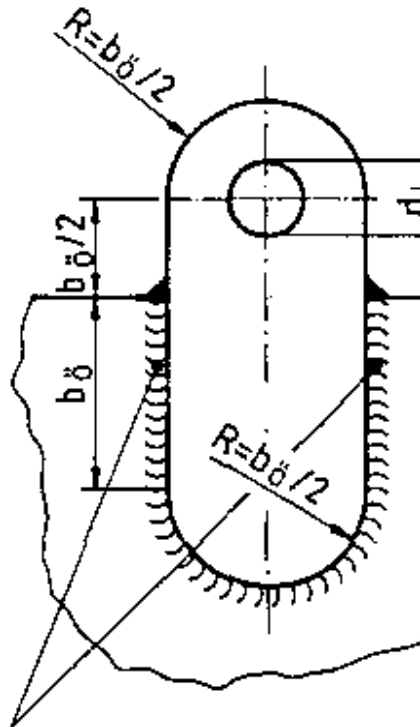


Рис.6 Подъёмные проушины

Для поднятия ёмкости
использовать поперечную балку



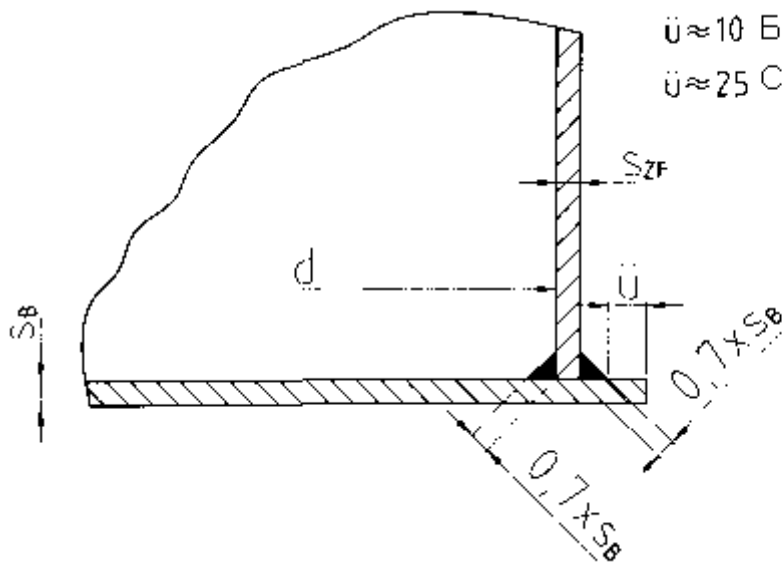
$$a = 0,7 \times s_{z,1}$$

При соблюдении b_0 также возможна угловая установка

Рис.7

стык

корпус/дно



$u \approx 10$ Без анкерной

$u \approx 25$ С анкерной

Рис.8 Кромки открытых ёмкостей

