Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 02.06.2026 20:03:50
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

М.Г. Лагуткин, Е.Ю. Баранова, А.С. Соколов

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ MATHCAD ПО ГОСТ Р52857.2-2007

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАМИ)

М.Г. Лагуткин, Е.Ю. Баранова, А.С. Соколов

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ MATHCAD ПО ГОСТ Р52857.2-2007

Методические указания

Москва 2013

УДК 62-21
ББК 30.1.
С17

Рецензенты: Кафедра «Процессы и аппараты химической технологии им. Н.И. Гельперина» Московского государственного университета тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова

Генеральный директор ООО «Гипрохим» Е.В. Муравьев

Допущено учебно-методическим советом Университета машиностроения

Лагуткин М.Г.

С17 Примеры расчета элементов оборудования в системе MathCadпо ГОСТ Р 52857.2 – 2007: Методические указания /М.Г. Лагуткин, Е.Ю. Баранова, А.С.Соколов. – М.: Университет машиностроения, 2012. -??с.

В методических указаниях изложено, какие исходные данные необходимы для расчета элементов оборудования и как их определить. Приведены примеры расчетов в системе MathCad по ГОСТ Р 52857.2 – 2007 цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

Методические указания предназначены для студентов различных специальностей дневных и вечернего факультета, изучающих дисциплину «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли», при проведении практических и семинарских занятий, а также выполнении курсовых и дипломного проектов.

УДК 62-21
ББК 30.1.

© М.Г. Лагуткин, Е.Ю.Баранова, А.С. Соколов
© Университет машиностроения, 2013

Учебное издание

ЛАГУТКИН Михаил Георгиевич
БАРАНОВА Елена Юрьевна
СОКОЛОВ Андрей Сергеевич

Примеры расчета элементов оборудования в системе MathCADпо ГОСТ Р52857.2-2007

Методические указания

Редактор В.И. Лузева
Компьютерная верстка Л.И. Иванова

Подписано в печать 28.02.2011. Формат бум. 60 x 84 $^{1}/_{16}$.
Объем 3 усл. п. л. Уч-изд. л. 3. Тираж 50 экз. Зак. 1/2013

Редакционно-издательский отдел
107023, Москва, ул. Бол. Семеновская, 38

Расчет на прочность сосуда или аппарата сводится к определению выполнения условий прочности, а в ряде случаев и устойчивости, его отдельных элементов: обечайки, крышки, днища и т.д. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек регламентирует ГОСТ Р 52857.2-2007 [1], общие технические требования ГОСТ Р 52630-2006 [2].

Для расчета любого элемента оборудования, кромеего геометрических размеров, необходимо задать следующие исходные данные: марку стали, расчетную температуру, расчетное внутреннее избыточное или наружное давление, коэффициент запаса прочности сварных швов, модуль продольной упругости (при расчете элементов оборудования на устойчивость).

Расчет проводят для рабочих условий и условий гидравлических испытаний (расчетная температура принимается в данном случае равной 20 ^{0}C).

Марка стали выбирается в зависимости от коррозионных свойств рабочей среды из условия, что скорость коррозии не должна превышать 0,1 мм/год.

Расчетную температуру используют для определения физико-механических характеристик материала и допускаемых напряжений, а также при расчете на прочность с учетом температурных воздействий.

Расчетную температуру определяют на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний, или опыта эксплуатации аналогичных сосудов.

За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшую температуру стенки. При температуре ниже 20 °С за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений принимают температуру 20 °С.

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете по предельным нагрузкам сосудов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам приведенным в ГОСТ Р 528577.1-2007[3], для рабочих условий допускаемые напряжения наиболее распространенных марок сталей приведены в приложении к стандарту. Для условий гидравлических испытаний

допускаемое напряжение определяется, как предел текучести (значения для ряда марок сталей так же приведены в приложении кГОСТ Р 52857.1-2007 [3]), деленный на коэффициент запаса прочности по текучести для условий испытаний - 1,1.

При расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных швов φ.

Числовые значения этих коэффициентов приведены в приложении ГОСТ Р 52857.1 – 2007 [3]. Для бесшовных элементов сосудов φ=1.

Если невозможно провести тепловые расчеты или измерения и если во время эксплуатации температура стенки повышается до температуры среды, соприкасающейся со стенкой, то за расчетную температуру следует принимать наибольшую температуру среды, но не ниже 20 °С.

Область рабочих температур, в которой может применяться та или иная марка стали, приведена в ГОСТ Р 52630-2006 [2].

Под рабочим давлением для сосуда и аппарата следует понимать максимальное внутреннее избыточное или наружное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или других предохранительных устройств.

Под расчетным давлением для элементов сосудов и аппаратов следует понимать давление, на которое проводят их расчет на прочность.

Расчетное давление должно учитывать:

- внутреннее или внешнее давление;
- гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде;
- нестабильность перерабатываемых сред и технологического процесса;
- инерционные нагрузки при движении или сейсмических воздействиях.

Если на сосуде или подводящем трубопроводе к сосуду установлено устройство, ограничивающее давление, чтобы рабочее давление не превышало максимально допустимого рабочего давления, то при определении расчетного давления не учитывают кратковременное превышение рабочего давления в пределах 10%.

Для элементов, разделяющих пространства с разными давлениями (например, в аппаратах с обогревающими рубашками), за расчетное давление следует принимать либо каждое давление в отдельности, либо давление, которое требует большей толщины стенки рассчитываемого элемента. Если обеспечивается одновременное действие давлений, то допускается проводить расчет на разность давлений. Разность давлений принимается в качестве расчетного давления также для таких элементов, которые отделяют пространства с внутренним избыточным давлением от пространства с абсолютным давлением, меньшим чем атмосферное. Если отсутствуют точные данные о разности между абсолютным давлением и атмосферным, то абсолютное давление принимают равным нулю.

Пробное давление $p_{пр}$ при гидравлическом испытании сосудов вычисляют в соответствии с ГОСТ Р 52630 -2006 [2] по формуле

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

где p–расчетное давление, МПа;$[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение при 20 ^{0}С,МПа;$[\sigma]_t$ – допускаемое напряжение при расчетной температуре стенки сосуда или аппарата, МПа.

Для сосудов, работающих под вакуумом, расчетное давление принимается равным 0,1 МПа.

Пробное давление следует принимать с учетом гидростатического давления, действующего на сосуд в процессе его эксплуатации.

Значения модуля продольной упругости в зависимости от марки стали и расчетной температуры приведены в приложении к ГОСТ Р 52857.1 – 2007 [3].

1.Расчет обечайки под действием внутреннего избыточного давления для рабочих условий [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности продольного сварного шва [3] $\phi p := 1.0$

Расчетная толщина стенки обечайки

$$Sp := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p - p} \quad Sp = 1.175 \quad мм$$

Исполнительная толщина стенки обечайки

$S := Sp + C \quad S = 2.175$ мм

Принимаем $S := 2.5$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 2.941 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$Pдоп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad Pдоп = 1.021 \quad МПа$$

больше расчетного избыточного давления $p = 0.8$ МПа

2.Расчет обечайки под действием внутреннего избыточного давления для условий гидравлических испытаний [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 20 ^{o}С [3] $\sigma_{t20} := 276.0$ МПа

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 100 ^{o}С [3] $\sigma_{t100} := 261.0$ МПа

Пробное давление при гидравлическом испытании [2] $P_{пр} := 1.25 \cdot p \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t100}}$

$P_{пр} = 1.057$ МПа

Принимаем $P_{пр} := 1.1$ МПа

Коэффициент запаса прочности [3] $n_т := 1.1$

Допускаемое напряжение [3] $\sigma доп := \frac{\sigma_{t20}}{n_т}$

$\sigma доп = 250.909$ МПа

Расчетная толщина стенки обечайки

$Sp := \frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot \sigma доп \cdot фр - P_{пр}}$ $Sp = 1.12$ мм

меньше расчетной толщины стенки обечайки для рабочих условий (смотри задачу 1), окончательно принимаем исполнительную толщину стенки обечайки $S := 2.5$ мм.

3.Расчет обечайки под действием наружного давления [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.08$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчетная длина гладкой обечайки $l := 10000$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^{5}$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

Расчетную толщину стенки приближенно определяют по нижеприведенной формуле с последующей проверкой допускаемого наружного давления

$$Sp = \max\left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D}\right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{доп} - p}\right]$$

где коэффициент B вычисляют по формуле:

$$B := \max\left[1, 0.47 \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E}\right)^{0.067} \cdot \left(\frac{1}{D}\right)^{0.4}\right] \qquad B = 1$$

тогда $$Sp := \max\left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D}\right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{доп} - p}\right]$$

$Sp = 8.197$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$

Исполнительная толщина стенки обечайки

$S := Sp + C$ $S = 9.197$ мм

Принимаем $S := 10.0$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое давление из условия прочности вычисляют по формуле

$$Pп := \frac{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \qquad Pп = 2.591 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$Pe = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny \cdot B_1 \cdot 1}$$

где $$B_1 := \min\left[1.0, 9.45 \cdot \left(\frac{D}{1}\right) \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}}\right] \qquad B_1 = 1$$

$$Pe := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny \cdot B_1 \cdot 1} \qquad Pe = 0.101 \quad МПа$$

тогда допускаемое наружное давление определится по формуле

$$Pдоп := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe}\right)^2}} \qquad Pдоп = 0.101 \quad МПа, \text{ больше } p = 0.08 \quad МПа$$

Условия прочности и устойчивости обечайки выполняются.

4.Расчет обечайки под действием осевого растягивающего усилия [1].

Расчетное растягивающее усилие $F := 1$ МН

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности кольцевого сварного шва [3] $\phi т := 1.0$

Расчетная толщина стенки обечайки

$$Sp := \frac{F \cdot 10^6}{\pi \cdot D \cdot \sigma доп \cdot \phi т} \qquad Sp = 1.524 \quad мм$$

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки

$S := Sp + C$ $S = 2.524$ мм

Принимаем $S := 3.0$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 1.667 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое осевое растягивающее усилие

$$Fдоп := \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп \cdot \phi т \qquad Fдоп = 1.314 \quad МН$$

Условие прочности обечайки выполняется.

5.Расчет обечайки под действием осевого сжимающего усилия [1].

Расчетное сжимающее усилие $F := 4.0$ МН

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчет по [1] является поверочным, то есть при определенной толщине стенки обечайки делается проверка по допускаемой осевой сжимающей силе

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 10$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности

$$Fп := \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{доп} \quad Fп = 5.948 \quad МН$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости

$$Fe1 := \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny} \quad Fe1 = 18.122 \quad МН$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости в пределах упругости

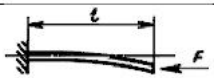
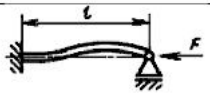
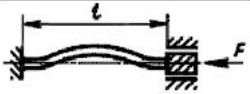
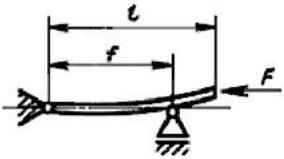
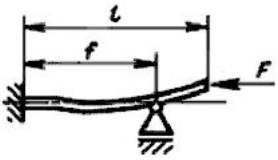
$$Fe2 = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{E}{ny}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$

где гибкость определяется по формуле $\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + S - C}$

Расчетная длина гладкой обечайки $l := 10000$ мм

Приведенную расчетную длину lпр принимают по таблице 1 [1]

Таблица 1 - Приведенная расчетная схема lпр

Расчетная схема	*f/l*	$l_{пр}$
	-	*l*
	-	2*l*
	-	0,7*l*
	-	0,5*l*
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	2,00*l* 1,73*l* 1,47*l* 1,23*l* 1,06*l* 1,00*l*
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	2,00*l* 1,70*l* 1,40*l* 1,11*l* 0,85*l* 0,70*l*

$l_{пр} := 2l$

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + S - C} \quad \lambda = 46.816$$

тогда $$Fe2 := \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{E}{ny}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$

$Fe2 = 12.828$ МН

а допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$Fe := \min(Fe1, Fe2)$ $Fe = 12.828$ МН

Допускаемое осевое сжимающее усилие рассчитывается по формуле

$$F_{доп} := \frac{F_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_п}{Fe}\right)^2}}$$ $F_{доп} = 5.396$ МН, что больше $F = 4$ МН

Условие прочности и устойчивости обечайки под действием осевой сжимающей силы выполняется.

Расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки от действия осевой сжимающей силы может быть получена из системы уравнений:

Given

$$F_п = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{доп}$$

$$Fe1 = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny}$$

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + S - C}$$

$$Fe2 = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{E}{ny}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$

$Fe = \min(Fe1, Fe2)$

$$F = \frac{Fп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Fп}{Fe}\right)^2}}$$

$$\text{Find}(Fп, Fe1, Fe2, Fe, \lambda, S - C) = \begin{pmatrix} 4.474 \\ 8.932 \\ 9.613 \\ 8.932 \\ 46.902 \\ 6.782 \end{pmatrix}$$

Таким образом расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки составляет 6.8 мм.

6.Расчет обечайки, нагруженной изгибающим моментом [1].

Расчетный изгибающий момент $M := 1$ МН · м

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчет по [1] является поверочным, то есть при определенной толщине стенки обечайки делается проверка по допускаемому изгибающему моменту

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 10$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности

$$Mп := \frac{\pi \cdot D \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-9} \cdot \sigma доп}{4} \qquad Mп = 1.784 \quad МН \cdot м$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в пределах упругости

$$Me := \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny} \qquad Me = 5.203 \quad МН \cdot м$$

тогда допускаемый изгибающий момент рассчитывается по формуле

$$Mдоп := \frac{Mп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Mп}{Me}\right)^2}}$$

$Mдоп = 1.688$ МН · м **больше** $M := 1$ МН · м

Условие прочности и устойчивости обечайки выполняется.

Расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки от действия изгибающего момента может быть получена из системы уравнений:

Given

$$Mп = \frac{\pi \cdot D \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-9} \cdot \sigma доп}{4}$$

$$Me = \frac{\left(8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6}\right) \cdot \left(100 \cdot \frac{S - C}{D}\right)^{2.5}}{ny}$$

$$M = \frac{Mп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Mп}{Me}\right)^2}}$$

$$\text{Find}(Mп, Me, S - C) = \begin{pmatrix} 1.183 \\ 1.873 \\ 5.98 \end{pmatrix}$$

Таким образом расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки составляет 6.0 мм.

7.Расчет обечайки, нагруженной поперечными усилиями [1].

Расчетное поперечное усилие $Q := 0.8$ МН

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчет по [1] является поверочным, то есть при определенной толщине стенки обечайки делается проверка по допускаемому поперечному усилию.

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 10$ мм

Прибавка к расчетнойтолщине $C := 1$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

$$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} \leq 0.1$ при $D \geq 200$, следовательно, условие применимости расчётных формул выполняется.

Расчетная длина гладкой обечайки $l := 10000$ мм

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности

$Qп := 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп$ $Qп = 1.476$ МН

а допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости

$$Qe := \frac{\left[2.4 \cdot E \cdot (S - C)^2 \cdot 10^{-6}\right]}{ny} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot D \cdot \frac{(S - C)}{l^2}\right]$$

$Qe = 2.922$ МН

тогда допускаемое поперечное усилие рассчитывается по формуле

$$Qдоп := \frac{Qп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Qп}{Qe}\right)^2}} \qquad Qдоп = 1.317 \text{ МПа, больше } Q = 0.8 \text{ МН}$$

Условие прочности и устойчивости обечайки выполняются.

Расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки от действия поперечного усилия может быть получена из системы уравнений:

Given

$$Qп = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп$$

$$Qe = \frac{\left[2.4 \cdot E \cdot (S - C)^2 \cdot 10^{-6}\right]}{ny} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot D \cdot \frac{(S - C)}{l^2}\right]$$

$$Q = \frac{Qп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Qп}{Qe}\right)^2}}$$

$$\text{Find}(Qп, Qe, S - C) = \begin{pmatrix} 0.999 \\ 1.337 \\ 6.089 \end{pmatrix}$$

Таким образом расчетная минимальная допустимая толщина стенки обечайки составляет 6.1 мм.

8. Расчет обечайки, работающей под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия [1].

Обечайки, работающие под совместным действием нагрузки, проверяют на устойчивость по формуле

$$\frac{p}{Pдоп} + \frac{F}{Fдоп} + \frac{M}{Mдоп} + \left(\frac{Q}{Qдоп}\right)^2 < 1$$

Нагрузки и их допускаемые значения приведены в задачах 3,5,6 и 7.

$$\frac{p}{Pдоп} + \frac{F}{Fдоп} + \frac{M}{Mдоп} + \left(\frac{Q}{Qдоп}\right)^2 = 2.493$$

Условие устойчивости под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия не выполняется, непобходимо увеличить толщину стенки обечайки.

Примем исполнительную толщину стенки обечайки $S := 18$ мм

Допускаемое давление из условия прочности вычисляют по формуле

$$Pп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \qquad Pп = 4.861 \quad МПа$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$Pe = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny \cdot B_1 \cdot l}$$

где $B_1 := \min\left[1.0, 9.45 \cdot \left(\frac{D}{l}\right) \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}}\right] \qquad B_1 = 0.953$

$$Pe := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny \cdot B_1 \cdot l} \qquad Pe = 0.521 \quad МПа$$

тогда допускаемое наружное давление определится по формуле

$$Pдоп := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe}\right)^2}} \qquad Pдоп = 0.519 \quad МПа$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности

$$Fп := \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп \qquad Fп = 11.309 \quad МН$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости

$$Fe1 := \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny} \qquad Fe1 = 88.861 \quad МН$$

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot lпр}{D + S - C} \qquad \lambda = 46.508$$

тогда $$Fe2 := \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{E}{ny}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$

$Fe2 = 24.715$ МН

а допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$Fe := \min(Fe1, Fe2)$ $\qquad Fe = 24.715$ МН

Допускаемое осевое сжимающее усилие рассчитывается по формуле

$$Fдоп := \frac{Fп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Fп}{Fe}\right)^2}} \qquad Fдоп = 10.284 \quad МН$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности

$$Mп := \frac{\pi \cdot D \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot 10^{-9} \cdot \sigma доп}{4} \qquad Mп = 3.393 \quad МН \cdot м$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в пределах упругости

$$Me := \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - C)}{D}\right]^{2.5}}{ny} \qquad Me = 25.512 \quad МН \cdot м$$

тогда допускаемый изгибающий момент рассчитывается по формуле

$$Mдоп := \frac{Mп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Mп}{Me}\right)^2}} \qquad Mдоп = 3.363 \quad МН \cdot м$$

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности

$Qп := 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп$ $\qquad Qп = 2.788$ МН

а допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости

$$Qe := \frac{\left[2.4 \cdot E \cdot (S - C)^2 \cdot 10^{-6}\right]}{ny} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot D \cdot \frac{(S - C)}{l^2}\right]$$

$Qe = 10.443$ МН

тогда допускаемое поперечное усилие рассчитывается по формуле

$$Qдоп := \frac{Qп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Qп}{Qe}\right)^2}} \qquad Qдоп = 2.694 \text{ МН}$$

$$\frac{p}{Pдоп} + \frac{F}{Fдоп} + \frac{M}{Mдоп} + \left(\frac{Q}{Qдоп}\right)^2 = 0.929$$

При толщине стенки обечайки 18 мм условие устойчивости под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия выполняется

9. Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные внутренним избыточным давлением [1].

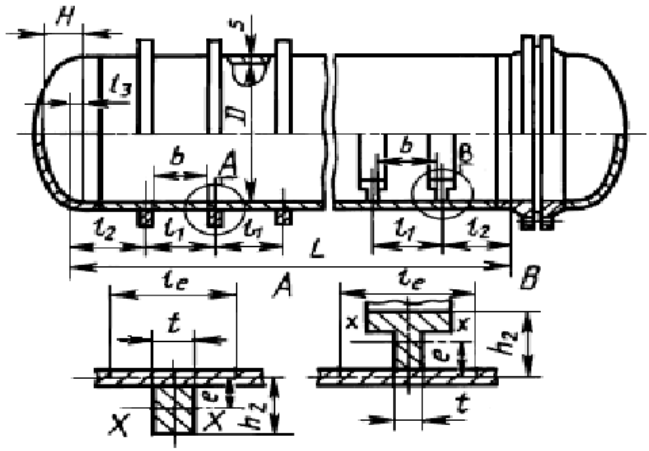


Рис. 1.9 Расчетная схема по [1] цилиндрической обечайки, подкрепленной кольцами жесткости

Первый случай

Расчетное избыточное давление $p := 0.6$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 10$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности продольного сварного шва $\phi p := 1.0$

Коэффициент прочности кольевого сварного шва $\phi т := 1.0$

Рассчитываем коэффициент

$$K4 := \frac{p \cdot (D + S - C)}{2 \cdot \phi p \cdot \sigma доп \cdot (S - C)} - 1 \qquad K4 = -0.768$$

Так как $K4 < 0$ укрепление кольцами жесткости не требуется

Второй случай

Расчетное избыточное давление $p := 1.0$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 3$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 1.667 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение материала обечайки (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Допускаемое напряжение материала кольца $\sigma_{допк} := 174.0$ МПа
жесткости (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3])

Коэффициент прочности продольного сварного шва [3] $\phi p := 1.0$

Коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости [3] $\phi т := 1.0$

$$\frac{S - C}{D} = 1.667 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} \le 0.1$ при $D \ge 200$, следовательно, условие применимости расчётных формул выполняется.

Рассчитываем коэффициент

$$K4 := \frac{p \cdot (D + S - C)}{2 \cdot \phi p \cdot \sigma доп \cdot (S - C)} - 1 \qquad K4 = 0.727$$

$$2 \cdot \frac{\phi т}{\phi p} - 1 = 1$$

Так как $0 < K4 < 2 \cdot \frac{\phi т}{\phi p} - 1$ расстояние между кольцами жесткости рассчитывается по формуле

$$b := \sqrt{D \cdot (S - C) \cdot \left[\frac{2}{K4} - \left(1 + \frac{1}{K4}\right) \cdot \frac{\phi p}{\phi т}\right]} \qquad b = 30.02 \quad мм$$

При прямоугольном профиле поперечного сечения кольца жесткости с шириной t и высотой h_2 измеряемой от срединной поверхности обечайки минимальная площадь поперечного сечения кольца жесткости определяется по уравнению:

$$Ак = l_1 \cdot (S_{min} - C) K4 \cdot \frac{\sigma доп \cdot \phi p}{\sigma_{допк} \cdot \phi т}$$

где l_1- расстояние между двумя кольцами жесткости по осям, проходящим через центр тяжести поперечного сечения колец жесткости, таким образом $l_1 = b + t$, а высота поперечного сечения кольца жесткости $h = h_2 - \frac{S_{пр}}{2}$

$h_2 := 10$ $t := 10$

Примем отношение $\frac{h}{t} = 2$, тогда размеры кольца жесткости определятся из системы уравнений:

Given

$$t \cdot \left(h_2 - \frac{S}{2}\right) = (b + t) \cdot (S - C)K4 \cdot \frac{\sigma_{доп} \cdot \phi_р}{\sigma_{допк} \cdot \phi_т}$$

$$\frac{h_2 - \frac{S}{2}}{t} = 2$$

$$\begin{pmatrix} h_2 \\ t \end{pmatrix} := \text{Find}(h_2, t)$$

$h_2 = 11.599$ мм

$t = 5.049$ мм

Соответственно $h := h_2 - \frac{S}{2}$

$h = 10.099$ мм

$l1 := b + t$

Минимальная площадь поперечного сечения кольца определяется по уравнению

$$Ак := l1 \cdot (S - C)K4 \cdot \frac{\sigma_{доп} \cdot \phi_р}{\sigma_{допк} \cdot \phi_т} \qquad Ак = 50.991 \text{ мм}^2$$

Примем $h := 11$ мм $t := 5.5$ мм

$h \cdot t = 60.5$ мм , что больше минимальной площади кольца жесткости

$Ак = 50.991$ мм^2

Следует отметить, что установка колец жесткости на обечайке, работающей под действием внутреннего избыточного давления, позволяет снизить толщину стенки обечайки, но не снижает металлоемкости.

Третий случай

Расчетное избыточное давление $p := 1.3$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 3$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

$$\frac{S - C}{D} = 1.667 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение материала обечайки (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Допускаемое напряжение материала кольца жесткости (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{допк} := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности продольного сварного шва [3] $\phi_p := 1.0$

Коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости [3] $\phi_т := 1.0$

$$\frac{S - C}{D} = 1.667 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} \leq 0.1$ при $D \geq 200$, следовательно, условие применимости расчётных формул выполняется.

Рассчитываем коэффициент

$$K4 := \frac{p \cdot (D + S - C)}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{доп} \cdot (S - C)} - \quad K4 = 1.245$$

$$2 \cdot \frac{\phi_т}{\phi_p} - 1 = 1$$

Так как $K4 > 2 \cdot \frac{\phi_т}{\phi_p} - 1$ толщину стенки обечайки необходимо увеличить.

10. Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные наружным давлением [1].

Рассмотрим обечайку нагруженную наружным давлением, например, это обечайка работающая под разрежением. Будем считать, что остаточное давление в обечайке составляет 0.04 МПа, то есть обечайка работает при наружном избыточном давлении $p := 0.06$ МПа. Расчет носит поверочный характер, то есть для конкретной обечайки с кольцами жесткости делается проверка условий прочности и устойчивости.

Внутренний диаметр обечайки $D := 1.200$ м

Исполнительная толщина стенки обечайки $S := 0.005$ м

Прибавка к расчетной толщине $C := 0.001$ м

$$\frac{S - C}{D} = 3.333 \times 10^{-3}$$

$\frac{S - C}{D} < 0.1$ при $D \geq 200$ условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое напряжение материала обечайки (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $n_y := 2.4$

Расчетная длина цилиндрической обечайки, укрепленной кольцами жесткости $L := 6.000$ м

Допускаемое напряжение материала кольца жесткости [3] $\sigma_{допк} := 154$ МПа

Коэффициент прочности кольцевого сварного шва [3] $\phi_т := 1$

Коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости [3] $\phi_к := 1$

Высота поперечного сечения прямоугольного кольца жесткости $h := 0.030$ м

Ширина поперечного сечения кольца жесткости $t := 0.006$ м

Момент инерции поперечного сечения кольца жесткости прямоугольной формы

$$I_к := \frac{t \cdot h^3}{12} \qquad I_к = 1.35 \times 10^{-8} \quad м^4$$

Расстояние между двумя смежными кольцами жесткости $b := 1.5$ м

Расстояние между двумя кольцами жесткости по осям. проходящим через центр тяжести поперечного сечения колец жесткости - l_1, м.

$$l_1 := b + t \qquad l_1 = 1.506 \quad м$$

Эффективную длину стенки обечайки, учитываемую при определении эффективного момента инерции, определяют по уравнению:

$$l_e := \min\left[l_1, t + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (S - C)}\right] \qquad l_e = 0.082 \quad м$$

Расстояние между центром тяжести поперечного сечения кольца жесткости и срединной поверхностью обечайки определяется как $e = \frac{h}{2} + \frac{S}{2}$ м.

$$e := \frac{h}{2} + \frac{S}{2} \qquad e = 0.018 \quad м$$

Эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости рассчитывают по уравнению:

$$I := I_к + e^2 \cdot \frac{Aк \cdot l_e \cdot (S - C)}{Aк + l_e \cdot (S - C)} \qquad I = 1.142 \times 10^{-7} \quad м^4$$

Коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости, вычисляют по формуле:

$$k := \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (S - C)^3}} \qquad k = 3.594$$

Далее определяется безразмерный коэффициент B_2 :

$$B_2 := \min\left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (S - C)}}\right] \qquad B_2 = 1$$

Расстояние между крайними кольцами жесткости и следующими эффективными элементами жесткости примем $l_2 := l_1$. Значение расчетной длины гладкой обечайки l определяется как

$$l := \max\left(b, l_2 - \frac{t}{2}\right) \quad l = 1.503 \quad м$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки (с кольцами
жесткости) в пределах упругости находится по уравнению:

$$P_{доп1E} := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{k \cdot B_2 \cdot ny} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (S - C)}{D}\right]^{2.5}$$

$P_{доп1E} = 0.152$ МПа

Площадь поперечного сечения прямоугольного кольца жесткости

$Ак := b \cdot t \quad Ак = 9 \times 10^{-3}$ $м^2$

Допускаемое наружное давление из условия прочности всей обечайки (с кольцами жесткости) при $\phi р := 1.0$ и $\phi к := 1.0$ рассчитывается по уравнению:

$$P_{доп1п} := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi т \cdot (S - C) + 2 \cdot \left(\frac{Ак}{l_1}\right) \cdot \sigma_{допк} \cdot \phi к}{D + (S - C)}$$

$P_{доп1п} = 2.685$ МПа

Тогда допускаемое наружное давление из условия устойчивости всей обечайки определится как:

$$P_{доп1} := \frac{P_{доп1п}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{доп1п}}{P_{доп1E}}\right)^2}} \qquad P_{доп1} = 0.151 \text{ МПа}$$

Значение безразмерного эффициент В1 берется минимальным из двух значений:

$$B1 := \min\left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{b} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}}\right] \qquad B1 = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости в пределах упругости следует рассчитывать по формуле :

$$Pe := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D \cdot \left(100 \cdot \frac{S - C}{D}\right)^{2.5}}{ny \cdot B1 \cdot b} \qquad Pe = 0.089 \text{ МПа}$$

А допускаемое наружное давление из условия прочности по уравнению:

$$Pп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \qquad Pп = 1.156 \quad МПа$$

Тогда допускаемое наружное давление из условий устойчивости обечайки между кольцами жесткости определится по формуле:

$$Pдоп2 := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe}\right)^2}} \qquad Pдоп2 = 0.089 \quad МПа$$

В итоге допускаемое наружное давление обечайки с кольцами жесткости определяют из условия:

$$P_{доп} := \min\left(P_{доп1}, Pдоп2\right)$$

$P_{доп} = 0.089$ МПа, что больше $p = 0.06$ МПа

Условия прочности и устойчивости обечайки с кольцами жесткости под действием наружного давления выполняются.

11. Расчет эллиптического днища под действием внутреннего избыточного давления для рабочих условий [1].

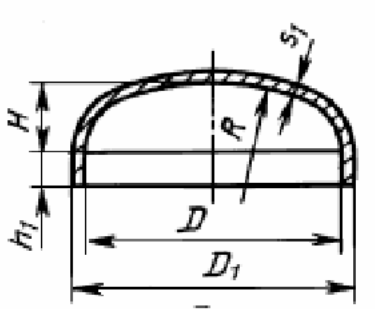


Рис. 1.11 Расчетная схема по [1] эллиптического днища

Расчетное избыточное давление	$p := 0.8$	МПа
Внутренний диаметр обечайки	$D := 510$	мм
Прибавка к расчетной толщине	$C := 1$	мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва [3] $\phi := 1.0$

Высота стандартного днища $H := 0.25 \cdot D$ $H = 127.5$ мм

Радиус кривизны в вершине днища равен $R := \frac{D^2}{4 \cdot H}$ $R = 510$ мм

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot \phi - 0.5p} \qquad S1p = 1.174 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C$ $S1 = 2.174$ мм

Принимаем $S1 := 2.5$ мм

$$\frac{S1 - C}{D} = 2.941 \times 10^{-3} \qquad 0.002 < \frac{S1 - C}{D} < 0.100$$

$$\frac{H}{D} = 0.25 \qquad 0.2 < \frac{H}{D} < 0.6$$

условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$Р_{доп} := \frac{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot \phi \cdot (S1 - C)}{R + 0.5(S1 - C)} \qquad Р_{доп} = 1.022 \text{ МПа}$$

больше расчетного избыточного давления $p = 0.8$ МПа

12. Расчет эллиптического днища под действием внутреннего избыточного давления для условий гидравлических испытаний [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 20 ^{0}С [3] $\sigma_{t20} := 276.0$ МПа

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 100 °С [3] $\sigma_{t100} := 261.0$ МПа

Пробное давление при гидравлическом испытании [2] $P_{пр} := 1.25 \cdot p \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t100}}$

$P_{пр} = 1.057$ МПа

Принимаем $P_{пр} := 1.1$ МПа

Коэффициент запаса прочности [3] $n_т := 1.1$

Допускаемое напряжение $\sigma_{доп} := \frac{\sigma_{t20}}{n_т}$

$\sigma_{доп} = 250.909$ МПа

Расчетная толщина стенки днища

$S1p := \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot \phi - 0.5p}$ $S1p = 0.814$ мм

меньше расчетной толщины стенки днища для рабочих условий (смотри задачу 11), окончательно принимаем исполнительную толщину стенки днища $S := 2.5$ мм.

13. Расчет полусферического днища под действием внутреннего избыточного давления для рабочих условий [1].

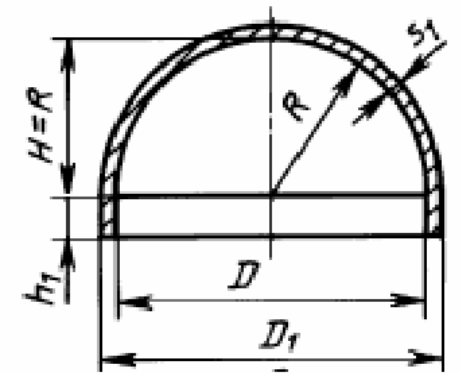


Рис. 1.13 Расчетная схема по [1] полусферического днища

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Радиус днища равен $R := \frac{D}{2}$ $R = 255$ мм

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi - 0.5p} \qquad S1p = 0.587 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C$ $S1 = 1.587$ мм

Принимаем $S1 := 2.5$ мм

$$\frac{S1 - C}{D} = 2.941 \times 10^{-3} \qquad 0.002 < \frac{S1 - C}{D} < 0.100$$

$$\frac{H}{D} = 0.25 \qquad 0.2 < \frac{H}{D} < 0.6$$

условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$Pдоп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p \cdot (S1 - C)}{R + 0.5(S1 - C)} \qquad Pдоп = 2.041 \text{ МПа}$$

больше расчетного избыточного давления $p = 0.8$ МПа

14. Расчет полусферического днища под действием внутреннего избыточного давления для условий гидравлических испытаний [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 20 °С [3] $\sigma_{t20} := 276.0$ МПа

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 100 °С [3] $\sigma_{t100} := 261.0$ МПа

Пробное давление при гидравлическом испытании [2]

$$P_{пр} := 1.25 \cdot p \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t100}} \qquad P_{пр} = 1.057 \quad МПа$$

Принимаем $P_{пр} := 1.1$ МПа

Коэффициент запаса прочности [3] $n_т := 1.1$

Допускаемое напряжение $\sigma доп := \frac{\sigma_{t20}}{n_т}$

$\sigma доп = 250.909$ МПа

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p - 0.5p} \qquad S1p = 0.407 \quad мм$$

меньше расчетной толщины стенки днища для рабочих условий (смотри задачу 13), окончательно принимаем исполнительную толщину стенки днища $S := 2.5$ мм.

15. Расчет торосферического днища под действием внутреннего избыточного давления для рабочих условий [1].

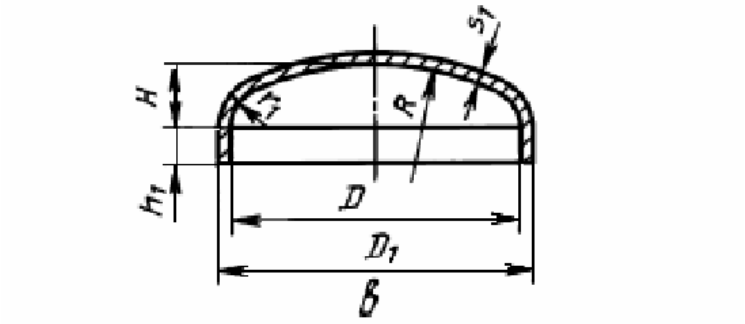


Рис.1.15 Расчетная схема по [1] торосферического днища

Для торосферических днищ в зависимости от соотношения параметров R, D_1, r_1 приняты следующие типы днищ:

- тип А: $R \approx D_1$, $r_1 \geq 0{,}095 D_1$;
- тип В: $R \approx 0{,}9 D_1$, $r_1 \geq 0{,}170 D_1$
- тип С: $R \approx 0{,}8 D_1$, $r_1 \geq 0{,}150 D_1$

Расчетную толщину стенки в краевой зоне вычисляют по формуле

$$S1p = \frac{p \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi}$$

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [2]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Коэффициент β_1 определяют по графику

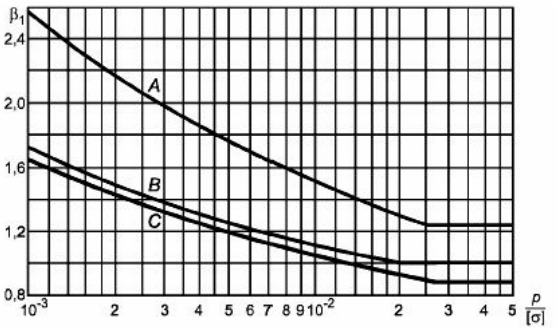


Рис. 2.15 График для определения коэффициента β_1

$$\frac{p}{\sigma доп} = 4.598 \times 10^{-3}$$

Для торосферического днища типа А из графика $\beta_1 := 1.8$

При толщине стенки обечайки $S := 4.0$ мм

$D_1 := D + 2 \cdot S$ $D_1 = 518$ мм

тогда $S1p := \frac{p \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi}$ $S1p = 2.143$ мм

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C$ $S1 = 3.143$ мм

Принимаем $S1 := 4.0$ мм (равной толщине стенки обечайки)

Для сварных днищ делается дополнительно проверка толщины стенки днища в центральной зоне по формуле

$$S1p = \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p - 0.5p}$$

где для днища типа А $R := D_1$ $R = 518$ мм

тогда $S1p := \frac{p \cdot R}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi p - 0.5p}$ $S1p = 1.192$ мм

что меньше расчетной толщины стенки в краевой зоне

$$\frac{S1 - C}{D} = 5.882 \times 10^{-3} \quad 0.002 < \frac{S1 - C}{D} < 0.100$$

условие применимости расчетных формул по [1] выполняется

Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляют по формуле

$$P_{доп} = \frac{2 \cdot (S1 - C) \cdot \phi \cdot \sigma доп}{D_1 \cdot \beta_2}$$

Коэффициент β_2 определяют по графику

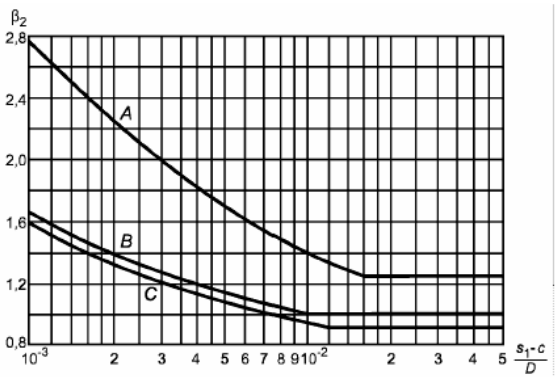


Рис. 3.15 График для определения коэффициента β_2

$$\frac{S1 - C}{D} = 5.882 \times 10^{-3}$$

Для тороспферического днища типа А из графика $\beta_2 := 1.7$

тогда $P_{доп} := \frac{2 \cdot (S1 - C) \cdot \phi \cdot \sigma доп}{D_1 \cdot \beta_2}$ $P_{доп} = 1.186$ МПа

больше $p = 0.8$ МПа

Для сварных днищ необходимо дополнительно проверить допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны по формуле

$$P_{доп} := \frac{2 \cdot (S1 - C) \cdot \phi \cdot \sigma доп}{R + 0.5 \cdot (S1 - C)} \quad P_{доп} = 2.01 \quad МПа$$

больше $p = 0.8$ МПа

16. Расчет тороспферического днища под действием внутреннего избыточного давления для условий гидравлических испытаний [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 20 °С $\sigma_{t20} := 276.0$ МПа

Предел текучести для стали марки 12Х18Н10Т при 100 °С [3] $\sigma_{t100} := 261.0$ МПа

Пробное давление при гидравлическом испытании [2]

$$P_{пр} := 1.25 \cdot p \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t100}} \quad P_{пр} = 1.057 \quad МПа$$

Принимаем $P_{пр} := 1.1$ МПа

Коэффициент запаса прочности $n_т := 1.1$

Допускаемое напряжение $\sigma доп := \frac{\sigma_{t20}}{n_т}$

$\sigma доп = 250.909$ МПа

тогда $S1p := \frac{p \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2 \cdot \sigma доп \cdot \phi}$ $S1p = 1.486$ мм

меньше расчетной толщины стенки днища для рабочих условий, окончательно принимаем исполнительную толщину стенки днища $S := 4.0$ мм.

17. Эллиптические днища, нагруженные наружным давлением.

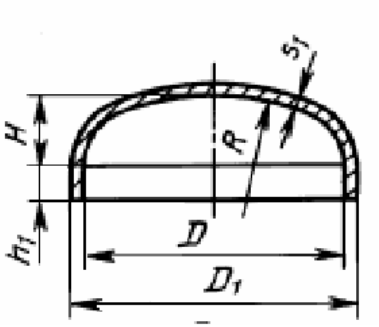


Рис. 1.17 Расчетная схема по [1] эллиптического днища

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости $n_y := 2.4$

Модуль продольной упругости $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Высота стандартного днища $H := 0.25 \cdot D$ $H = 127.5$ мм

Радиус кривизны в вершине днища равен $R := \frac{D^2}{4 \cdot H}$ $R = 510$ мм

Для предварительных расчетов принимают коэффициент приведения радиуса кривизны эллиптического днища $K_э := 0.9$

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := \max\left(\frac{K_э \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}, \frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot \sigma доп}\right) \qquad S1p = 2.793 \quad мм$$

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C \quad S1 = 3.793$ мм

Принимаем $S1 := 5.0$ мм

Уточняется значение коэффициента $K_э$

$$\chi := 10 \cdot \frac{S1 - C}{D} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D}\right) \qquad \chi = 0.118$$

$$K_э := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot \chi) \cdot \chi}{1 + (3.0 + 10 \cdot \chi) \cdot \chi} \qquad K_э = 0.934$$

Делается обязательная проверка по допускаемому наружному давлению

Допускаемое давление из условия прочности вычисляют по формуле

$$Pп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot (S1 - C)}{R + 0.5(S1 - C)} \qquad Pп = 2.719 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$Pe := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{ny} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S1 - C)}{K_э \cdot R}\right]^{2.5} \qquad Pe = 1.4 \quad МПа$$

тогда допускаемое наружное давление определится по формуле

$$Pдоп := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe}\right)^2}} \qquad Pдоп = 1.244 \text{ МПа, больше } p = 0.8 \text{ МПа}$$

18. Полусферические днища, нагруженные наружным давлением.

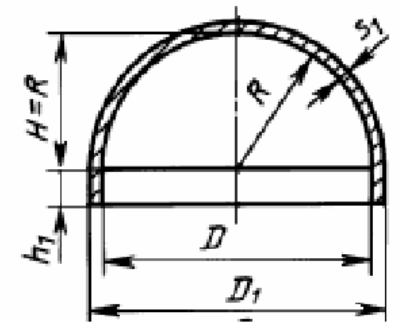


Рис. 1.18 Расчетная схема по [1] полусферического днища

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $n_y := 2.4$

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.00 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Радиус днища равен $R := \frac{D}{2}$ $R = 255$ мм

Для предварительных расчетов принимают коэффициент приведения радиуса кривизны полусферического днища $K_э := 1$

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := \max\left(\frac{K_э \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}, \frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot \sigma_{доп}}\right) \quad S1p = 1.552 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C$ $S1 = 2.552$ мм

Принимаем $S1 := 3.0$ мм

Уточняется значение коэффициента $K_э$

$$\chi := 10 \cdot \frac{S1 - C}{D} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right) \qquad \chi = 0.059$$

$$K_э := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot \chi) \cdot \chi}{1 + (3.0 + 10 \cdot \chi) \cdot \chi} \qquad K_э = 0.965$$

Делается обязательная проверка по допускаемому наружному давлению

Допускаемое давление из условия прочности вычисляют по формуле

$$Pп := \frac{2 \cdot \sigma доп \cdot (S1 - C)}{R + 0.5(S1 - C)} \qquad Pп = 2.719 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$Pe := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{ny} \cdot \left[100 \cdot \frac{(S1 - C)}{K_э \cdot R} \right]^{2.5} \qquad Pe = 1.29 \text{ МПа}$$

тогда допускаемое наружное давление определится по формуле

$$Pдоп := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe} \right)^2}} \qquad Pдоп = 1.165 \text{ МПа, больше } p = 0.8 \text{ МПа}$$

19. Расчет плоских днищ и крышек, работающих под внутренним избыточным или наружным давлением [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Расчетный диаметр днища выбираеся по табл.4 [1] $Dp := D$ мм

Коэффициент K_o определяют для наиболее ослабленного сечения. Максимальную сумму для длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища или крышки определяют согласно рисунку 19 по формуле $\sum d_i = \max\{(d_1 + d_3); (b_2 + b_3)\}$.

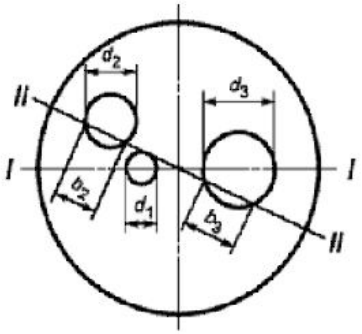


Рис. 1.19 Длины хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении

b1 := 50 мм

b2 := 0 мм

b3 := 0 мм

b4 := 0 мм

b5 := 0 мм

Значение коэффициента ослабления для плоских днищ (крышек) определяют по формуле

$$Ko := \sqrt{\frac{\left[1 - \left[\left(\frac{b1}{Dp}\right)^3 + \left(\frac{b2}{Dp}\right)^3 + \left(\frac{b3}{Dp}\right)^3 + \left(\frac{b4}{Dp}\right)^3 + \left(\frac{b5}{Dp}\right)^3\right]\right]}{\left[1 - \left(\frac{b1}{Dp} + \frac{b2}{Dp} + \frac{b3}{Dp} + \frac{b4}{Dp} + \frac{b5}{Dp}\right)\right]}}$$

Ko = 1.052

Коэффициент K так же определяется в зависимости от конструкции по табл. 4 [1]

K := 0.53

Расчетная толщина стенки днища

$$S1p := K \cdot Ko \cdot Dp \cdot \sqrt{\frac{p}{\phi p \cdot \sigma доп}}$$

$S1p = 19.289$ мм

Исполнительная толщина стенки днища

$S1 := S1p + C$ $S1 = 20.289$ мм

Принимаем $S1 := 21$ мм

Допускаемое давление на плоское днище (крышку) определяют по формуле

$$Pдоп := \left(\frac{S1 - C}{K \cdot Ko \cdot Dp}\right)^2 \cdot \sigma доп \cdot \phi$$

$Pдоп = 0.86$ МПа

20. Расчет днищ и крышек плоских круглых с радиальными ребрами жесткости [1].

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности сварного шва $\phi := 1.0$

Расчетные схемы днищ

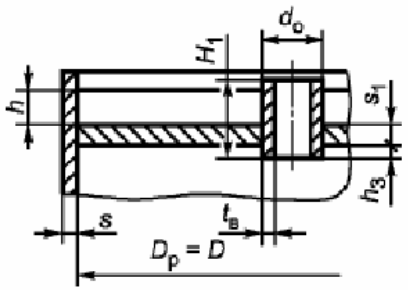


Рис.1.20

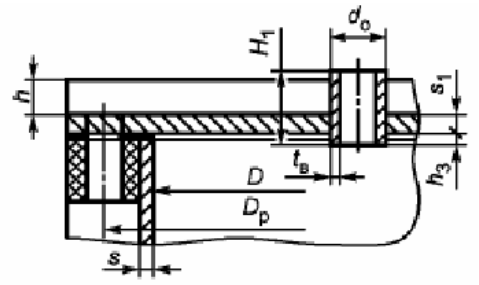


Рис.2.20

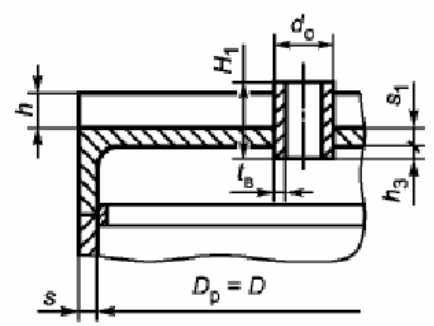


Рис.3.20

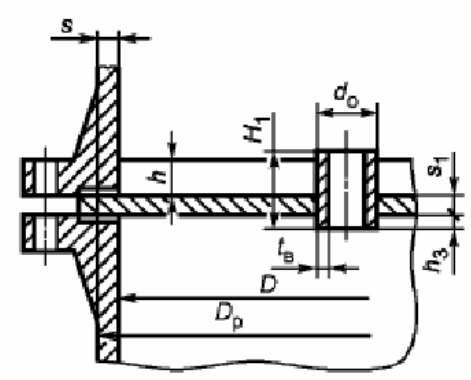


Рис. 4.20

Расстояние от нижней поверхности крышки (днища) до нижнего конца втулки $h_3 := 0$ мм

Наружный диаметр центральной втулки $d_o := 50$ мм

Толщина втулки $t_в := 5$ мм

Расчетное расстояние от поверхности пластинки до нижнего торца втулки

$$h_p := \min\left[h_3, 0.27 \cdot \sqrt{(d_o - t_в) \cdot t_в}\right]$$

$h_p = 0$ мм

Высота втулки $H_1 := 50$ мм

Высота ребра $h := 40$ мм

Толщина ребра $S_p := 10$ мм

Толщина стенки крышки (днища) $s_1 := 15$ мм

Расчетная высота втулки $H_p := \min(H_1, h + s_1 + h_p)$

$H_p = 50$ мм

Расчетный диаметр днища $D_p := D$ $D_p = 1.2 \times 10^3$ мм

Относительный радиус втулки $\rho_o := \frac{d_o}{D_p}$ $\rho_o = 0.042$

Число радиальных ребер $n := 6$

Площадь поперечного сечения ребра жесткости

$A_p := h \cdot S_p$ $A_p = 400$ $мм^2$

Допускаемое напряжение для ребра жесткости

$\sigma_{допр} := \sigma_{доп}$ $\sigma_{допр} = 174$ МПа

Расстояние от срединной поверхности пластины до нейтральной поверхности

$$e_4 := \frac{n \cdot A_p \cdot \sigma_{допр}}{2 \cdot \pi \cdot D_p \cdot \sigma_{доп}}$$ $e_4 = 0.318$ мм

Допускаемое напряжение для втулки

$\sigma_{допв} := \sigma_{доп}$ $\sigma_{допв} = 174$ МПа

Изгибающий момент для втулки

$$M_1 := \frac{\sigma_{допв} \cdot \phi p \cdot (t_в - C)}{d_o - t_в + C} \cdot \left[\left(H_p - e_4 - h_p - \frac{s_1}{2} \right)^2 + \left(e_4 + h_p + \frac{s_1}{2} \right)^2 \right] \cdot 10^{-6}$$

$M_1 = 0.028$ $МН \cdot \frac{м}{м}$

Изгибающий момент для пластины

$$M_т := \sigma_{доп} \cdot \left[e_4^{\,2} + \frac{(s_1 - C)^2}{4} \right] \cdot 10^{-6}$$

$M_т = 8.544 \times 10^{-3}$ $МН \cdot \frac{м}{м}$

Расстояние от центра тяжести поперечного сечения ребра жесткости до его основания

$e_0 := \frac{h}{2}$ $e_0 = 20$ мм

Изгибающий момент для оребренной пластины

$$M_2 := M_т + \frac{\sigma_{допр} \cdot \phi p \cdot n \cdot A_p \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot d_o \cdot 10^{-3}} \cdot \left(e_0 - e_4 + \frac{s_1 - C}{2} \right) \cdot 10^{-3}$$

$M_2 = 0.079$ $МН \cdot \frac{м}{м}$

Обобщенный допускаемый изгибающий момент следует выбирать наименьшим из моментов M_1 и M_2:

$M_0 := \min(M_1, M_2)$

$M_0 = 0.028$ $МН \cdot \frac{м}{м}$

Суммарный изгибающий момент вычисляют по формуле

$M_c := M_т \cdot (1 - \rho_o) + M_0 \cdot \rho_o$

$$M_c = 9.348 \times 10^{-3} \quad МН \cdot \frac{м}{м}$$

Дополнительное усилие, действующее на центральную часть днища (крышки)

$$Q_0 := 0 \quad МН$$

Допускаемое избыточное давление, действующее на днище (крышку), вычисляют по формуле

$$P_{доп} = \min\left(P_{доп1}, P_{доп2}\right)$$

где

$$P_{доп1} := \frac{12 \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot M_c + Q_0 \cdot \left(1 - \rho_o\right)\right]}{\pi \cdot {D_p}^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - {\rho_o}^3\right)}$$

$$P_{доп1} = 0.156 \quad МПа$$

$$P_{доп2} := \frac{12 \cdot \sigma_{доп} \cdot \left(s_1 - C\right)^2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)^2\right)}{\pi \cdot {D_p}^2 \cdot 10^{-6} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)^2}$$

$$P_{доп2} = 0.452 \ МПа$$

тогда $P_{доп} := \min\left(P_{доп1}, P_{доп2}\right)$

$$P_{доп} = 0.156 \quad МПа$$

Методом последовательного приближения по приведенной программе может быть определена расчетная толщина стенки S_{1p} для заданного расчетного давления, или остальные параметры днища (крышки).

Формулы для расчета плоских круглых днищ и крышек с радиальными ребрами жесткости применимы при следующих условиях:

$$\frac{D_p - d_o}{2 \cdot h} \geq 5.0 \qquad n \geq 6$$

$$\frac{n \cdot A_p \cdot \sigma_{допр}}{\pi \cdot D_p \cdot s_1 \cdot \sigma_{доп}} \le 1.0 \qquad \frac{4 \cdot e_0^{\,2}}{A_p} \le 1.0$$

$$\frac{D_p - d_o}{2 \cdot h} = 14.375$$

$$n = 6$$

$$\frac{n \cdot A_p \cdot \sigma_{допр}}{\pi \cdot D_p \cdot s_1 \cdot \sigma_{доп}} = 0.042$$

$\frac{4 \cdot e_0^{\,2}}{A_p} = 4$ то есть последнее условие применимости формул не выполняется.

Рассмотрим более подробно последнее условие.

$e_0 := \frac{h}{2}$ -расстояние от центра тяжести поперечного сечения ребра жесткости до его основания,

$A_p := h \cdot S_p$ - площадь поперечного сечения ребра жесткости,

тогда четвертое условие можно записать как

$$\frac{4 \cdot e_0^{\,2}}{A_p} = \frac{4 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}{h \cdot S_p} = \frac{h}{S_p} < 1.0$$

то есть высота ребра жесткости должна быть меньше толщины, очевидно в ГОСТе допущена опечатка

21. Расчет гладкой конической обечайки под действием внутреннего избыточного давления [1].

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $c := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности продольного сварного шва $\phi_р := 1.0$

Расчетный диаметр

$D_к := D \quad D_к = 510$ мм

Половина угла раствора при вершине конической обечайки

$\alpha 1 := 15$ град

$$\alpha 1 := \alpha 1 \cdot \frac{\pi}{180} \qquad \alpha 1 = 0.262 \quad \text{рад}$$

Расчетную толщину стенки гладкой конической обечайки, нагруженной внутренним давлением, определяют по формуле:

$$S_{кр} := \frac{p \cdot D_к}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп} - p} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha 1)} \qquad S_{кр} = 1.217 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки конической обечайки

$S_k := S_{кр} + c \quad S_k = 2.217$ мм

Принимаем $S_k := 2.5$ мм

$$P_{доп} := \frac{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot \phi_р \cdot (S_k - c)}{\frac{D}{\cos(\alpha 1)} + (S_k - c)}$$

$P_{доп} = 0.986$ МПа

больше расчетного избыточного давления $p = 0.8$ МПа

22 .Расчет конической обечайки под действием наружного давления [1].

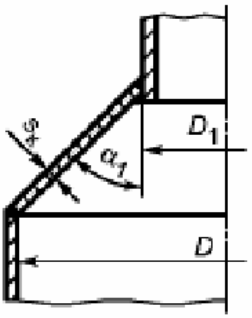


Рис. 1.22 Расчетная схема по [1]

Расчетное избыточное давление $p := 0.8$ МПа

Внутренний диаметр обечайки $D := 510$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma_{доп} := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности продольного сварного шва $\phi p := 1.0$

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.0 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

Половина угла раствора при вершине конической обечайки

$\alpha 1 := 15$ град

$\alpha 1 := \alpha 1 \cdot \frac{\pi}{180}$ $\alpha 1 = 0.262$ рад

Прибавка к расчетной толщине $c := 1$ мм

Диаметр меньшего основания конической обечайки

$D_1 := 100$ мм

Эффективная длина конической обечайки

$$l_E := \frac{D - D_1}{2 \cdot \sin(\alpha 1)} \qquad l_E = 792.059 \quad \text{мм}$$

Эффективный диаметр конической обечайки при внешнем давлении

$$D_E := \max\left[\frac{D + D_1}{2 \cdot \cos(\alpha 1)}, \frac{D}{\cos(\alpha 1)} - 031 \cdot (D - D_1) \cdot \sqrt{\frac{D + D_1}{S_k - c}} \cdot \tan(\alpha 1)\right]$$

$D_E = 315.759$ мм

Значение коэффициента B_1 вычисляют по формуле

$$B_1 := \min\left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \sqrt{\frac{D_E}{100 \cdot (S_k - c)}}\right]$$

$B_1 = 1$

Расчетную толщину стенки гладкой конической обечайки, нагруженной наружным давлением, определяют по формуле

$$S_{кр} := \max\left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_E}{B_1} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{l_E}{D_E}\right)^{0.4}, \frac{p \cdot D_к}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп} - p} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha 1)}\right]$$

$S_{кр} = 3.352$ мм

Исполнительная толщина стенки конической обечайки

$S_k := S_{кр} + c \qquad S_k = 4.352$ мм

Принимаем $S_k := 5.0$ мм

Допускаемое давление из условия прочности

$$P_{доп} := \frac{2 \cdot \sigma_{доп} \cdot \phi_p \cdot (S_k - c)}{\frac{D}{\cos(\alpha 1)} + (S_k - c)} \qquad P_{доп} = 2.617 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$P_e := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D_E \cdot \left[100 \cdot \frac{(S_k - c)}{D}\right]^{2.5}}{ny \cdot B_1 \cdot l_E}$$

$Pe = 0.376$ МПа

тогда допускаемое наружное давление определится по формуле

$$Pдоп := \frac{Pп}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pп}{Pe}\right)^2}}$$ $Pдоп = 0.373$ МПа, больше $p = 0.8$ МПа

Условия прочности и устойчивости конической обечайки выполняются.

23. Расчет гладкой конической обечайки, нагруженной осевой растягивающей силой [1].

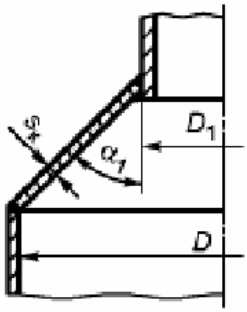


Рис. 1.23 Расчетная схема гладкой конической обечайки по [1]

Расчетное растягивающее усилие $F := 0.2$ МН

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчетный диаметр

$Dк := D$ $Dк = 1.2 \times 10^3$ мм

Диаметр меньшего основания конической обечайки

$D_1 := 100$ мм

Половина угла раствора при вершине конической обечайки

$\alpha 1 := 15$ град

$$\alpha 1 := \alpha 1 \cdot \frac{\pi}{180}$$ $\alpha 1 = 0.262$ рад

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Коэффициент прочности кольцевого сварного шва $\phi т := 1.0$

Расчетная толщина стенки обечайки

$$Sкр := \frac{F \cdot 10^6}{\pi \cdot D_1 \cdot \sigma доп \cdot \phi т} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha 1)}$$

$Sкр = 3.788$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки

$Sк := Sкр + C$ $Sк = 4.788$ мм

Принимаем $Sк := 5.0$ мм

Допускаемое осевое растягивающее усилие

$$Fдоп := \pi \cdot D_1 \cdot (Sк - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп \cdot \phi т \cdot \cos(\alpha 1)$$

$Fдоп = 0.211$ МН

Условие прочности гладкой конической обечайки под действием осевой растягиваюшей силы выполняется.

24. Расчет гладкой конической обечайки, нагруженной осевой сжимающей силой [1].

Расчетное сжимающее усилие $F := 0.2$ МН

Внутренний диаметр обечайки $D := 1200$ мм

Расчетный диаметр

$Dк := D$ $Dк = 1.2 \times 10^3$ мм

Диаметр меньшего основания конической обечайки

$D_1 := 100$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки

$Sк := 5.0$ мм

Прибавка к расчетной толщине $C := 1$ мм

Эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии

$$D_F := \frac{0.9D + 0.1D_1}{\cos(\alpha 1)} \qquad D_F = 1.128 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Допускаемое напряжение (сталь марки 12Х18Н10Т при 100 ^{0}С [3]) $\sigma доп := 174.0$ МПа

Модуль продольной упругости [3] $E := 2.0 \cdot 10^5$ МПа

Коэффициент запаса устойчивости [3] $ny := 2.4$

Допускаемую осевую сжимающую силу из условия прочности вычисляют по формуле:

$$F_п := \pi \cdot D_F \cdot (Sк - C) \cdot 10^{-6} \cdot \sigma доп \cdot \cos(\alpha 1)$$

$F_п = 2.383$ МН

Допускаемую осевую силу из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$F_E := \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot \left(D_F \cdot \cos(\alpha 1)\right)^2 \cdot 10^{-6}}{ny} \cdot \left[100 \cdot \frac{\left(S_k - c\right)}{D}\right]^{2.5}$$

$F_E = 1.969$ МН

Допускаемую осевую сжимающую силу вычисляют по формуле

$$F_{доп} := \min\left[\frac{F_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_п}{F_E}\right)^2}}, \frac{D_1}{D_F} \cdot F_п\right]$$

$F_{доп} = 0.211$ МПа

Условие прочности гладкой конической обечайки под действием осевой сжимающей силы выполняется.

Литература

1. ГОСТ Р 52857.2-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
2. ГОСТ Р 52630-2006 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.