

**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
«КОНТРОЛЬ»**

Аттестат аккредитации РОСС RU.32468.04ЛЕГО.ИЛ.009

105118, город Москва, Ул. Буракова 27 Б.

e-mail: il.oc.kontrol@inbox.ru, тел.: +7 (932) 236-44-69

**ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
№ КЛС-005-0359 от 23.05.2024 г**



Утвердил Руководитель ИЛ		БС Хлудок С. В.
Испытал		Хлудок С. К.
Количество страниц		118
Наименование образца продукции	<i>Программа «ПАССАТ» расчета на прочность сосудов и аппаратов.</i>	
Наименование и адрес заявителя	<i>Общество с ограниченной ответственностью «НТП Трубопровод». ИНН 7706076702, ОГРН 1027700208326. Юридический адрес: 111141 г. Москва, ул. Плеханова, д. 7, Антресоль пом.1, комн. 26.</i>	
Наименование и адрес изготовителя	<i>Общество с ограниченной ответственностью «НТП Трубопровод». ИНН 7706076702, ОГРН 1027700208326. Юридический адрес: 111141 г. Москва, ул. Плеханова, д. 7, Антресоль пом.1, комн. 26.</i>	
Испытания на соответствие	<i>ТР ТС 032/2013, ГОСТ 34233.1-2017, ГОСТ 34233.2-2017, ГОСТ 34233.3-2017, ГОСТ 34233.4-2017, ГОСТ 34233.5-2017, ГОСТ 34233.6-2017, ГОСТ 34233.7-2017, ГОСТ 34233.8-2017, ГОСТ 34233.9-2017, ГОСТ 34233.10-2017, ГОСТ 34233.11-2017, ГОСТ 34233.12-2017, ГОСТ 34283-2017, ГОСТ 55722-2013, ГОСТ Р 54522-2011, ГОСТ 31385-2023, ГОСТ 30780-2002, ПНАЭ Г-7-002-86, СП 14.13320.2018, СП 20.13330.2016, СТО-СА-03-002-2009, РД РТМ 26-01-44-78, АТК 24.201.10-90, РД 24.200.08-90 (в части расчета эллипсоидных переходов)</i>	
Дата получения образцов	<i>08.05.2024 г.</i>	
Количество пробы/образцов	<i>1 шт.</i>	

Условия проведения испытаний:

Температура окружающей среды 21- 23 °С
 Влажность 66 - 68 %
 Атмосферное давление 745 - 749 мм рт.ст.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Раздел	Требования / испытания	Заключение
ТР ТС 032/2013	О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением	
п.9	При разработке (проектировании) оборудования и его элементов должны быть идентифицированы и учтены опасные факторы. Обеспечение приемлемого уровня рисков при разработке (проектировании) осуществляется с помощью расчета на прочность и соблюдения комплекса технических требований экспериментальным, экспертным методами или по данным эксплуатации аналогичного оборудования.	С
п.10	Оборудование в зависимости от вместимости или номинального диаметра, а также максимально допустимого рабочего давления классифицируется по категориям (1-я, 2-я, 3-я и 4-я) в соответствии с приложением N 1 к настоящему техническому регламенту.	С
п.11	<p>Безопасность оборудования обеспечивается путем соблюдения при разработке (проектировании), изготовлении (производстве) требований безопасности, изложенных в настоящем разделе и приложении N 2 к настоящему техническому регламенту.</p> <p>В комплект документов, обосновывающих безопасность оборудования с учетом всех характерных для него факторов опасности и требований безопасности, входят:</p> <p>техническое задание, технические условия или иные документы, в которых устанавливаются требования к оборудованию на стадиях разработки (проектирования) и производства (изготовления);</p> <p>проектная (конструкторская) документация (чертежи, схемы, спецификации, расчеты);</p> <p>техническая документация, прилагаемая к оборудованию;</p> <p>отчетные документы по испытаниям (протоколы, заключения, акты, свидетельства);</p> <p>иные документы, содержащие оценку риска и эксплуатационной надежности (при наличии).</p> <p>Для котлов, сосудов и трубопроводов, при разработке (проектировании) которых применялись стандарты, устанавливающие конкретные требования безопасности к оборудованию, включенные в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований настоящего технического регламента, документами, обосновывающими безопасность, являются расчет на прочность и связанные с ним требования стандартов, включенных в указанный перечень.</p> <p>Для оборудования, при разработке (проектировании) которого не применялись стандарты, устанавливающие конкретные требования безопасности к оборудованию, включенные в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований настоящего технического регламента, комплект документов, обосновывающих безопасность, дополняется документом, подтверждающим, что принятые технические решения обеспечивают уровень безопасности оборудования не ниже уровня, установленного стандартами, включенными в указанный перечень.</p>	С
Приложение №1	Классификация оборудования по категориям опасности	

п.1	<p>Категории оборудования определяются в соответствии с таблицами 1 - 9 настоящего документа.</p> <p>Элементы оборудования (сборочные единицы) и комплектующие к нему, выдерживающие воздействие давления, показывающие и предохранительные устройства, устройства и приборы безопасности классифицируются по 4-й категории. В случае их изготовления (производства) для конкретного оборудования они могут классифицироваться по той же категории, что и оборудование, для которого они изготовлены (произведены).</p> <p>Если оборудование предназначено для различных рабочих сред одной группы или для рабочих сред разных групп, то оно классифицируется по категории наибольшей группы из определенных для каждой рабочей среды.</p>	С
п.2	<p>Категория оборудования увеличивается на 1 (кроме 4-й категории), если оно предназначено для эксплуатации с расчетной температурой стенки:</p> <p>380 °С и более - для углеродистых и низколегированных марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей;</p> <p>450 °С и более - для низколегированных хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей;</p> <p>525 °С и более - для легированных высокохромистых мартенситного класса и аустенитных сталей;</p> <p>575 °С и более - для сплавов на железоникелевой основе;</p> <p>600 °С и более - для сплавов на никелевой основе.</p>	С
Приложение №2	Требования к безопасности оборудования при разработке (проектировании), изготовлении (производстве)	
п.1	<p>При разработке (проектировании) оборудования рассчитывается его прочность с учетом прогнозируемых нагрузок, которые могут возникнуть в процессе его эксплуатации, транспортировки, перевозки, монтажа и прогнозируемых отклонений от таких нагрузок. При этом учитываются следующие факторы:</p> <p>а) нагрузки, действующие на внутреннюю и наружную поверхности оборудования;</p> <p>б) температура окружающей среды и температура рабочей среды;</p> <p>в) статическое давление в рабочих условиях и статическое давление в условиях испытания с учетом гидростатического давления жидкости в оборудовании и (или) давления сыпучего материала, а также кратковременное повышение давления во время действия предохранительных устройств;</p> <p>г) инерционные нагрузки при движении, ветровые и сейсмические воздействия;</p> <p>д) реактивные усилия (противодействия), которые передаются от опор, креплений, трубопроводов;</p> <p>е) усталость при переменных нагрузках;</p> <p>ж) эрозионные и коррозионные воздействия среды, в том числе эрозионно-коррозионный износ;</p> <p>з) химические реакции из-за нестабильности перерабатываемых сред и технологического процесса;</p> <p>и) изменения механических свойств материалов в процессе эксплуатации.</p>	С
п.13	<p>Оценка прочности оборудования основывается на методах расчета или на результатах экспериментальных испытаний без расчета, применяемых в случаях, если произведение значения максимально допустимого рабочего давления и значения вместимости оборудования составляет менее 0,6 МПа·м³ или если произведение значения максимально допустимого рабочего давления и значения номинального диаметра составляет менее 300 МПа·мм.</p>	С
п.14	<p>Для расчета на прочность оборудования применяются следующие методы расчета, которые могут дополнять друг друга:</p> <p>а) при помощи формул, приведенных в нормах расчета на прочность оборудования;</p> <p>б) на основании математического моделирования предельных состояний и прямого определения предельной нагрузки;</p> <p>в) на основании численного анализа напряженно-деформированного состояния;</p> <p>г) на основании механики разрушения.</p>	С
п.15	<p>При разработке (проектировании) учитываются все возможные нагрузки и факторы и вероятность их одновременного возникновения, все возможные механизмы разрушения (вязкое или хрупкое, ползучесть материалов, усталость материалов, коррозионное растрескивание) в соответствии с назначением</p>	С

	оборудования и процессами его эксплуатации.	
п.16	<p>Для обеспечения прочности оборудования необходимы следующие условия:</p> <p>а) величина расчетного давления должна быть не менее рабочего давления, для которого предназначено оборудование. Величина расчетного давления учитывает статический напор и динамические нагрузки рабочей среды, повышение давления из-за нестабильности рабочих сред и технологических процессов. Для оборудования, состоящего из нескольких камер, работающих с разными величинами давления, за расчетное давление принимается либо каждое давление в отдельности, либо давление, которое требует большей толщины стенки рассчитываемого элемента оборудования;</p> <p>б) расчетные температуры предусматривают безопасные пределы применения материалов и оборудования;</p> <p>в) материалы для изготовления оборудования выбираются с учетом диапазона расчетных температур;</p> <p>г) учитываются все возможные сочетания давления, температуры и других нагрузок, возникающие в процессе эксплуатации, транспортировки, перевозки и испытаний оборудования.</p>	С
п.17	<p>При расчете на прочность учитывают следующие характеристики материалов:</p> <p>а) предел текучести, условные пределы текучести при 0,2 процента и 1 проценте остаточной деформации при нормальной и расчетной температурах;</p> <p>б) временное сопротивление (предел прочности) на растяжение при нормальной и расчетной температурах;</p> <p>в) предел длительной прочности или предел ползучести при расчетной температуре и заданном количестве часов;</p> <p>г) характеристика малоциклового прочностии усталости при заданном числе циклов и уровне напряжений;</p> <p>д) модуль продольной упругости (модуль Юнга) при нормальной и расчетной температурах;</p> <p>е) относительное удлинение и относительное сужение поперечного сечения при разрыве стандартных образцов;</p> <p>ж) ударная вязкость;</p> <p>з) вязкость разрушения (коэффициент интенсивности напряжений).</p>	С
п.18	<p>Расчеты на прочность производятся с учетом коэффициентов прочности сварных соединений, значения которых зависят от свариваемых материалов, технологии сварки (пайки), формы соединения, метода и объема неразрушающего контроля и процессов эксплуатации оборудования. Элементы оборудования, работающие под внешним давлением или испытывающие сжимающие напряжения от других нагрузок, должны быть проверены на устойчивость формы.</p>	С
п.19	<p>При расчете оборудования на прочность учитываются прогнозируемые отклонения рабочих параметров в процессе его эксплуатации, допускаемые неточности изготовления (производства), возможные отклонения механических характеристик применяемых материалов.</p>	С
п.21	<p>Допускаемое напряжение при расчете на прочность по предельным нагрузкам оборудования, работающего под статическими нагрузками, определяется по следующим формулам:</p> <p>а) для углеродистых и низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе:</p> $[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_{e/t} \text{ или } R_{P0,2/t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}; \frac{R_{m/10^n}}{1,5}; \frac{R_{P1/10^n}}{1} \right\}$ <p>Где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение при расчете на прочность по предельным нагрузкам оборудования, работающего под статическими нагрузками;</p> <p>$R_{e/t}$ - минимальное значение предела текучести при расчетной температуре стенки;</p> <p>$R_{P0,2/t}$ - минимальное значение условного предела текучести при 0,2 процента остаточной деформации и расчетной температуре стенки;</p> <p>R_m - минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при температуре 20 °С;</p> <p>$R_{m/10^n}$ - среднее значение предела длительной прочности за 10^n часов при расчетной температуре стенки;</p>	С

	<p>$R_{P1/10^n}$ - среднее значение 1 процента предела ползучести за 10n часов при расчетной температуре стенки (предел ползучести используется для определения допускаемого напряжения в тех случаях, когда отсутствуют данные по пределу длительной прочности или когда по условиям эксплуатации необходимо ограничивать деформацию (перемещения));</p> <p>б) для аустенитной хромоникелевой стали, алюминия, меди и их сплавов:</p> $[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_{P1/t}}{1,5}; \frac{R_{m/t}}{3}; \frac{R_{m/10^n}}{1,5}; \frac{R_{P1/10^n}}{1} \right\}$ <p>Где</p> <p>$R_{P1/t}$ - минимальное значение условного предела текучести при 1 проценте остаточной деформации и максимально допустимой температуре;</p> <p>$R_{m/t}$ - минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при максимально допустимой температуре;</p> <p>в) для алюминиевых литейных сплавов:</p> $[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{7}$ <p>г) для титана и титановых сплавов:</p> $[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{3}$ <p>д) для листового проката и прокатных труб из титана и титановых сплавов:</p> $[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{2,6}$	
п.22	<p>При отсутствии данных по минимальному значению условного предела текучести при 1 проценте остаточной деформации допускается при определении допускаемых напряжений для аустенитной стали в соответствии с пунктом 21 настоящих Требований использовать минимальное значение условного предела текучести при 0,2 процента остаточной деформации и расчетной температуре стенки с коэффициентом запаса $n_T = 1,3$:</p> $[\sigma] = \frac{R_{P0,2/t}}{1,3}$ <p>Для обечаек, труб, днищ и других элементов из аустенитной стали (кроме фланцев), деформацию (перемещение) которых в рабочих условиях нет необходимости ограничивать, при определении допускаемых напряжений в соответствии с пунктом 21 настоящих Требований допускается в случае, если это предусмотрено стандартами, в соответствии с которыми ведутся расчет и проектирование, использовать минимальное значение условного предела текучести при 0,2 процента остаточной деформации и расчетной температуре стенки с коэффициентом запаса $n_T = 1,1$, но не более, чем минимальное значение условного предела текучести при 0,2 процента остаточной деформации и температуре 20 °С с коэффициентом запаса $n_T = 1,5$:</p> $[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_{P0,2/20}}{1,5}; \frac{R_{P0,2/t}}{1,1} \right\}$	С
п.23	<p>Для стальных отливок значение допускаемого напряжения, определенное по формулам, указанным в пунктах 21 и 22 настоящих Требований, умножается на 0,8, если отливки подвергались сплошному неразрушающему контролю, или на 0,7, если отливки не подвергались сплошному неразрушающему контролю.</p>	С
п.24	<p>В случае если для алюминия, меди и их сплавов отсутствуют данные по пределу текучести и длительной прочности, то допускаемое напряжение определяется по следующей формуле:</p> $[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{3,5}$	С
п.29	<p>При расчете на прочность сварных соединений элементов оборудования значение допускаемого напряжения умножается на коэффициент прочности сварных швов $\varphi \leq 1$. Значение коэффициента прочности сварных швов определяется при расчете на прочность оборудования в зависимости от материала, объема контроля, технологии сварки и конструкции сварного шва.</p>	С

ГОСТ 34233.1- 2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.	
п.4.1	<p>Расчет на прочность необходимо проводить для всех прогнозируемых состояний сосудов и аппаратов, работающих под давлением, возникающих во время их эксплуатации, испытания, транспортирования, монтажа. При этом следует учитывать все нагрузки и внешние факторы, которые могут оказать влияние на прочность и устойчивость конструкции, а также учитывать вероятность их одновременного воздействия.</p> <p>В частности, при определении расчетных параметров для каждого элемента сосуда или аппарата необходимо учитывать при условии их наличия следующие нагрузки и факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - внутреннее и/или наружное давление; - температуры окружающей среды и рабочие температуры; - разность температур в переходных состояниях или разность коэффициентов линейного расширения; - нагрузки от массы сосуда и его содержимого в рабочих условиях и условиях испытания; - нагрузки при транспортировании и монтаже сосуда; - инерционные нагрузки при движении, остановках и колебаниях элементов сосудов и аппаратов; - нагрузки от ветровых и сейсмических воздействий; - реактивные усилия (противодействия), которые передаются от опор, креплений, трубопроводов и т.д.; - ударные нагрузки от воздействия газожидкостной смеси или иных причин; - разность температур в переходных состояниях и/или разность коэффициентов линейного расширения; - нагрузки от стесненности температурных деформаций; - изменения давления и температуры как в процессе нормальной эксплуатации, так и при возможных нарушениях режима работы; - ползучесть металла; - усталость при переменных нагрузках; - вибрацию; - резонанс; - коррозию и эрозию; - старение металла, охрупчивание под действием среды и другие механизмы деградации материала. 	С
п.4.2	<p>При проектировании сосудов и аппаратов и выполнении расчетов на прочность необходимо учитывать все возможные предельные состояния, которые могут привести к выходу конструкции из строя и/или потере работоспособности.</p>	С
п.4.3	<p>В качестве критерия прочности, позволяющего использовать прочностные характеристики, полученные при одноосном растяжении, для анализа прочности элементов конструкции, находящихся в двух- или трехосном напряженно-деформированном состоянии, в ГОСТ 34233.1 - ГОСТ 34233.11 используется критерий прочности по теории максимальных касательных напряжений, за исключением сосудов из титана и титановых сплавов, для которых используется критерий прочности Мизеса - Хилла. В нас-тоящем стандарте учет этого критерия для трансверсально-изотропных материалов осуществляют корректировкой коэффициентов запаса прочности. Применение этих критериев обязательно в любых расчетах, использующих коэффициенты запаса и допускаемые напряжения по ГОСТ 34233.1.</p>	С
п.4.4	<p>Нормы и методы расчета на прочность, приведенные в ГОСТ 34233.1 - ГОСТ 34233.11, учитывают основные виды нагружения и основные, наиболее часто встречающиеся предельные состояния, которые могут привести к выходу конструкции из строя и/или потере работоспособности. При этом при соблюдении требований к материалам, конструкции, изготовлению и контролю, приведенных в ГОСТ 34347 и в соответствующих нормативных документах для сосудов и аппаратов из цветных металлов, исключается возможность хрупкого разрушения [см. перечисление г) 4.2.1].</p>	С

п.4.5	<p>Для подтверждения прочности, плотности, устойчивости и работоспособности конструкции могут быть использованы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - расчет по формулам, приведенным в ГОСТ 34233.1 - ГОСТ 34233.11; - численное моделирование напряженно-деформированного состояния и предельных состояний конструкции; - подтверждение прочности, плотности и работоспособности конструкции с помощью экспериментальных исследований и испытаний. 	С
п.4.5.1	<p>Расчеты на прочность элементов сосудов и аппаратов в ГОСТ 34233.2, элементов теплообменных аппаратов с плавающей головкой, U-образными трубами и камер секций аппаратов воздушного охлаждения в ГОСТ 34233.7 выполняются по методу предельных нагрузок.</p> <p>Условный упругий расчет напряжений используется также для расчета фланцевых соединений — по ГОСТ 34233.4, оценки малоциклового усталости — по ГОСТ 34233.6, расчета элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками и компенсатором на кожухе — по ГОСТ 34233.7, расчета элементов аппаратов с рубашками — по ГОСТ 34233.8.</p> <p>Для расчета элементов сосудов и аппаратов в узлах опирания в ГОСТ 34233.5 в основном используют смешанный метод, при котором напряженно-деформированное состояние рассматриваемых узлов определяют с помощью условного упругого расчета, а оценку проводят по предельному состоянию пластической балки-полоски.</p>	С
п.4.5.3	<p>Предельная нагрузка определяется на основе анализа, использующего теорему о нижней границе несущей способности и расчетную схему, предполагающую, что материал является жесткопластическим, зависимость деформация — перемещение относится к теории малых перемещений и при решении уравнений равновесия не учитываются перемещения элементов конструкции под нагрузкой.</p>	С
п.4.5.4	<p>Для обеспечения единого подхода и удобства расчета коэффициенты запаса прочности по отношению к предельным нагрузкам отнесены к прочностным характеристикам используемого материала и учитываются при назначении допускаемых напряжений.</p>	С
п.4.5.5	<p>При расчете на устойчивость допускаемые нагрузки определяют по нижним критическим напряжениям.</p>	С
п.4.5.6	<p>Численное моделирование конструкции проводят, когда конструктивные особенности или особенности нагружения не позволяют рассчитать ее с помощью расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11, когда те или иные параметры конструкции выходят за пределы применения расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 или в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 содержатся прямые указания на возможность выполнения альтернативного расчета численными методами, при этом следует руководствоваться дополнительными требованиями, содержащимися в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11.</p>	С
п.4.5.7	<p>Численное моделирование конструкции может осуществляться с использованием следующих моделей поведения материала: условно упругого и упругопластического.</p>	С
п.4.5.7.1	<p>Условный упругий расчет проводят с оценкой по категориям напряжений. Критерии оценки результатов условного упругого расчета приведены в 8.10.</p>	С
п.4.5.8	<p>Допускается также при анализе конструкций, отсутствующих в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 или выходящих за пределы применения расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11, использовать методы и подходы, аналогичные используемым в соответствующих стандартах и перечисленные в 4.5.1.</p>	С
п.5.1	<p>Расчетную температуру используют для определения прочностных характеристик материала и допускаемых напряжений, а также при расчете на прочность с учетом температурных воздействий.</p>	С
п.5.2	<p>Расчетную температуру стенки определяют на основе теплотехнических расчетов или результатов испытаний, а также на основании опыта эксплуатации аналогичных сосудов.</p>	С
	<p>За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшую температуру стенки элемента с учетом температурных условий,</p>	С

	ожидаемых в процессе эксплуатации. При рабочей температуре среды ниже 20°C за расчетную температуру при определении допустимых напряжений принимают температуру 20°C. Минимальные температуры стенки элементов сосудов и аппаратов, находящихся под давлением, используют при выборе материалов для того, чтобы избежать возникновения условий, при которых возможно хрупкое разрушение.	
п.5.3	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°C. При обогреве открытым пламенем, отработанными газами или электронагревателями расчетную температуру принимают равной температуре среды, увеличенной на 20°C при закрытом обогреве и на 50°C - при прямом обогреве, если нет более точных данных.	С
п.5.4	Если сосуд или аппарат эксплуатируется при нескольких различных режимах нагружения или разные элементы аппарата работают в разных условиях, для каждого режима допускается определять свою расчетную температуру.	С
п.6.1	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.	С
п.6.2	Под расчетным давлением в рабочих условиях следует понимать давление, на которое проводят расчет на прочность.	С
	Расчетное давление для сосуда или аппарата принимают (назначают), как правило, равным рабочему давлению или выше.	С
	Необходимость превышения расчетного давления над рабочим определяют с учетом назначения сосуда или аппарата, условий его эксплуатации и наличия предохранительных устройств.	С
	Если на сосуде или подводящем трубопроводе к сосуду установлено предохранительное устройство, ограничивающее давление в сосуде, то при определении расчетного давления не учитывают кратковременное превышение рабочего давления в пределах 10 %. Если в сосуде или аппарате имеются два герметично разделенных пространства или более, значения расчетного давления назначаются для каждого из пространств в отдельности. При проектировании сосуда или изменении параметров эксплуатации при реконструкции расчетное давление для сосуда или аппарата должно либо задаваться заказчиком, либо определяться организацией, выполняющей расчет сосуда. Если сосуд или аппарат работает в двух или более режимах, расчетное давление назначается для каждого режима в отдельности.	С
п.6.3	Для каждого элемента сосуда или аппарата при расчетах используют свое значение расчетного давления, которое должно учитывать:- внутреннее избыточное/наружное давление; - гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде; - инерционные нагрузки при движении или сейсмических воздействиях. Гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде, учитывают при назначении расчетного давления для элемента сосуда в случае, если оно равно или более 5% расчетного давления для сосуда.	С
	Для элементов сосуда или аппарата, разделяющих пространства с разными давлениями (на пример, 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.	С

п.6.4	Под пробным давлением в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором проводят испытание сосуда или аппарата. Для сосуда или аппарата, работающего в двух или более режимах, значение пробного давления принимается наибольшим из определенных для каждого режима.	С
п.6.5	Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление. Гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде, учитывают при назначении расчетного давления для элемента сосуда в случае, если оно равно или более 5% пробного давления.	С
п.7	За расчетные усилия и моменты принимают действующие для соответствующего состояния нагружения (например, при эксплуатации, испытании или монтаже) внутренние усилия и моменты, возникающие в результате действия собственной массы сосуда и аппарата, массы рабочей среды, инерционных нагрузок, нагрузок от реакции опор и присоединенных трубопроводов, сейсмических, ветровых и других внешних нагрузок. Расчетные усилия и моменты от ветровых, сейсмических и других внешних нагрузок определяют по ГОСТ 34283.	С
п.8.1	Допускаемое напряжение при расчете по предельным нагрузкам сосудов и аппаратов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам (1)-(9)	С
п.8.2	Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.	С
п.8.3	Поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям должен быть равен единице, за исключением стальных отливок, для которых коэффициент имеет следующие значения: 0,8 - для отливок, подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами и 0,7 - для остальных отливок.	С
п.8.4	Расчет на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ и крышек, фланцев для условий испытания проводить не требуется, если расчетное давление в условиях испытания будет меньше, чем расчетное давление в рабочих условиях, умноженное на $1,35([\sigma]_{20}/[\sigma])$.	С
п.8.5	Для материалов, широко используемых в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, допускаемые напряжения для рабочих условий, приведены в приложении А.	С
п.8.6	Допускаемые напряжения для материалов, не приведенных в приложении А, определяют по 8.1. Расчетные механические характеристики, необходимые для определения допускаемых напряжений, определяют при нормальной температуре по соответствующим стандартам или техническим условиям, а при повышенных температурах - после проведения испытаний представительного числа образцов, обеспечивающих гарантированные значения прочностных характеристик материала. Для импортных материалов, применяемых для изготовления сосудов, работающих под давлением, коэффициенты запаса при выборе допускаемых напряжений должны быть не ниже значений, указанных в таблице 1.	С
п.8.7	Для стальных элементов сосудов и аппаратов, работающих в условиях ползучести при разных за весь период эксплуатации расчетных температурах, давлениях и других нагрузках, следует выполнять расчет на каждое из возможных в течение эксплуатации в условиях ползучести сочетание нагрузок и определять для этого сочетания нагрузок расчетное допускаемое время эксплуатации (T) _i . При этом должно соблюдаться условие (10). При определении величины (T) _i следует использовать допускаемые напряжения, определенные в соответствии с 8.1—8.3 на базе длительных характеристик материала: предела длительной прочности и/или предела ползучести. Величины предела длительной прочности и/или предела ползучести для расчетного ресурса менее 10^5 ч и более $2 \cdot 10^5$ ч, а также при температурах, для которых в приложении А отсутствуют значения допускаемых напряжений, зависящих от расчетного ресурса, определяют на основе справочных данных или результатов испытаний, выполненных в соответствии с требованиями 8.6. В случае непрерывного изменения	С

	температур в процессе эксплуатации этапы эксплуатации при разной температуре стенки рекомендуется принимать по интервалам температуры, не превышающим 10 °С.	
п.8.8	Допускаемое напряжение для сосудов из двухслойных сталей вычисляют по формуле (11).	С
п.8.9	Сосуды и аппараты, работающие при малоцикловых нагрузках, дополнительно рассчитываются по ГОСТ 34233.6.	С
п.8.11	Расчетные механические характеристики материалов приведены в приложении Б.	С
п.9	Коэффициент запаса устойчивости n_u при расчете сосудов и аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости следует принимать: - $n_u=2,4$ - для рабочих условий; - $n_u=1,8$ - для условий испытания и монтажа.	С
п.10.1	Расчетные значения модулей продольной упругости материалов приведены в приложении В.	С
п.10.2	Расчетные значения коэффициентов линейного расширения приведены в приложении Г.	С
п.11	При расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных (паяных) швов ϕ , зависящий от типа шва и от объема неразрушающего контроля соединения сварного (паяного) соединения. Числовые значения этих коэффициентов приведены в приложении Д. Для бесшовных элементов сосудов коэффициент ϕ равен 1.	С
п.12.1	При расчете сосудов и аппаратов необходимо учитывать прибавки s_k к расчетным толщинам элементов сосудов и аппаратов. Исполнительную толщину стенки элемента сосуда вычисляют по формуле (16). Сумму прибавок к расчетным толщинам вычисляют по формуле (17). Если в расчете рассматривается несколько элементов, отличающихся материалами, способом изготовления или толщинами, то сумма прибавок к расчетным толщинам стенок определяется для каждого элемента в отдельности. При поверочном расчете прибавку вычитают из значений исполнительной толщины стенки.	С
п.12.2	Обоснование всех прибавок к расчетным толщинам должно быть приведено в технической документации.	С
п.12.3	Прибавка к расчетной толщине для компенсации коррозии (эрозии) назначается с учетом условий эксплуатации, расчетного срока службы, скорости коррозии (эрозии). При двухстороннем контакте с коррозионной и/или эрозионной средой прибавка должна быть соответственно увеличена.	С
п.12.4	Технологическая прибавка s_3 предусматривает компенсацию утонения стенки элемента сосуда при технологических операциях: вытяжке, штамповке, термической обработке, гибке труб и т.д. В зависимости от принятой технологии эту прибавку следует учитывать при разработке рабочих чертежей.	С
Приложение А	Допускаемые напряжения для рабочих условий	С
Приложение Б	Расчетные механические характеристики материалов	С
Приложение В	Расчетные значения модуля продольной упругости	С
Приложение Г	Коэффициенты линейного расширения	С
Приложение Д	Коэффициенты прочности сварных и паяных швов	С

ГОСТ 34233.2-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.	
п.4.1	Приведенный в настоящем стандарте расчет применим при выполнении требований ГОСТ 34233.1.	С
п.4.2	В основу расчетных формул, приведенных в настоящем стандарте, при оценке прочности по ложен метод предельных нагрузок. При расчете на устойчивость от внешнего давления, при вакууме, а также от других нагрузок, вызывающих сжимающее напряжение, в качестве предельного состояния принято достижение нижних критических напряжений.	С
п.4.3	При одновременном действии нескольких нагрузок (давления, осевого сжатия и т. д.) условие прочности (устойчивости) проверяют на основе их линейного взаимодействия, за исключением случаев, когда имеются более точные решения.	С
п.4.4	В настоящем стандарте приведены формулы для определения исполнительных размеров элементов сосудов и аппаратов при проектировочном расчете и определении допускаемых нагрузок при поверочном расчете.	С
п.5	Расчет цилиндрических обечаек.	
п.5.1	Расчетные схемы цилиндрических обечаек приведены на рисунках 1—4.	С
п.5.2.1	Условия применения расчетных формул Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру: $(s-c)/D < 0,1$ для обечаек и труб при $D > 200$ мм; $(s-c)/D < 0,3$ для труб при $D < 200$ мм.	С
п.5.2.2	Формулы, приведенные в 5.3.2, 5.3.4— 5.3.7 и 5.4.2, следует применять при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых учитывается ползучесть материалов, т. е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяют только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных по этим температурам, то формулы применимы при расчетных температурах, которые не превышают 380 °С для углеродистых сталей, 420 °С— для низколегированных и легированных сталей, 525 °С— для аустенитных сталей, 150 °С — для алюминия и его сплавов, 250 °С — для меди и ее сплавов, 300 °С — для титана и его сплавов.	С
п.5.2.3	Для обечаек, подкрепленных кольцами жесткости, дополнительно к требованиям 5.2.1 и 5.2.2 следует выполнять следующие ограничения: - отношение высоты сечения кольца жесткости к диаметру $h_2/D < 0,2$; - расчетные формулы следует применять при условии равномерного расположения колец жесткости; - в тех случаях, когда кольца жесткости установлены неравномерно, значения b и l_1 необходимо подставлять для того участка, на котором расстояние между двумя соседними кольцами жесткости максимальное; - если $l_2 > l_1$, то в качестве расчетной длины принимают l_2 .	С
п.5.2.4	Расчетные формулы для обечаек, работающих под действием осевого сжимающего усилия, приведенные в 5.3.4, 5.4.3, применимы при следующем условии: $l/D > 1$ или $b/D > 1$. Для обечаек, у которых $l/D < 1$ или $b/D < 1$, при отсутствии более точных расчетов допускается пользоваться формулами (15) и (17).	С
п.5.3	Гладкие цилиндрические обечайки.	
п.5.3.1	Обечайки, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.5.3.1.1	Толщину стенки вычисляют по формуле (1), где расчетную толщину стенки вычисляют по формуле (2)	С
п.5.3.1.2	Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле (3)	С
п.5.3.1.3	При изготовлении обечайки из листов разной толщины, соединенных продольными швами, расчет толщины обечайки проводят для каждого листа с учетом имеющихся в них ослаблений.	С
п.5.3.2	Обечайки, нагруженные наружным давлением	
п.5.3.2.1	Значение необходимой толщины стенки может быть предварительно вычислено по формулам (4) и (5) с обязательной последующей проверкой по формуле (7). Толщину стенки вычисляют по формуле (4). Расчетную толщину стенки вычисляют по формуле (5). Коэффициент B вычисляют по формуле (6).	С

п.5.3.2.2	<p>Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (7), допускаемое давление из условия прочности вычисляют по формуле (8), а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле (9).</p> <p>Коэффициент B_1 вычисляют по формуле (10).</p> <p>При определении расчетной длины обечайки l или L длину примыкающего элемента l_3 следует вычислять по формулам:</p> <p>$l_3 = H/3$ для выпуклых днищ;</p> <p>$l_3 = D/(6 \operatorname{tg}(\alpha_1))$ для конических обечаек (днищ) без отбортовки, но не более длины конического элемента;</p> <p>$l_3 = \max(r \sin(\alpha_1), D/(6 \operatorname{tg}(\alpha_1)))$ — для конических обечаек (днищ) с отбортовкой, но не более длины конического элемента.</p> <p>Если примыкающими элементами являются одна или несколько обечаек той же или другой толщины, при определении расчетной длины обечайки следует учитывать их суммарную длину.</p>	С
п.5.3.3	Обечайки, нагруженные осевым растягивающим усилием.	
п.5.3.3.1	Толщину стенки вычисляют по формуле (11) Расчетную толщину стенки вычисляют по формуле (12)	С
п.5.3.3.2	Допускаемое осевое растягивающее усилие вычисляют по формуле (13)	С
п.5.3.4	Обечайки, нагруженные осевым сжимающим усилием.	
п.5.3.4.1	<p>Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле (14).</p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле (15). Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости вычисляют из условия местной устойчивости в пределах упругости по формуле (16).</p> <p>Если расчетная длина обечайки l превышает диаметр D более чем в 10 раз, а также для со ставных обечаек корпусов колонных аппаратов, отличающихся толщиной и диаметром, дополнительно выполняют проверку на условие общей устойчивости в пределах упругости. При этом допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости определяют как меньшее из двух по формуле (17). Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле (18). Гибкость λ вычисляют по формуле (19). Приведенная расчетная длина $l_{пр}$ согласно таблице 1.</p> <p>Для схем, не приведенных в таблице 1, $l_{пр}$ определяют с помощью специальных методов расчета.</p>	С
п.5.3.4.2	Для рабочих условий ($\nu = 2,4$) допускаемое сжимающее усилие можно вычислять по формуле (20). Коэффициенты φ_1 и φ_2 определяют по графикам, приведенным на рисунках 5 и 6.	С
п.5.3.5	Обечайки, нагруженные изгибающим моментом.	
п.5.3.5.1	<p>Допускаемый изгибающий момент вычисляют по формуле (21).</p> <p>Допускаемый изгибающий момент из условия прочности вычисляют по формуле (22).</p> <p>Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле (23)</p>	С
п.5.3.5.2	Для рабочих условий ($\nu = 2,4$) допускаемый изгибающий момент можно вычислять по формуле (24)	С
п.5.3.6	<p>Обечайки, нагруженные поперечными усилиями.</p> <p>Допускаемое поперечное усилие вычисляют по формуле (25).</p> <p>Допускаемое поперечное усилие из условия прочности вычисляют по формуле (26). Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле (27).</p>	С
п.5.3.7	<p>Обечайки, работающие под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.</p> <p>Обечайки, работающие под совместным действием нагрузки, проверяют на устойчивость по формуле (28).</p>	С
п.5.4	Цилиндрические обечайки, подкрепленные кольцами жесткости.	
п.5.4.1	Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.5.4.1.1	<p>Определение размеров колец жесткости при внутреннем давлении.</p> <p>Для заданных расчетного давления p и толщины стенки s коэффициент K_4 следует вычислять по формуле (29).</p>	С

	<p>Если $K_4 \leq 0$, то укрепление кольцами жесткости не требуется. В диапазоне $0 < K_4 \leq 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_P} - 1$ расстояние между двумя кольцами жесткости вычисляют по формуле (30), площадь поперечного сечения кольца жесткости вычисляют по формуле (31).</p> <p>Если $K_4 \geq 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_P} - 1$, то толщину стенки необходимо увеличивать до такого размера, чтобы выполнялось следующее условие: $0 < K_4 < 2 \frac{\varphi_T}{\varphi_P} - 1$.</p> <p>Примечание — При определении площади поперечного сечения кольца жесткости A_k следует учитывать прибавку C_1 для компенсации коррозии.</p>	
п.5.4.1.2	<p>Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют из условия (32).</p> <p>Допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности всей обе чайки, вычисляют по формуле (33).</p> <p>Допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности обечайки между двумя соседними кольцами жесткости, вычисляют по формуле (34).</p>	С
п.5.4.2	Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные наружным давлением.	
п.5.4.2.1	<p>Расчетные параметры подкрепленной обечайки.</p> <p>Эффективную длину стенки обечайки, учитываемую при определении эффективного момента инерции, определяют из условия (35). Эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости вычисляют по формуле (36). коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости, вычисляют по формуле (37).</p> <p>Примечание — При определении момента инерции кольца жесткости следует учитывать прибавку C_1 для компенсации коррозии.</p>	С
п.5.4.2.2	<p>Допускаемое наружное давление определяют из условия (38).</p> <p>Допускаемое наружное давление, определяемое исходя из условий устойчивости всей обечайки, вычисляют по формуле (39).</p> <p>Допускаемое наружное давление $[p]_{1п}$ должно соответствовать величине $[p]_1$, определенной по формуле (33) при значениях коэффициентов $\varphi_p = 1$ и $\varphi_k = 1$.</p> <p>Допускаемое наружное давление $[p]_{1в}$ из условий устойчивости в пределах упругости вычисляют по формулам (40), (41).</p> <p>Допускаемое наружное давление $[p]_2$, определяемое исходя из условий устойчивости обечайки между кольцами жесткости при значении длины $l = \max \left\{ b; l_2 - \frac{t}{2} \right\}$, должно соответствовать давлению $[p]$ (см. 5.3.2.2). Вместо $[p]_{п}$, определенного по формуле (8), допускается принимать $[p]_2$ по формуле (34) при значении коэффициента φ_T, равном 1.</p>	С
п.5.4.3	<p>Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные осевым растягивающим или сжимающим усилием, изгибающим моментом или поперечным усилием</p> <p>Допускаемые нагрузки следует рассчитывать по расчетным формулам (13), (14), (21), (25) при $l = b$. При расчете обечаек, нагруженных осевыми усилиями, по 5.3.4 вместо l следует принимать общую длину L.</p>	С
п.5.4.4	Обечайки с кольцами жесткости, нагруженные совместно действующими нагрузками. Расчет следует проводить аналогично расчету по 5.3.7, при этом допускаемое наружное давление следует определять по 5.4.2.2.	С
п.6	Расчет выпуклых днищ и крышек.	
п.6.1	Расчетные схемы.	
п.6.1.1	На рисунке 8 приведены расчетные схемы эллиптических, полусферических и торосферических днищ. На рисунках 12—15 приведены расчетные схемы неотбортованных сферических днищ и крышек.	С
п.6.2	Условия применения расчетных формул.	
п.6.2.1	<p>Формулы применимы при выполнении условий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для эллиптических днищ $0,002 \leq \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,100$, $0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5$; - для торосферических днищ $0,002 \leq \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,100$. <p>Для торосферических днищ в зависимости от соотношения параметров R, D_1, r_1 приняты следующие типы днищ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - тип А $R \approx D_1$, $r_1 \geq 0,095D_1$; - тип В $R \approx 0,9D_1$, $r_1 \geq 0,170D_1$; - тип С $R \approx 0,8D_1$, $r_1 \geq 0,150D_1$. <p>Для сферических неотбортованных днищ и крышек формулы следует</p>	С

	применять при $(s_1 - c)/R_c \leq 0,1$ и $0,85D \leq R_c \leq D$. Для неотбортованных сферических днищ и крышек (см. рисунки 12-15), нагруженных внутренним избыточным давлением, расчетные формулы следует применять при дополнительном условии $(s_1 - c)/R_c \geq 0,002$. Формулы для неотбортованных сферических днищ и крышек применяют при условии выполнения угловых швов с двусторонним сплошным проваром. Формулы не учитывают нагружение колец дополнительными нагрузками, например опорными элементами.	
п.6.2.2	Формулы, приведенные в 6.3.2 и 6.4.2, применимы при условии, если расчетные температуры не превышают значений, при которых учитывается ползучесть материалов, т.е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяют только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных по этим температурам, то формулы применимы при расчетных температурах, которые не превышают 380°C для углеродистых сталей, 420°C - для низколегированных и легированных сталей, 525°C - для аустенитных сталей, 150°C - для алюминия и его сплавов, 250°C - для меди и ее сплавов, 300°C - для титана и его сплавов.	С
п.6.3	Эллиптические и полусферические днища.	
п.6.3.1	Эллиптические и полусферические днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.6.3.1.1	Толщину стенки вычисляют по формулам (42), (43)	С
п.6.3.1.2	Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле (44)	С
п.6.3.1.3	Радиус кривизны в вершине днища равен $R=D^2/(4H)$, где $R=D$ - для эллиптических днищ с H , равным $0,25 D$; $R=0,5 D$ - для полусферических днищ с H , равным $0,5 D$.	С
п.6.3.1.4	Если длина цилиндрической отбортованной части днища $h_1 > 0,8\sqrt{D(s_1 - c)}$ для эллиптического днища или $h_1 > 0,3\sqrt{D(s_1 - c)}$ для полусферического днища, то толщина днища должна быть не меньше толщины обечайки, рассчитанной в соответствии с 5.3.1 при φ_p , равном 1.	С
п.6.3.1.5	Для днищ, изготовленных из одной заготовки, коэффициент φ равен 1	С
п.6.3.2	Эллиптические и полусферические днища, нагруженные наружным давлением	
п.6.3.2.1	Значение необходимой толщины стенки может быть предварительно вычислено по формулам (46), (47) с обязательной последующей проверкой по формуле (48). Для предварительного расчета КЗ принимают равным 0,9 для эллиптических днищ и 1 - для полусферических днищ.	С
п.6.3.2.2	Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (48), где допускаемое давление из условия прочности рассчитывается по формуле (49), а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости по формуле (50).	С
п.6.3.2.3	Коэффициент КЗ определяют по графику, приведенному на рисунке 9, или вычисляют по формулам (51), (52)	С
п.6.4	Торосферические днища.	
п.6.4.1	Торосферические днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.6.4.1.1	Толщину стенки в краевой зоне вычисляют по формулам (53), (54). Для сварных днищ следует дополнительно проверить толщину стенки в центральной зоне по формулам (55), (56). За расчетное значение принимают большее из значений, полученных по формулам (53) и (55).	С
п.6.4.1.2	Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляют по формуле (57). Для сварных днищ необходимо дополнительно проверить допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны по формуле (58). За допускаемое давление принимают меньшее из давлений, определяемых по формулам (57), (58).	С
п.6.4.1.3	Коэффициент β_1 определяют по графику, приведенному на рисунке 10, а β_2 определяют по графику, приведенному на рисунке 11, или вычисляют по формулам (59).	С
п.6.4.1.4	Для днищ, изготовленных из целой заготовки, коэффициент φ равен 1.	С
п.6.4.1.5	Если длина цилиндрической отбортованной части днища $h_1 > 0,8\sqrt{D(s_1 - c)}$, то толщина цилиндрической части днища должна быть не меньше толщины обечайки, вычисленной по формулам (1), (2) при φ_p , равном 1.	С

п.6.4.2	Торосферические днища, нагруженные наружным давлением. Торосферические днища, нагруженные наружным давлением, вычисляют по формулам (46), (47) и (48) при K_3 , равном 1. Кроме того, наружное давление не должно превышать допускаемое давление, определяемое по формуле (57).	С
п.6.5	Сферические неотбортованные днища и крышки.	
п.6.5.1	Сферические неотбортованные днища и крышки, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.6.5.1.1	Толщину стенок крышек и днищ определяют методом последовательных приближений. Предварительно толщину стенки вычисляют по формуле (60), а затем по формуле (61). Расчет проводят до тех пор, пока разница между полученным значением s_{1p}'' и принятым s_1 при определении коэффициента β по формуле (66) не будет превышать 5%. В качестве расчетной толщины стенки днища или крышки принимают большее из двух значений, определяемых по формулам (60) и (61). Исполнительная толщина стенки определяется из формулы (62).	С
п.6.5.1.2	Допускаемое избыточное давление определяется по формулам (63)-(65)	С
п.6.5.1.3	β при $M \leq [M]$ вычисляют по формуле (66).	С
п.6.5.1.3.1	При заданных геометрических размерах днищ тригонометрические функции вычисляют по формулам $\cos\psi = \frac{D}{2R_c}$, $tg\psi = \sqrt{\left(\frac{2R_c}{D}\right)^2 - 1}$.	С
п.6.5.1.3.2	Отношение допускаемых напряжений вычисляют по формулам $\chi_k = \frac{[\sigma]_k}{[\sigma]_1}$, $\chi = \frac{[\sigma]}{[\sigma]_1}$, $\chi_5 = \frac{[\sigma]_5}{[\sigma]_1}$	С
п.6.5.1.3.3	Величины A_k , M , $[M]$ вычисляют по таблице 2. Предварительно размеры кольца a и h подбирают из условий: - для моделей по рисункам 13, 14: $A_k \approx \frac{pD^2}{8[\sigma]_k} tg\psi$; - для моделей по рисунку 15 $M \leq [M]$; - R_{II} - усилие на прокладке, необходимое для обеспечения герметичности соединения крышки и фланцевого соединения, вычисляют по ГОСТ 34233.4 [формула (9)]; - для моделей по рисунку 13 необходимо, чтобы e_1 имело минимальное значение.	С
п.6.5.2	Сферические неотбортованные днища и крышки, нагруженные наружным давлением.	
п.6.5.2.1	Толщину стенки сферического сегмента днища или крышки предварительно вычисляют по формулам (60)-(62) с последующей проверкой по формулам (67)-(69).	С
п.6.5.2.2	Допускаемое наружное давление вычисляют по формулам (67)-(69).	С
п.6.5.2.3	Коэффициент K_c определяют по таблице 3	С
п.7	Расчет плоских круглых днищ и крышек	
п.7.1	Область применения расчетных формул	
п.7.1.1	Формулы применимы для расчета плоских круглых днищ и крышек при условии: $\frac{s_1-c}{D_p} \leq 0,11$	С
п.7.1.2	Допускается проводить расчет при $\frac{s_1-c}{D_p} > 0,11$, но значение допускаемого давления, вычисленного по формуле (75) или (84), следует умножить на поправочный коэффициент: $K_p = \frac{2,2}{1 + \sqrt{1 + \left(6\frac{s_1-c}{D_p}\right)^2}} \quad (70)$ Если при определении толщины днища по 7.2.1 или 7.3.1 в результате расчета окажется, что $\frac{s_1-c}{D_p} > 0,11$, то необходимо дополнительно определить допускаемое давление по 7.2.7 или 7.3.8 и умножить его на коэффициент K_p . При $K_p[p] < p$ толщину днища следует увеличивать так, чтобы было выполнено условие: $K_p[p] \geq p$.	С
п.7.1.3	Формулы для расчета плоских круглых днищ и крышек с радиальными ребрами жесткости применимы при следующих условиях: $\frac{D_p-d_0}{2h} \geq 5$; $n \geq 6$; $\frac{nA_p[\sigma]_p}{\pi D_p s_1[\sigma]} \leq 1$; $\frac{4e_0^2}{A_p} \leq 10$	С

п.7.2	Расчет плоских круглых днищ и крышек.	
п.7.2.1	Толщину плоских круглых днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным или наружным давлением, вычисляют по формулам (71), (72).	С
п.7.2.2	Коэффициент K в зависимости от конструкции днищ и крышек определяют по таблице 4.	С
п.7.2.3	K_0 для днищ и крышек, имеющих одно отверстие, вычисляют по формуле (73)	С
п.7.2.4	K_0 для днищ и крышек, имеющих несколько отверстий, вычисляют по формуле (74). Коэффициент K_0 определяют для наиболее ослабленного сечения. Максимальную сумму для длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральной сечении днища или крышки определяют согласно рисунку 16 по формуле $\sum d_i = \max\{(d_1 + d_3); (b_2 + b_3)\}$. Основные расчетные размеры отверстий указаны на рисунках 16, 17.	С
п.7.2.5	K_0 для днищ и крышек без отверстий принимают равным 1.	С
п.7.2.6	Во всех случаях присоединения днища к обечайке минимальная толщина плоского круглого днища должна быть не менее толщины обечайки, вычисленной в соответствии с 5.3.	С
п.7.2.7	Допускаемое давление на плоское днище или крышку вычисляют по формуле (75).	С
п.7.2.8	Толщину s_2 для типов соединения 10, 11 и 12 (см. таблицу 4) вычисляют по формулам (76).	С
п.7.3	Расчет плоских круглых крышек с дополнительным краевым моментом.	
п.7.3.1	Толщину плоских круглых крышек с дополнительным краевым моментом (см. рисунок 18) под действием внутреннего давления вычисляют по формулам (77), (78).	С
п.7.3.2	Коэффициент K_6 вычисляют по формуле (79) или по графику, приведенному на рисунке 19, в зависимости от отношений $D_3/D_{с.п}$ и ψ_1 . Значение ψ_1 вычисляют по формуле (80), где $Q_d = 0,785pD_{с.п}^2$; P_6^p определяют по ГОСТ 34233.4 для рабочих условий.	С
п.7.3.3	Коэффициент K_0 вычисляют по формуле (73) или (74), если $\sum d_i \leq 0,7D_p$, при этом отверстия для болтов в расчет не принимают.	С
п.7.3.4	Для крышки, имеющей паз для перегородки (например, камер теплообменника), значение коэффициента K_6 для определения толщины в месте паза (см. рисунок 186) вычисляют с учетом усилия от сжатия прокладки в пазах по формуле (81).	С
п.7.3.5	Толщину плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом в месте уплотнения s_2 (см. рисунок 18а) вычисляют по формуле (82). В формуле (82) при определении Φ индекс «р» указывает на то, что величина суммарного болтового усилия и допускаемого напряжения для материала крышки относится к рабочему состоянию или испытаниям, а индекс «м» — состоянию монтажа.	С
п.7.3.6	Коэффициент K_7 вычисляют по формуле (83) или определяют по графику, приведенному на рисунке 20, в зависимости от отношения диаметров.	С
п.7.3.7	Толщину края плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом вне зоны уплотнения s_3 (см. рисунок 18) вычисляют по формуле (82), при этом в формулах (82) и (83) вместо $D_{с.п}$ следует принять D_2 .	С
п.7.3.8	Допускаемое давление для плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом при поверочных расчетах вычисляют по формуле (84).	С
п.7.4	Днища и крышки плоские круглые с радиальными ребрами жесткости	С
п.7.4.1	Расчетные схемы днищ приведены на рисунках 21—24.	С
п.7.4.2	Для определения допускаемого избыточного давления предварительно определяют следующие параметры: - расчетное расстояние от поверхности пластинки до нижнего торца втулки – формула (85); - расчетная высота втулки – формула (86); - относительный радиус втулки – формула (87); - расстояние от срединной поверхности пластины до нейтральной поверхности – формула (88).	С

п.7.4.3	Изгибающий погонный момент для втулки, отнесенный к длине контурной линии, вычисляют по формуле (89).	С
п.7.4.4	Изгибающий погонный момент для пластины, отнесенный к длине контурной линии, вычисляют по формуле (90).	С
п.7.4.5	Изгибающий погонный момент для оребренной пластины, отнесенный к длине контурной линии, вычисляют по формуле (91).	С
п.7.4.6	Обобщенный допускаемый погонный изгибающий момент следует выбирать наименьшим из моментов M_1 и M_2 : формула (92).	С
п.7.4.7	Суммарный погонный изгибающий момент вычисляют по формуле (93). Если центральная втулка отсутствует ($\rho_0 = 0$), а ребра пересекаются в центре или вместо втулки имеется сплошная бобышка, то суммарный изгибающий момент вычисляют по формуле (94).	С
п.7.4.8	Дополнительное усилие, действующее на центральную часть крышки (днища), должно соответствовать условию (95).	С
п.7.4.9	Допускаемое избыточное давление, действующее на крышку (днище), вычисляют по формулам (96), (97). Если направление действия усилия Q_0 совпадает с направлением действия давления, то в формуле для определения $[p]_1$ перед Q_0 надо поставить знак минус (формула (98)).	С
п.8	Расчет конических обечаек.	
п.8.1	Расчетные схемы и расчетные параметры.	
п.8.1.1	На рисунках 25-30 приведены расчетные схемы узлов конических обечаек.	С
п.8.1.2	Расчетные параметры.	
п.8.1.2.1	Расчетные длины переходных частей вычисляют по формулам: - для конических и цилиндрических обечаек (см. рисунок 25а, б) $\alpha_{1p} = 0,7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} (s_1 - c)}$; $\alpha_{2p} = 0,7 \sqrt{D(s_2 - c)}$ - для конических и цилиндрических обечаек (см. рисунок 26) $\alpha_{1p} = 0,7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} (s_T - c)}$; $\alpha_{2p} = 0,5 \sqrt{D(s_T - c)}$ - для конических и цилиндрических обечаек или штуцера (см. рисунок 25в) $\alpha_{1p} = \sqrt{\frac{D_1}{\cos \alpha_1} (s_1 - c)}$; $\alpha_{2p} = 1,25 \sqrt{D_1(s_2 - c)}$	С
п.8.1.2.2	Расчетный диаметр гладкой конической обечайки вычисляют по формулам: - для конической обечайки без тороидального перехода (см. рисунок 25) $D_k = D - 1,4\alpha_{1p} \sin \alpha_1$ - для конической обечайки с тороидальным переходом (см. рисунок 26) $D_k = D - 2[r(1 - \cos \alpha_1) + 0,7\alpha_{1p} \sin \alpha_1]$ Для конических обечаек со ступенчатым изменением толщин стенки для второй и всех последующих частей за расчетный диаметр D_k данной части обечайки принимают внутренний диаметр большего основания.	С
п.8.2	Область и условия применения расчетных формул.	
п.8.2.1	Расчетные формулы применимы при соотношении между толщиной стенки наружной обечайки и диаметром в пределах $0,001 \leq \frac{s_1 \cos \alpha_1}{D} \leq 0,050$ Выполнение такого условия для пологого конического днища ($\alpha_1 > 70^\circ$) не требуется.	С
.8.2.2	Расчетные формулы, приведенные в 8.3.10, 8.4.2 и 8.5.1, применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых должна учитываться ползучесть металлов, т.е. при температурах, когда допускаемое напряжение определяется только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных по этим температурам, то формулы применимы при расчетных температурах, которые не превышают 380°C для углеродистых сталей, 420°C - для низколегированных и легированных сталей, 525°C - для аустенитных сталей, 150°C - для алюминия и его сплавов, 250°C - для меди и ее сплавов, 300°C для титана	С

	и его сплавов.	
п.8.2.3	Формулы настоящего стандарта не применимы для расчета на прочность конических переходов в местах крепления рубашки к корпусу. В этом случае расчет проводят по ГОСТ 34233.8.	С
п.8.2.4	Формулы не применимы, если расстояние между двумя соседними узлами обечаек менее суммы соответствующих расчетных длин обечаек или если расстояние от узлов до опорных элементов сосуда (за исключением юбочных опор и опорных колец) менее удвоенной расчетной длины обечайки по 8.1.2.	С
п.8.2.5	Расчетные формулы применимы при условии, что исполнительные длины переходных частей обечаек a_1 и a_2 не менее расчетных длин a_{1p} и a_{2p} . Если это условие не выполнено, нужно провести проверку допустимого давления, причем вместо s_1 и s_2 подставляют: - для соединения обечаек без тороидального перехода $s_{1э} = \max\left\{\frac{a_1}{a_{1p}}s_1; s_k\right\}; s_{2э} = \max\left\{\frac{a_2}{a_{2p}}s_2; s\right\}$ - для соединения обечаек с тороидальным переходом при определении коэффициента по формуле (114) $s_{1э} = \max\left\{\frac{a_1}{a_{1p}}s_T; s_k\right\}; s_{2э} = \max\left\{\frac{a_2}{a_{2p}}s_T; s\right\}$ s_k, s - фактические толщины стенок присоединенных обечаек (см. рисунки 25 и 26).	С
п.8.2.7	Исполнительную толщину стенки конического элемента в месте соединения двух обечаек s_1, s_2 или s_T всегда принимают не менее толщины s_k , определяемой по 8.3.1 или 8.3.2, 8.4.1 или 8.4.2 и 8.5.1, для соответствующих нагрузок. Исполнительная толщина стенки цилиндрического элемента в месте соединения двух обечаек должна быть не менее минимальной толщины стенки, определяемой по формулам раздела 5.	С
п.8.2.8	Расчет укрепления отверстий конических обечаек проводят в соответствии с ГОСТ 34233.3.	С
п.8.2.9	Расчет толщины стенок переходной части обечаек проводят либо методом последовательных приближений на основании предварительного подбора и последующей проверки для выбранных значений $\frac{D}{s_2-c}$ и $\frac{s_1-c}{s_2-c}$, либо сразу с помощью диаграмм. Если допускаемые напряжения материалов частей перехода отличаются друг от друга, то расчет по диаграммам проводят при использовании меньшего из них. За допускаемое давление, осевую силу и изгибающий момент для конической обечайки принимают меньшее значение, полученное из условия прочности или устойчивости гладкой конической обечайки и из условия прочности переходной части.	С
п.8.2.10	Расчет применим также для кососимметричных обечаек, соединенных с цилиндрическими обечайками. Расчетные величины α_1, D и D_1 приведены на рисунке 28.	С
п.8.3	Конические обечайки, нагруженные давлением.	
п.8.3.1	Гладкие конические обечайки, нагруженные внутренним избыточным давлением.	
п.8.3.1.1	Толщину стенки гладкой конической обечайки вычисляют по формулам (99), (100)	С
п.8.3.1.2	Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле (101).	С
п.8.3.2	Гладкие конические обечайки, нагруженные наружным давлением.	
п.8.3.2.1	Расчетные формулы применимы при условии $\alpha_1 \leq 70^\circ$.	С
п.8.3.2.2	Толщину стенки в первом приближении вычисляют по формулам (102), (103) с введением эффективных размеров с последующей проверкой по формуле (104). При предварительном определении толщины стенки в качестве расчетных l_E, D_E, B_1 принимают величины, определяемые по формулам (107)-(109).	С

п.8.3.2.3	<p>Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (104), где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле (105), и допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости по формуле (106).</p> <p>Эффективные размеры конической обечайки вычисляют по формулам (107), (108).</p> <p>Значение коэффициента B_1 вычисляют по формуле (109).</p>	С
п.8.3.3	Соединение обечайки без тороидального перехода (см. рисунок 25а).	
п.8.3.3.1	<p>Расчетные формулы применимы при условиях $\alpha_1 \leq 70^\circ$; $(s_1 - c) \geq (s_2 - c)$.</p> <p>Если $(s_1 - c) < (s_2 - c)$, то при поверочном расчете следует принимать $s_1 - c = s_2 - c$.</p>	С
п.8.3.3.2	<p>Толщину стенки из условия прочности переходной зоны вычисляют по формулам (110), (111). При определении β_1, коэффициент β вычисляют по формуле (114) или определяют по диаграмме (см. рисунок 31).</p> <p>Расчет толщины стенки конического элемента перехода проводят с помощью отношения толщин стенок $\frac{s_1 - c}{s_2 - c}$ по формуле (112).</p>	С
п.8.3.3.3	<p>Коэффициент формы вычисляют по формуле (113), где β определяют по формуле (114) или по рисункам 31 или 32 при $s_2 - c = s_{2p}$ и допускаемом напряжении $[\sigma] = \min([\sigma]_1; [\sigma]_2)$; $\chi_1 = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2}$.</p>	С
п.8.3.3.4	<p>Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление $[p]$ из условия прочности переходной части вычисляют по формуле (115), где коэффициент β_1 определяют по 8.3.3.3, при определении β_1, коэффициент β вычисляют по формуле (114) или определяют по диаграмме (см. рисунок 32).</p>	С
п.8.3.4	Соединение конической обечайки с укрепляющим кольцом.	
п.8.3.4.1	<p>Формулы для расчета соединения конической обечайки с укрепляющим кольцом (см. рисунки 25б, 29) применимы при условиях:</p> $\alpha_1 \leq 70^\circ$ <p>- при соединении с цилиндрической обечайкой (см. рисунок 25б)</p> $(s_1 - c) \geq (s_2 - c)$ <p>Если $(s_1 - c) < (s_2 - c)$, то при поверочном расчете следует принимать $(s_1 - c) = (s_2 - c)$.</p> <p>Расчет применим только при отсутствии изгибающего момента на кольце.</p>	С
п.8.3.4.2	<p>Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца вычисляют по формулам - при соединении по рисунку 25б - (116), (117).</p> <p>Коэффициент β определяют либо по формуле (114), либо по диаграмме (см. рисунок 32).</p> <p>При $A_k < 0$ укрепление кольцом жесткости не требуется.</p> <p>Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца вычисляют по формуле - при соединении по рисунку 29 - (118).</p> <p>В случаях действия нагрузки от наружного давления, или осевой сжимающей силы, или изгибающего момента сварной шов стыкового соединения кольца должен быть проварен непрерывным швом. При определении площади поперечного сечения A_k следует учитывать также сечение стенок обечаек, расположенное между наружными швами кольца и обечаек.</p>	С
п.8.3.4.3	<p>Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части вычисляют по формулам:</p> <p>- при соединении по рисунку 25б - (119)</p> <p>- при соединении по рисунку 29 - (120)</p>	С
п.8.3.4.4	Общий коэффициент формы для переходной части рассчитывают по формулам (121), (122), (123).	С
п.8.3.4.5	<p>Проверка прочности сварного шва укрепляющего кольца выполняется по формуле (124).</p> <p>У прерывистого сварного шва действительная его ширина уменьшается в отношении длин сварного шва и всего периметра обечайки. Расстояние между концами прерывистых сварных швов должно быть не более восьми толщин стенки обечайки и сумма всех длин сварных швов — не менее половины длины контура кольца.</p>	С
п.8.3.5	Соединение обечаек с тороидальным переходом.	
п.8.3.5.1	Формулы для расчета соединения обечаек с тороидальным переходом	С

	(см. рисунок 26) применимы при условиях: $\alpha_1 \leq 70^\circ$; $0 \leq \frac{r}{D} < 0,3$.	
п.8.3.5.2	Толщину стенки переходной части вычисляют по формулам (125), (126). Коэффициент β_3 вычисляют по формуле (128), β и β_T — по формулам (114) и (129) соответственно или определяют по диаграммам, приведенным на рисунках 31, 33.	С
п.8.3.5.3	Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части определяется по формуле (127). Коэффициент β_3 вычисляют по формуле (128), β и β_T — по формулам (114) и (129) соответственно или определяют по диаграммам, приведенным на рисунках 32, 34.	С
п.8.3.5.4	Коэффициент β_3 вычисляют по формуле (128). β вычисляют по формуле (114) при $\chi_1 = 1$ и $\frac{s_1-c}{s_2-c} = 1$ или определяют по диаграмме, приведенной на рисунках 31 или 32. Коэффициент β_T вычисляют по формуле (129) или определяют по диаграмме, приведенной на рисунках 33 или 34.	С
п.8.3.6	Соединение штуцера или цилиндрической обечайки меньшего диаметра с конической обечайкой.	
п.8.3.6.1	Формулы для расчета соединения штуцера или цилиндрической обечайки меньшего диаметра с конической обечайкой (см. рисунок 25в) применимы при выполнении условия $\alpha_1 \leq 70^\circ$.	С
п.8.3.6.2	Толщину стенки вычисляют по формулам (130), (131). Коэффициент β_4 определяют по 8.3.6.4. Расчет толщины стенки конического элемента переходной части проводят с помощью отношения толщин стенок (132).	С
п.8.3.6.3	Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части вычисляют по формуле (133).	С
п.8.3.6.4	Коэффициент формы рассчитывается по формулам (134), (135), (136). β вычисляют по формуле (114) с заменой D на D_1 .	С
п.8.3.7	Пологое коническое днище с тороидальным переходом	
п.8.3.7.1	Формулы для расчета пологого конического днища с тороидальным переходом (см. рисунок 30а) применимы для действия внутреннего избыточного давления при выполнении условия $\alpha_1 > 70^\circ$.	С
п.8.3.7.2	Толщину стенки принимают по условиям (137), (138), где s_k определяют по 8.3.1 при $D_k = D$ и s_T — по 8.3.5.	С
п.8.3.7.3	Допускаемое внутреннее избыточное давление принимают как большее из значений по формуле (139) и меньшего из значений $[p]$, определяемых при $s_k = s'$ по 8.3.1 и при $s_T = s'$ по 8.3.5.	С
п.8.3.8	Пологое коническое днище с укрепляющим кольцом.	
п.8.3.8.1	Формулы для расчета пологого конического днища с укрепляющим кольцом (см. рисунок 30б) применимы для действия внутреннего избыточного давления при выполнении условий: $\alpha_1 > 70^\circ$, $s' = s_k$.	С
п.8.3.8.2	Толщину стенки конического днища определяют по 8.3.1.1 при $D_k = D$.	С
п.8.3.8.3	Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца определяют по 8.3.4.2, в котором при определении β следует принять $s_1 - c = 0$.	С
п.8.3.8.4	Допускаемое внутреннее избыточное давление определяют для конического днища по 8.3.1.2 при $D_k = D$ и для укрепляющего кольца по 8.3.4.3, в котором при определении β_2 следует принять $s_1 - c = 0$. Расчет применим при соблюдении требований 8.3.4.5.	С
п.8.3.9	Пологое коническое днище без тороидального перехода и укрепляющего кольца.	
п.8.3.9.1	Формулы для расчета пологого конического днища без тороидального перехода и укрепляющего кольца (см. рисунок 30в) применимы для действия внутреннего избыточного давления при выполнении условия $\alpha_1 > 70^\circ$.	С
п.8.3.9.2	Толщину стенки принимают по формуле (140), при этом s'_p вычисляют по формуле (138) при $r = 0$; s_k вычисляют по 8.3.1 при $D_k = D$; s_1 вычисляют по 8.3.3.	С
п.8.3.9.3	Допускаемое внутреннее избыточное давление принимают как большее из значения $[p]$, определяемого по формуле (139) при $r = 0$, и меньшее из значений $[p]$, определяемых по 8.3.1 при $s_k = s'$ и $D_k = D$ и по 8.3.3.	С

п.8.3.10	Пологое коническое днище, нагруженное наружным давлением.	
п.8.3.10.1	Формулы применимы для действия наружного давления при условии $\alpha_1 > 70^\circ$.	С
п.8.3.10.2	Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (104), допускаемое давление в пределах пластичности — по формуле (105) и допускаемое давление в пределах упругости вычисляют по формулам (141), (142), (143).	С
п.8.4	Конические обечайки, нагруженные осевыми усилиями.	
п.8.4.1	Гладкие конические обечайки, нагруженные осевой растягивающей силой	
п.8.4.1.1	Толщину стенки вычисляют по формулам (144), (145).	С
п.8.4.1.2	Допускаемую растягивающую силу вычисляют по формуле (146).	С
п.8.4.2	Гладкие конические обечайки, нагруженные осевой сжимающей силой	
п.8.4.2.1	Расчетные формулы применимы при условии $\alpha_1 \leq 70^\circ$.	С
п.8.4.2.2	Допускаемую осевую сжимающую силу вычисляют по формуле (147), где допускаемую осевую силу из условия прочности вычисляют по формуле (148), и допускаемую осевую силу из условия устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле (149), где D_F рассчитывается по формуле (150).	С
п.8.4.3	Соединение обечаек без тороидального перехода.	
п.8.4.3.1	Формулы для расчета соединения обечаек без тороидального перехода (см. рисунок 25а) применимы при выполнении условий 8.3.3.	С
п.8.4.3.2	Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу [F] из условия прочности переходной части вычисляют по формулам (151), (152). Коэффициент β вычисляют по формуле (114) или определяют по диаграмме, приведенной на рисунке 30.	С
п.8.4.4	Соединение конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим кольцом.	
п.8.4.4.1	Формулы для расчета соединения конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим кольцом (см. рисунок 25б) применимы при выполнении условий 8.3.4.1.	С
п.8.4.4.2	Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу [F] из условия прочности переходной части вычисляют по формулам (153), (154). Коэффициент β_0 определяют по формуле (122), в которой следует принять $B_3 = -0,35$.	С
п.8.4.4.3	Проверку сварного шва укрепляющего кольца выполняют по 8.3.4.5.	С
п.8.4.5	Соединение обечаек с тороидальным переходом	
п.8.4.5.1	Формулы для расчета соединения конической и цилиндрической обечаек с тороидальным переходом (см. рисунок 26) применимы при выполнении условий 8.3.5.1.	С
п.8.4.5.2	Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу [F] из условия прочности переходной части вычисляют по формулам (155), (156). Коэффициенты β и β_T вычисляют по формулам (114) и (129) или определяют по диаграммам, приведенным на рисунках 32 и 33.	С
8.4.6	Соединение штуцера или цилиндрической обечайки меньшего диаметра с конической обечайкой.	
8.4.6.1	Формулы для расчета соединения штуцера или цилиндрической обечайки меньшего диаметра с конической обечайкой (см. рисунок 25в) применимы при выполнении условия 8.3.6.1.	С
8.4.6.5	Допускаемую осевую растягивающую или сжимающую силу [F] из условия прочности переходной части вычисляют по формулам (157), (158). Коэффициент β_H вычисляют по формулам (135) или (136) или определяют по диаграмме, приведенной на рисунке 36.	С
8.5	Конические обечайки, нагруженные изгибающим моментом..	
8.5.1	Допускаемый изгибающий момент. Допускаемый изгибающий момент вычисляют по формулам:	С

	<p>- из условия прочности – формула (159), где $D_p = D_1$ для конического перехода (см. рисунок 27); $[F]$ вычисляют по формуле (146);</p> <p>- из условия устойчивости – формулы (160), (161), (162), и D_F вычисляют по формуле (150).</p> <p>Допускаемые осевые силы $[F]_n$ и $[F]_E$ вычисляют по 8.4.2.2.</p>	
8.6	Соединения обечаек	
8.6.1	Допускаемый изгибающий момент из условия прочности переходной части вычисляют по формуле (163), где допускаемую осевую силу $[F]$ вычисляют по формулам (151), (153), (155) и (157). При вычислении $[F]$ по формуле (157) в формуле (163) следует принять D_1 вместо D .	С
8.6	Сочетания нагрузок.	
8.6.1	<p>Условия применения формул.</p> <p>Если коническая обечайка нагружена давлением, осевой силой и изгибающим моментом и сумма эквивалентных давлений от этих нагрузок, вычисляемых по формулам (164), составляет менее 10 % рабочего давления, то коническую обечайку рассчитывают только на действие давления. Такую проверку следует проводить как для гладкой конической обечайки, так и для ее тороидальных переходных частей у большего или меньшего основания, если они есть.</p>	С
8.6.2	<p>Расчет при совместном действии нагрузок</p> <p>Если условие 8.6.1 не выполнено для гладкой обечайки или хоть одной из переходных частей, то производят расчет при совместном действии нагрузок по 8.6.2.1 и 8.6.2.2. При проверке прочности или устойчивости для совместного действия нагрузок в формулах (165) и (167) для расчетного наружного давления подставляют минус p, а для осевой сжимающей силы — минус F. Изгибающий момент M всегда принимают со знаком плюс.</p>	С
8.6.2.1	<p>Гладкие конические обечайки.</p> <p>В случае совместного действия нагрузок необходимо проверять условия устойчивости по формуле (165).</p> <p>Кроме того, должна быть выполнена проверка прочности и устойчивости от отдельных нагрузок – формула (166).</p> <p>Допускаемые нагрузки $[p]$, $[F]$, $[M]$ определяют по 8.3.2.3, 8.4.2.2 и 8.5.1</p> <p>Проверку проводят, если не выполнено условие 8.6.1 хотя бы для одного из расчетных диаметров конической обечайки. При внутреннем давлении в формуле (165) следует принять $p = 0$.</p>	С
8.6.2.2	<p>Переходные части конических обечаек.</p> <p>Кроме проверки условий от отдельных нагрузок по формулам (166) необходимо проверить выполнение условия (167), где $[p]$, $[F]$, $[M]$, — допускаемые нагрузки для переходной части обечайки. Проверку проводят, если не выполнено условие 8.6.1 при $D_p = D$.</p>	С
8.7	<p>Расчет условных упругих напряжений в конических обечайках и днищах от действия давления, осевой силы и изгибающего момента.</p> <p>Расчет условных упругих напряжений в конических обечайках и днищах от действия давления, осевой силы и изгибающего момента выполняют в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - если для подтверждения прочности конструкции требуется дополнительный расчет по напряжениям; - если соотношения размеров элементов конструкции выходят за пределы применения расчетных формул раздела 8; - если конструкция содержит элементы, не рассматриваемые в настоящем стандарте. <p>Выполнение условий прочности и устойчивости конических обечаек в соответствии с 8.3.1 и 8.3.2 и пологих конических днищ в соответствии с 8.3.8— 8.3.10 во всех случаях является обязательным. При оценке результатов расчета напряжений от действия давления, осевой силы и изгибающего момента в конических обечайках и днищах необходимо руководствоваться следующими правилами:</p> <ul style="list-style-type: none"> - мембранные напряжения в местах соединения цилиндрических и конических обечаек или конических днищ без отбортовки по рисункам 	С

	<p>25, 28, 30б и 30в сравнивают с величиной $[\sigma]_M$. Суммарные мембранные и изгибные напряжения в этих местах сравнивают с величиной $[\sigma]_R$;</p> <p>- мембранные напряжения в укрепляющих кольцах по рисункам 25б, 29 и 30б сравнивают с величиной $[\sigma]$. Суммарные мембранные и изгибные напряжения в укрепляющих кольцах сравнивают с величиной $[\sigma]_M$;</p> <p>- мембранные напряжения в тороидальных переходах по рисункам 26, 30а, а также в тороидальном переходе у малого диаметра конической обечайки сравнивают с величиной $[\sigma]$. Суммарные мембранные и изгибные напряжения в тороидальных переходах сравнивают с величиной $[\sigma]_M$;</p> <p>- при использовании конического днища с плоской центральной частью мембранные напряжения в плоской и примыкающей к ней конической части днища сравнивают с величиной $[\sigma]_M$. Суммарные мембранные и изгибные напряжения в этих местах сравнивают с величиной $[\sigma]_R$. Дополнительно должно выполняться условие прочности центральной части днища в соответствии с разделом 7. При этом коэффициент конструкции плоских днищ и крышек К принимают равным 0,53.</p>	
<p>Приложение А</p>	<p>Расчет на прочность отводов (колен).</p>	<p>С</p>

ГОСТ 34233.3- 2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.	
п.4.1	Свойства материалов, требования к конструкции, изготовлению и контролю должны отвечать требованиям нормативных документов на сосуды и аппараты.	С
п.4.2	Расчет укрепления отверстий в обечайках и днищах основан на теории предельных нагрузок. В настоящем стандарте приведены условия прочности цилиндрических обечаек, конических переходов и выпуклых днищ, ослабленных круглыми и овальными отверстиями. Теория предельных нагрузок предполагает, что материал в условиях эксплуатации пластичен.	С
п.4.3	Расчет укрепления отверстий в обечайках и днищах под действием внутреннего избыточного или наружного давления представлен в разделе 5 в форме модифицированного метода замещения площадей.	С
п.4.4	Пределы применения расчетных формул настоящего стандарта ограничиваются условиями, приведенными в таблице 1. Кроме того, методика расчета на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер применима при выполнении условий, приведенных в 6.1.1 и 6.2.1.	С
п.4.5	Расчет на прочность обечаек и днищ под совместным действием давления, внешних статических нагрузок на штуцер и нагружения, вызванного стесненностью температурных деформаций, представлен в разделе 6. В стандарте приведены условия прочности цилиндрических обечаек и выпуклых днищ в зонах врезки штуцеров с круглым поперечным сечением, нормально расположенных к поверхности. При выполнении расчета в соответствии с разделом 6 обязательным является также проведение расчета укрепления отверстий при действии только давления в соответствии с разделом 5.	С
п.4.6	Если сосуд работает в условиях малоциклового нагружения, то в дополнение к расчету узлов врезки штуцеров по настоящему стандарту выполняют расчет на малоцикловую прочность в соответствии с ГОСТ 34233.6.	С
п.5.1.1	Расчетные формулы применимы при отношении диаметров отверстий и расчетных толщин стенок укрепляемых элементов к внутреннему диаметру цилиндрических обечаек, конических переходов и выпуклых днищ, представленных в таблице 1. Расчетные схемы узлов соединения штуцеров с обечайками и днищами приведены в приложении А. Рисунки настоящего стандарта не определяют конструкции, а являются справочными для указания необходимых расчетных размеров. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда или аппарата представлена на рисунке А.2 приложения А. Расчет укрепления отверстий при действии внутреннего давления можно проводить как относительно величины допускаемого давления — в соответствии с 5.3.2, так и относительно необходимых площадей укрепляющих элементов — в соответствии с 5.3.4. Расчет укрепления отверстий при действии наружного давления следует проводить в соответствии с 5.3.3. Учет взаимного влияния отверстий в сосудах и аппаратах при расчете укрепления отверстий про изводится в соответствии с 5.4.	С
п.5.1.2	При установке наклонных штуцеров с круговым поперечным сечением на цилиндрических и конических обечайках метод расчета укрепления отверстий на основе теории предельного равновесия применим, если угол γ (см. рисунок А.116 приложения А) не превышает 45° , а отношение осей овального отверстия d_1 и d_2 (см. рисунок А.116 приложения А) удовлетворяет условию (1). Эти ограничения не распространяются на тангенциальные штуцеры (см. рисунок А.12а приложения А), на наклонные штуцеры, ось которых лежит в плоскости поперечного сечения обечайки (см. рисунок А.12б приложения А). Для смещенных штуцеров на эллиптических днищах угол γ (см. рисунок А.13а приложения А) не должен превышать 60° . Для смещенных штуцеров на сферических и торосферических днищах угол γ	С

	не регламентируется.	
п.5.1.3	Расстояние от края штуцера до края внешней поверхности сферического неотбортованного и торосферического днища, измеряемое по проекции образующей днища на плоскость его основания (см. рисунок А.13а приложения А), должно быть не менее $e = \max(0,1(D+2s); 0,09D+s$.	С
п.5.1.4	При размещении отверстий в краевой зоне цилиндрических и конических обечаек необходим учет ограничений, указанных в 5.2.6.4.	С
п.5.1.5	В краевой зоне эллиптических и полусферических днищ допускается размещение отверстий без ограничений.	С
п.5.2.1	Расчетные диаметры укрепляемых элементов. Расчетные диаметры укрепляемых элементов вычисляют по формулам: - для цилиндрической обечайки (3); - для конической обечайки, перехода или днища (4); - для эллиптических днищ и крышек (5); - для эллиптических днищ при $H=0,25D$ - (6); - для сферических днищ, а также торосферических днищ вне зоны отбортовки (7), где R – для торосферических днищ определяют по ГОСТ 34233.2.	С
п.5.2.2	Расчетные диаметры отверстий.	
п.5.2.2.1	Расчетный диаметр отверстия в стенке цилиндрической обечайки, конического перехода или выпуклого днища при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия (см. рисунки А.1, А.2—А.5, А.8а, А.8б, А.9, А.13б, А.14 приложения А), или кругового отверстия без штуцера вычисляют по формуле (8).	С
п.5.2.2.2	Расчетный диаметр отверстия в стенке цилиндрической обечайки или конической обечайки при наличии наклонного штуцера, ось которого лежит в плоскости поперечного сечения укрепляемой обечайки (см. рисунок А.12 приложения А), вычисляют по формуле (9).	С
п.5.2.2.3	Расчетный диаметр отверстия в стенке эллиптического днища при наличии смещенного штуцера, ось которого параллельна оси днища (см. рисунок А.13а приложения А), вычисляют по формуле (10).	С
п.5.2.2.4	При наличии наклонного штуцера с круглым поперечным сечением, когда максимальная ось симметрии отверстия некруглой формы составляет угол ω со с образующей цилиндрической обечайки (см. рисунок А.11 приложения А) или с проекцией образующей конической обечайки на плоскость про дольного сечения обечайки, расчетный диаметр отверстия вычисляют по формуле (11).	С
п.5.2.2.5	Для цилиндрической и конической обечаек, когда ось наклонного штуцера (см. рисунок А.11 б приложения А) лежит в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 0$), а также для всех отверстий в сферическом и торосферическом днищах при наличии смещенного штуцера расчетный диаметр отверстия вычисляют по формуле (12).	С
п.5.2.2.6	Расчетный диаметр овального отверстия для перпендикулярно расположенного к поверхности обечайки штуцера с овальным поперечным сечением (см. рисунок А.16 приложения А) вычисляют по формуле (13). Для выпуклых днищ $\omega = 0$.	С
п.5.2.2.7	Расчетный диаметр отверстия для перпендикулярно расположенного к поверхности обечайки или днища штуцера с круглым поперечным сечением при наличии отбортовки или торообразной вставки (см. рисунки А.6 и А.7а приложения А) при условии $r \geq s_p$ вычисляют по формуле (14), если $r < s_p$, расчетный диаметр отверстия вычисляют по формуле (8).	С
п.5.2.3	Коэффициент прочности сварных соединений. Если ось стыкового сварного шва обечайки или днища удалена от наружной поверхности штуцера на расстояние более чем три толщины укрепляемого элемента $3s$, то коэффициент прочности этого сварного соединения при расчете укрепления отверстий следует принимать $\varphi = 1$. В исключительных случаях, когда сварной шов пересекает отверстие или расположен от наружной поверхности штуцера на расстоянии менее $3s$, принимают $\varphi \leq 1$ равным значению, приведенному в ГОСТ 34233.1— 2017 (приложение Д), в зависимости от типа шва и объема его контроля. Если плоскость, проходящая через продольный шов вальцованного штуцера и ось этого штуцера, образует угол φ не менее 60° с плоскостью продольного осевого сечения	С

	цилиндрической или конической обечайки (см. рисунок А.15 приложения А), то принимают φ_1 равным 1. В остальных случаях $\varphi_1 \leq 1$ в соответствии с ГОСТ 34233.1— 2017 (приложение Д).	
п.5.2.4	Расчет толщины стенок	
п.5.2.4.1	Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов определяют в соответствии с ГОСТ 34233.2. Для эллиптических днищ, работающих под внутренним избыточным давлением, расчетную толщину стенки s_p вычисляют по формуле (15).	С
п.5.2.4.2	Расчетную толщину стенки штуцера с круглым поперечным сечением, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляют по формуле (16), где коэффициент φ_1 определяют по 5.2.3. Для штуцера с овальным поперечным сечением в формуле (16) $d = d_1$.	С
п.5.2.5	Расчетные длины штуцеров. Расчетные длины внешней и внутренней частей штуцера с круглым поперечным сечением, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете (см. рисунок А.1 приложения А), вычисляют по формулам (17), (18). Для штуцера с овальным поперечным сечением (см. рисунок А. 16 приложения А) в этих формулах $d = d_2$. В случае проходящего штуцера (см. рисунки А.6, А.8, А.9, А.13 и А.14 приложения А) $s_3 = s_1$.	С
п.5.2.6	Расчетные значения ширины зоны укрепления.	
п.5.2.6.1	Ширину зоны укрепления отверстия в обечайках, переходах и днищах вычисляют по формуле (19).	С
п.5.2.6.2	Расчетную ширину зоны укрепления отверстия в стенке обечайки, перехода или днища в окрестности штуцера с отбортовкой (см. рисунок А .6 приложения А), а также при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца вычисляют по формуле (20).	С
п.5.2.6.3.	Расчетную ширину зоны укрепления отверстия в стенке обечайки, перехода или днища в окрестности штуцера при наличии торообразной вставки или вварного кольца (см. рисунок А.7 приложения А) вычисляют по формуле (21).	С
п.5.2.6.4	Расчетную ширину накладного кольца вычисляют по формуле (22).	С
п.5.2.6.5	Для отверстий, расположенных от других конструктивных элементов на расстоянии $l_k = l_0$ (см. рисунок А.14 приложения А), расчетную ширину зоны укрепления l_p и расчетную ширину накладного кольца l_{2p} определяют следующим образом: - для зоны соединения обечайки с кольцом жесткости, трубной решеткой (см. рисунок А. 14а приложения А) — по формулам (20) или (21) и (22); - для зоны соединения обечайки с плоским, коническим или выпуклым днищем, для зоны соединения конической обечайки с другой обечайкой, а также для зоны соединения обечайки и днища с фланцем или седловой опорой сосуда (см. рисунки А.14б, А.14в, А.14г приложения А) — по формулам (23).	С
п.5.2.7	Учет применения различного материального исполнения. Применение различных материалов при расчете укрепления отверстий учитывают введением параметров, зависящих от отношения допускаемых напряжений: - для внешней части штуцера $\chi_1 = \min \left\{ 1; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\}$; - для накладного кольца $\chi_2 = \min \left\{ 1; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\}$ - для внутренней части штуцера $\chi_3 = \min \left\{ 1; \frac{[\sigma]_3}{[\sigma]} \right\}$ - для торообразной вставки или вварного кольца $\chi_4 = \min \left\{ 1; \frac{[\sigma]_4}{[\sigma]} \right\}$; в случае использования других способов укрепления $\chi_4 = 1$.	С
п.5.2.8	Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера. Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления в стенке цилиндрической обечайки, конического перехода или выпуклого днища при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера, вычисляют по формуле (24).	С
п.5.3	Одиночные отверстия в сосудах и аппаратах.	С

	Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда минимальное расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров (см. рисунки А.8 и А.9 приложения А) удовлетворяет условию (25).	
п.5.3.1	Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда.	
п.5.3.1.1	Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, вычисляют по формулам (26)-(29).	С
п.5.3.1.2	Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию $d_p \leq d_0$ (30), и на узел врезки не действуют никакие нагрузки, кроме давления, то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется. В случае невыполнения условия (30), а также если отверстие нельзя рассматривать как одиночное или если необходимо учитывать другие нагрузки, кроме давления, то расчет укрепления отверстий проводят в соответствии с 5.3.2, 5.3.3, 5.4, 6.1.1— 6.1.5 и 6.2.1— 6.2.5.	С
п.5.3.2	Укрепление одиночных отверстий в сосудах и аппаратах, нагруженных внутренним избыточным давлением	С
п.5.3.2.1	Допускаемое внутреннее избыточное давление элемента сосуда с учетом ослабления стенки отверстием вычисляют по формуле (31). Коэффициент снижения прочности стенки сосуда, ослабленной одиночным отверстием, вычисляют по формуле (32). Для овального штуцера в этой формуле $d = d_1$.	С
п.5.3.2.2	При отсутствии сварного кольца или торообразной вставки в формуле (32) следует принимать $s_0 = s$, $\chi_4 = 1$. При отсутствии накладного кольца и укреплении отверстия штуцером расчет следует проводить по формуле (32), в которой $s_2 = 0$, $s_0 = s$, $\chi_4 = 1$. При отсутствии штуцера и укреплении отверстия накладным кольцом расчет следует проводить по формуле (32), в которой $l_{1p} = l_{3p} = 0$, $s_0 = s$, $\chi_4 = 1$, при этом исполнительную ширину накладного кольца отсчитывают от края отверстия.	С
п.5.3.3	Укрепление одиночных отверстий в сосудах и аппаратах, нагруженных наружным давлением. Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (33).	С
п.5.3.4	Условие укрепления одиночных отверстий.	
п.5.3.4.2	Площадь сечений укрепляющих элементов при укреплении штуцером равна сумме площадей поперечных сечений внешней и внутренней (пропущенной) части штуцера (см. рисунок А.1 приложения А). При этом должно выполняться условие (34). Здесь площади A_1 и A_3 , определяются без учета прибавок c , c_s и расчетных толщин стенок штуцера s_{1p} и сосуда s_p . Длины штуцера, учитываемые при определении площадей A_1 и A_3 , вычисляют следующим образом: l_{1p} — по формуле (17), l_{3p} — по формуле (18). Если по конструктивным соображениям выполнение условия (34) невозможно, то для укрепления отверстия используют накладные кольца, отбортовки или местные утолщения стенки обечаек или днищ. При увеличении толщины стенки укрепляемого элемента изменяется d_{0p} и уменьшается площадь вырезанного сечения, подлежащего компенсации.	С
п.5.3.4.3	В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера, или накладным кольцом, или сварным кольцом, или торообразной вставкой, или отбортовкой расчет проводят по формуле (35). При отсутствии сварного кольца или торообразной вставки в формуле (35) следует принимать $\chi_4 = 1$.	С
п.5.4.1.1	Расчет по 5.4 не применим, если одно из взаимовлияющих отверстий выполнено в соответствии с рисунком А.7 приложения А.	С
п.5.4.1.2	В случае невыполнения условия (25) расчет взаимовлияющих отверстий (см. рисунки А.8—А.10 приложения А) проводят следующим образом: вначале рассчитывают укрепления для каждого из этих отверстий отдельно в соответствии с 5.3, затем проверяют достаточность укрепления перемычки между отверстиями, для чего вычисляют допускаемое давление для	С

	<p>перемычки по формулам (37), (38).</p> <p>При совместном укреплении двух взаимовлияющих отверстий общим накладным кольцом (см. рисунок А.9 приложения А) коэффициент понижения прочности вычисляют по формуле (39).</p> <p>Для овального штуцера в формулах (38) и (39) $d' = d'_1$ и $d'' = d''_1$.</p>	
п.5.4.1.4	<p>Коэффициент K_2 в формулах (38) и (39) вычисляют по формуле (40), где коэффициент K_3 для цилиндрических и конических обечаек вычисляют по формуле (41), угол β определяется в соответствии с рисунком А.10а приложения А.</p> <p>Для выпуклых днищ $K_3 = 1$.</p>	С
п.5.4.1.5	<p>Если ось сварного шва обечайки или днища удалена от наружных поверхностей обоих штуцеров более чем на три толщины стенки укрепляемого элемента ($3s$) и не пересекает перемычку, то коэффициент прочности этого сварного шва в формулах (37), (38), (39) и (40) следует принимать $\varphi = 1$. В остальных случаях $\varphi \leq 1$ в соответствии с ГОСТ 34233.1—2017 (приложение Д). Коэффициенты прочности продольных сварных швов штуцеров φ'_1 и φ''_1 равны 1, если центральные углы ψ' и ψ'' между плоскостями продольных сечений штуцеров, проходящих через эти сварные швы, и линией, соединяющей центры отверстий (см. рисунок А.15 приложения А), составляют не менее 60°. В остальных случаях $\varphi'_1 \leq 1$ и $\varphi''_1 \leq 1$ в соответствии с ГОСТ 34233.1—2017 (приложение Д).</p>	С
п.5.4.2	<p>Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (33), где определяется аналогично по 5.4.1 для каждого отверстия в отдельности и для перемычки, а затем из полученных значений принимается меньшее.</p> <p>Для обечаек или днищ с кольцами жесткости расчет проводят отдельно для каждого участка с отверстиями между соседними кольцами.</p>	С
п.6.1	Цилиндрические обечайки под локальным воздействием, вызванным внешними статическими нагрузками на штуцер.	
п.6.1.1	Условия применения расчетных формул.	
п.6.1.1.1	Расчетная схема приведена на рисунке Б.1а приложения Б.	С
п.6.1.1.2	Метод расчета применим для сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением.	С
п.6.1.1.3	<p>Расчетные формулы применимы при выполнении следующих условий:</p> <p>а) условие тонкостенности цилиндрической обечайки: $0,001 \leq (s - c)/D_c \leq 0,1$, где $D_c = D + s$;</p> <p>б) ограничение значения геометрического параметра: $\lambda_c = \frac{d_0}{\sqrt{D_c s_3}} \leq 10$, где s_3 — эквивалентная толщина обечайки с накладным кольцом;</p> <p>в) расстояние до любого другого штуцера, нагруженного внешней локальной нагрузкой в любом направлении, должно быть не менее $\sqrt{\frac{D_c}{2}} s_3$.</p> <p>г) исполнительная толщина штуцера s_1 должна сохраняться на длине не менее $\sqrt{d_c}(s_1 - c_s)$.</p>	С
п.6.1.2	<p>Определение эквивалентной толщины стенки обечайки около штуцера</p> <p>Эквивалентную толщину стенки обечайки около штуцера, то есть в месте его врезки, вычисляют по формулам:</p> <p>а) если накладное кольцо не предусмотрено, то $s_3 = s - c$;</p> <p>б) если установлено накладное кольцо, то</p> <p>при $l_2 \geq \sqrt{\frac{D_c}{2}}(s + s_2 - c)$ $s_3 = s + s_2 \chi_2 - c$</p> <p>при $l_2 < \sqrt{\frac{D_c}{2}}(s + s_2 - c)$ $s_3 = s + \min \left\{ s_2 \frac{l_2}{\sqrt{\frac{D_c}{2}}(s + s_2 - c)}; s_2 \right\} \chi_2 - c$</p>	С
п.6.1.3	Определение допускаемых нагрузок.	
п.6.1.3.1	Допускаемые значения давления, осевой нагрузки и изгибающих моментов на узлы врезки штуцера определяют независимо друг от друга.	С
п.6.1.3.2	Допускаемое давление для одиночного отверстия определяют по 5.3.2.	С
п.6.1.3.3	Для вычислений допускаемых нагрузок определяют вспомогательные параметры C_1 , C_2 , C_3 , зависящие от геометрического параметра $\lambda_c = \frac{d_0}{\sqrt{D_c s_3}}$ и от коэффициентов $a_0 \div a_4$, приведенных в таблице 2.	С

п.6.1.3.4	Допускаемое осевое усилие на штуцер $[F_z]$ из условия прочности обечайки при отсутствии накладного кольца вычисляют по формуле (43), где C_1 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.2 приложения Б, или вычисляют по формуле (44), где параметр λ_c определяют при $s_3 = s - c$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2.	С
п.6.1.3.5	Допускаемое осевое усилие на штуцер $[F_z]$ из условия прочности обечайки при наличии накладного кольца и при условии $\frac{s_1-c_s}{s_3} \geq 0,5$ определяют по формуле (45); Допускаемое осевое усилие $[F_{z1}]$ из условия прочности обечайки в месте пересечения штуцера с обечайкой вычисляют по формуле (46), где C_1 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.2 приложения Б, или вычисляют по формуле (44), где параметр λ_c определяют при s_3 , вычисляемой по 6.1.2, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2. Допускаемое осевое усилие $[F_{z2}]$ из условия прочности обечайки у внешней кромки накладного кольца вычисляют по формуле (47), где C_1 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.2 приложения Б, или вычисляют по формуле (44), где параметр λ_c определяют при $s_3 = (s - c)$ и $d_c = D_2$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2.	С
п.6.1.3.6	Допускаемый изгибающий момент $[M_x]$, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной оси сосуда, при отсутствии накладного кольца вычисляют по формуле (48), где C_2 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.3 приложения Б, или вычисляют по формуле (49), где параметр λ_c определяют при $s_3 = (s - c)$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2.	С
п.6.1.3.7	Допускаемый изгибающий момент $[M_x]$ при наличии накладного кольца и при условии $\frac{s_1-c_s}{s_3} \geq 0,5$ вычисляют по формуле (50). Допускаемый изгибающий момент $[M_{x1}]$ из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой вычисляют по формуле (51), где C_2 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.3 приложения Б, или вычисляют по формуле (49), где параметр λ_c определяют при s_3 , вычисляемой по 6.1.2, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2. Допускаемый изгибающий момент $[M_{x2}]$ из условия прочности у внешней кромки накладного кольца вычисляют по формуле (52), где C_2 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.3 приложения Б, или вычисляют по формуле (49), где параметр λ_c определяют при $s_3 = (s - c)$ и $d_c = D_2$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2.	С
п.6.1.3.8	Допускаемый изгибающий момент $[M_y]$, действующий на штуцер в плоскости, совпадающей с осью сосуда, при отсутствии накладного кольца вычисляют по формуле (53), где C_3 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.4 приложения Б, или вычисляют по формуле (54), где параметр λ_c определяют при $s_3 = (s - c)$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2. Если отношение $\frac{s_1-c_s}{s_3}$ находится между 0,2 и 0,5, то коэффициент C_3 определяют с помощью линейной интерполяции.	С
п.6.1.3.9	Допускаемый изгибающий момент $[M_y]$, при наличии накладного кольца, определяется по формуле (55). Допускаемый изгибающий момент $[M_{y1}]$ из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой вычисляют по формуле (56), где C_3 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.4 приложения Б, или вычисляют по формуле (54), где параметр λ_c определяют при s_3 , вычисляемой по 6.1.2, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2. Допускаемый изгибающий момент $[M_{y2}]$ из условия прочности у внешней	С

	кромки накладного кольца вычисляют по формуле (57), где C_3 определяют в зависимости от λ_c по графику, приведенному на рисунке Б.4 приложения Б, или вычисляют по формуле (54), где параметр λ_c определяют при $s_3 = (s - c)$ и $d_c = D_2$, коэффициенты $a_0 \div a_4$ принимают по соответствующей строке таблицы 2.	
п.6.1.4	Совместное действие нагрузок. Предварительно проверяют выполнение условий прочности для каждой нагрузки в отдельности по формулам (58), (59), (60). Кроме того, определяют выполнение условий прочности при совместном действии нагрузок по формуле (61). Если нагрузка определена с учетом стесненности температурных деформаций, то коэффициент C_4 равен 1,1. В остальных случаях $C_4 = 1$. Отношение нагрузок Φ_z определяют с учетом направления осевой силы. Если осевая сила является растягивающей (направлена наружу от поверхности стенки сосуда или аппарата), то в формуле (61) Φ_z следует принимать со знаком плюс. Если осевая сила является сжимающей (направлена в противоположном направлении), то в формуле (61) Φ_z следует принимать со знаком минус.	С
п.6.1.5	Проверка прочности штуцера Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере должны удовлетворять условию (62). Если осевая сила F_z создает сжимающее напряжение, то в формуле (62) F_z следует принять равной нулю. Кроме расчета на прочность проводят расчет на устойчивость штуцера по формуле (63), где $[M]$ и $[F]$ — допускаемый изгибающий момент и допускаемая сжимающая осевая сила соответственно, определяемые по ГОСТ 34233.2 для обечайки штуцера. Если осевая сила F_z создает растягивающее напряжение (направлена наружу от поверхности стенки сосуда или аппарата), то в формуле (63) F_z следует принимать равной нулю.	С
п.6.1.6	Определение максимальных расчетных напряжений.	С
п.6.1.6.1	С целью проверки прочности узла врезки штуцера при действии повторно-статических нагрузок дополнительно к 6.1.1— 6.1.5 определяют расчетные напряжения в месте пересечения цилиндрической обечайки со штуцером. Рассматривают штуцер с круглым поперечным сечением, нормально расположенный к поверхности, под действием внутреннего избыточного давления, внешних нагрузок на штуцер и нагружений, вызванных стесненностью температурных деформаций.	С
п.6.1.6.2	Максимальное расчетное напряжение от внутреннего давления p вычисляют по формуле (64).	С
п.6.1.6.3	Максимальное расчетное напряжение от осевой силы F_z вычисляют по формуле (65).	С
п.6.1.6.4	Максимальное расчетное напряжение от изгибающего момента M_x вычисляют по формуле (66), где параметр C_2 определяют по графику, приведенному на рисунке Б.3 приложения Б, или вычисляют по формуле (49).	С
п.6.1.6.5.	Максимальное расчетное напряжение от изгибающего момента M_y вычисляют по формулам (67), где параметр C_3 определяют по графику, приведенному на рисунке Б.4 приложения Б, или вычисляют по формуле (54).	С
п.6.1.6.6	При наличии нагружения, вызванного стесненностью температурных деформаций в месте пересечения цилиндрической обечайки со штуцером, следует определять температурные напряжения σ_T специальными методами расчета.	С
п.6.1.7	Условия прочности при совместном действии нагрузок. Для пластичного в условиях эксплуатации материала условия прочности выполняются, если выполнено условие (68). Если осевая сила F_z является растягивающей (направлена наружу от поверхности стенки сосуда или аппарата), то в формуле (68) σ_F следует принимать со знаком плюс. Если осевая сила F_z является сжимающей (направлена в противоположном направлении), то в формуле (68) σ_F следует принимать со знаком минус. Если материал не обладает достаточной пластичностью, то допускаемое напряжение определяют на основании специальных исследований.	С
п.6.1.8	Условия прочности при малоцикловой нагрузке. Условия прочности при циклическом нагружении давлением, внешними и температурными нагрузками проверяют по ГОСТ 34233.6. Для нагрузки	С

	каждого вида вычисляют размахи напряжений $\Delta\sigma_p, \Delta\sigma_F, \Delta\sigma_{Mx}, \Delta\sigma_{My}, \Delta\sigma_T$. По размахам напряжений определяют амплитуду напряжений σ_a и проверяют условие прочности по допускаемым амплитудам напряжений, определяемым по ГОСТ 34233.6 для заданного числа циклов нагружений.	
п.6.2	Выпуклые днища под локальным воздействием, вызванным внешними статическими нагрузками на штуцер.	
п.6.2.1	Условия применения расчетных формул.	
п.6.2.1.1	Расчетная схема приведена на рисунке. Б.16 приложения Б.	С
п.6.2.1.2	Метод расчета применим для сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением.	С
п.6.2.1.3	Метод расчета применим при расположении штуцеров внутри центральной части выпуклого днища, ограниченной 0,4 наружного диаметра днища (см. рисунок Б.16 приложения Б), где l_s - расстояние от центральной оси выпуклого днища до наиболее удаленной точки кромки отверстия).	С
п.6.2.1.4	Радиус кривизны срединной поверхности днища R_c принимается равным радиусу в вершине выпуклого днища.	С
п.6.2.1.5	<p>Формулы применимы при выполнении следующих условий:</p> <p>а) условия тонкостенности выпуклого днища: $0,001 \leq (s - c)/R_c \leq 0,1$, где $R_c = R + \frac{s}{2}$; допускается применять методику при $(s - c)/R_c < 0,001$, если отклонение формы поверхности днища от идеальной сферической формы не превышает половины толщины его стенки;</p> <p>б) ограничение значения геометрического параметра $\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c s_3}} \leq 10$, где s_3 — эквивалентная толщина днища с накладным кольцом;</p> <p>в) расстояние до любого другого штуцера, нагруженного внешней локальной нагрузкой в любом направлении, должно быть не менее $\sqrt{R_c s_3}$;</p> <p>г) штуцер расположен перпендикулярно поверхности выпуклого днища (в пределах позиционного отклонения оси штуцера от перпендикуляра к поверхности днища в радиусном измерении не более 10 мм);</p> <p>д) исполнительная толщина штуцера s_1 должна сохраняться на длине не менее $\sqrt{d_c (s_1 - c_s)}$.</p>	С
п.6.2.2	<p>Определение эквивалентной толщины стенки выпуклого днища около штуцера</p> <p>Эквивалентную толщину стенки днища около штуцера, то есть в месте его врезки, вычисляют по формулам:</p> <p>а) если накладное кольцо не предусмотрено, то $s_3 = (s - c)$;</p> <p>б) если установлено накладное кольцо, то</p> <p>при $l_2 \geq \sqrt{R_c (s + s_2 - c)}$ $s_3 = s + s_2 \chi_2 - c$</p> <p>при $l_2 < \sqrt{R_c (s + s_2 - c)}$ $s_3 = s + \min \left\{ s_2 \frac{l_2}{\sqrt{R_c (s + s_2 - c)}}; s_2 \right\} \chi_2 - c$</p>	С
п.6.2.3	Определение допускаемых нагрузок	
п.6.2.3.1	<p>Допускаемые значения давления, осевой нагрузки и изгибающих моментов определяют независимо друг от друга.</p> <p>Для оценки прочности узла врезки штуцера при совместном действии нагрузок используют выпуклую поверхность предельного состояния.</p>	С
п.6.2.3.2	Допускаемое давление для одиночного отверстия определяют по 5.3.3.	С
п.6.2.3.3	<p>Вспомогательные параметры</p> $\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{D_c s_3}}; K_4 = \min \left(\frac{2[\sigma]_1 (s_1 - c_s)}{[\sigma] s_3} \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}, 1 \right)$	С
п.6.2.3.4	Допускаемое осевое усилие на штуцер $[F_2]$ при отсутствии накладного кольца определяют по графику, приведенному на рисунке Б.5 приложения Б, или вычисляют по формуле (69), где λ_s и K_4 вычисляют при $s_3 = (s - c)$.	С
п.6.2.3.5	<p>Допускаемое осевое усилие на штуцер $[F_2]$ при наличии накладного кольца определяют по формуле (70), где допускаемое осевое усилие $[F_{21}]$ из условия прочности в месте пересечения штуцера с днищем определяют по графику, приведенному на рисунке Б.5 приложения Б, или вычисляют по формуле (71), где λ_s и K_4 вычисляют при s_3, определяемой по 6.2.2.</p> <p>Допускаемое осевое усилие из условия прочности у внешней кромки накладного кольца вычисляют по формуле (72), где λ_s вычисляют при $s_3 = (s - c)$ и $d_c = D_2$, а параметр $K_4 = 1$.</p>	С

п.6.2.3.6	Допускаемый изгибающий момент $[M_b]$ при отсутствии накладного кольца определяют по графику, приведенному на рисунке Б.6 приложения Б, или вычисляют по формуле (73), где λ_s и K_4 вычисляют при $s_3 = (s - c)$.	С
п.6.2.3.7	Допускаемый изгибающий момент $[M_b]$ при наличии накладного кольца вычисляют по формуле (74), где $[M_{b1}]$ — опускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с днищем определяют по графику, приведенному на рисунке Б.6 приложения Б, или вычисляют по формуле (75), где λ_s и K_4 вычисляют при s_3 , определяемой по 6.2.2. Допускаемый изгибающий момент $[M_{b2}]$ из условия прочности у внешней кромки накладного кольца определяют по графику, приведенному на рисунке Б.6 приложения Б, или вычисляют по формуле (76), где λ_s вычисляют при $s_3 = (s - c)$ и $d_c = D_2$, а параметр $K_4 = 1$.	С
п.6.2.4	Совместное действие нагрузок Предварительно проверяют условие прочности для каждой нагрузки в отдельности: условия (77), (78), (79). Кроме того, определяют выполнение условий прочности (80) при совместном действии нагрузок. Параметр Φ_z определяют с учетом направления осевой силы. Если осевая сила направлена наружу от поверхности днища, то в формуле (80) Φ_z следует принимать со знаком плюс. Если осевая сила направлена в противоположном направлении, то в формуле (80) Φ_z следует принимать со знаком минус.	С
п.6.2.5	Проверка прочности штуцера Максимальные расчетные продольные растягивающие напряжения в штуцере должны удовлетворять условию (81). Если осевая сила F_z создает сжимающее напряжение, то в формуле (81) F_z следует принять равной нулю. Устойчивость штуцера должна быть проверена по формуле (82). Если осевая сила F_z создает растягивающее напряжение, то в формуле (82) F_z следует принять равной нулю. Допускаемый изгибающий момент $[M]$ и допускаемую сжимающую осевую силу $[F]$ для обечайки штуцера определяют по ГОСТ 34233.2.	С
п.6.2.6	Определение максимальных расчетных напряжений.	
п.6.2.6.1	С целью проверки прочности узла врезки штуцера при действии повторно-статических нагрузок дополнительно к 6.2.1— 6.2.5 определяют расчетные напряжения в месте пересечения выпуклого днища со штуцером. Рассматривается штуцер с круглым поперечным сечением, нормально расположенный к поверхности, при нагружении внутренним избыточным давлением, внешними нагрузками на штуцер и напряжениями, вызванными стесненностью температурных деформаций.	С
п.6.2.6.2	Максимальное расчетное напряжение в месте пересечения выпуклого днища со штуцером от внутреннего давления вычисляют по формуле (83), где α_p — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным приложения Б.	С
п.6.2.6.3	Максимальное расчетное напряжение от осевой силы вычисляют по формуле (84), где α_z — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным на рисунках Б.9 и Б.10 приложения Б.	С
п.6.2.6.4	Максимальное расчетное напряжение от изгибающего момента вычисляют по формуле (85), где α_M — коэффициент концентрации, определяемый по графикам, приведенным на рисунках Б.11 и Б.12 приложения Б.	С
п.6.2.6.5	При наличии нагружения, вызванного стесненностью температурных деформаций в месте пересечения выпуклого днища со штуцером, следует определять температурные напряжения σ_T специальными методами расчета.	С
п.6.2.7	Условия прочности при совместном действии нагрузок. Для пластичных в условиях эксплуатации материалов условия прочности выполняются, если в месте пересечения выпуклого днища со штуцером справедливо неравенство (86). Если материал не обладает достаточной пластичностью, то допускаемое напряжение определяют на основании специальных исследований.	С
п.6.2.8	Условия прочности при циклическом нагружении давлением, внешними и температурными нагрузками проверяют по ГОСТ 34233.6. Для нагрузки каждого вида вычисляют размахи напряжений $\Delta\sigma_p$, $\Delta\sigma_F$, $\Delta\sigma_M$,	С

	$\Delta\sigma_T$. По размахам напряжений определяют амплитуду напряжений σ_a и проверяют условие прочности по допускаемым амплитудам напряжений, определяемым по ГОСТ 34233.6 для заданного числа циклов нагружения.	
Приложение А	Рисунки к разделу 5.	С
Приложение Б	Рисунки и графики к разделу 6.	С

ГОСТ 34233.4- 2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.	
п.4.1	Основные типы фланцевых соединений, рассматриваемых в настоящем стандарте, приведены на рисунках 1-3. На рисунке 1 приведены примеры фланцевых соединений с приварными встык фланцами, на рисунке 2 - с плоскими приварными фланцами, на рисунке 3 - со свободными фланцами. Настоящий стандарт позволяет также рассчитывать фланцевые соединения смешанных типов: приварные встык — с плоскими, плоские — со свободными фланцами и т. д., соединения фланца с плоской или неотбортованной сферической крышкой, а также фланцевые соединения с зажатыми между фланцами трубными решетками или другими закладными деталями.	С
п.4.2	Настоящий метод расчета распространяется на фланцевые соединения, отвечающие условиям, приведенным в 4.2.1 и 4.2.2.	С
п.4.2.1	Уклон втулки приварного встык фланца не должен превышать 1:1 (1,0).	С
п.4.2.2	Соотношения геометрических параметров фланцев должны лежать в пределах графиков, приведенных на рисунках К.1-К.4 приложения К. Если соотношения геометрических параметров фланцев выходят за пределы графиков, приведенных на рисунках К.1-К.4 приложения К, следует использовать для расчета фланцев и/или для определения соответствующих коэффициентов численное моделирование или иные специальные методы расчета.	С
п.4.3	При расчете фланцевых соединений учитывают следующие виды нагрузок: - усилие затяжки болтов (шпилек); - внутреннее или наружное давление; - внешняя осевая сила; - внешний изгибающий момент; - усилия, вызванные стесненностью температурных деформаций элементов фланцевых соединений, включая фланцы, болты (шпильки) и зажатую между фланцами трубную решетку или закладную деталь. Если между фланцами зажата трубная решетка или закладная деталь, давления по обе стороны которой отличаются друг от друга, в расчете фланцевого соединения следует учитывать давление, действующее на каждый из фланцев в отдельности, и общее для двух фланцев усилие в болтах (шпильках). Если в качестве ответного фланца используют краевую часть трубной решетки кожухотрубчатого теплообменного аппарата, то при определении нагрузок, действующих на элементы фланцевого соединения, и углов поворотов фланцев следует учитывать деформации кожуха, трубного пучка и решетки в соответствии с ГОСТ 34233.7.	С
п.4.4	Если внешняя осевая сила F включает составляющую от давления, то в расчетные формулы следует вместо F подставлять $(F - Q_d)$. Фланцевые соединения должны отвечать условиям прочности и плотности как в случае учета внешней осевой силы и изгибающего момента, так и при расчете только на действие давления. Рекомендации по выбору нормализованных фланцевых соединений, нагруженных давлением, осевой силой и изгибающим моментом, приведены в приложении Б.	С
п.4.5	Если аппарат работает при нескольких различных режимах, расчет должен быть выполнен на условия, обеспечивающие прочность и герметичность фланцевых соединений при всех режимах.	С
п.4.6	Расчетные температуры элементов фланцевого соединения, необходимые для определения физико-механических характеристик материалов и допускаемых напряжений, а также при расчете на прочность с учетом стесненности температурных деформаций, определяют на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний в соответствии с ГОСТ 34233.1-2017 (раздел 5).	С

п.4.7	<p>Если свободное температурное расширение в осевом направлении элементов фланцевого соединения, находящихся между опорными поверхностями гаек (головки болта и гайки), превышает свободное температурное перемещение болтов (шпилек), расчет фланцев и болтов (шпилек) с учетом усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций элементов фланцевых соединений, допускается не проводить в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - если расчетная температура элементов фланцевого соединения не превышает 120°C; - если свободное температурное расширение в осевом направлении элементов фланцевого соединения, находящихся между опорными поверхностями гаек (головки болта и гайки), включая фланцы, шайбы и зажатую между фланцами трубную решетку или закладную деталь, превышает свободное температурное перемещение болтов (шпилек) не более чем на 10%. 	С
4.8	<p>Если необходимо учесть усилия, вызванные стесненностью температурных деформаций элементов фланцевого соединения, следует выполнить два расчета: расчет без учета усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций элементов фланцевых соединений, и с их учетом, используя в каждом случае соответствующие значения допускаемых напряжений. При этом в каждом случае должна быть обеспечена прочность и герметичность всех элементов фланцевого соединения.</p>	С
4.9	<p>Необходимость выполнения расчета фланцевого соединения на малоцикловую усталость определяется в соответствии с ГОСТ 34233.6 в зависимости от расчетного числа сборок-разборок и циклов нагружения давлением или теплосмен.</p>	С
4.10	<p>Расчет фланцевого соединения для условий испытаний проводят так же, как для рабочих условий. При этом допускаемые напряжения для условий испытания принимаются в соответствии с ГОСТ 34233.1—2017 и приложением Г. Расчет фланцевого соединения для условий испытания проводить не требуется, если выполняется соответствующее условие, приведенное в ГОСТ 34233.1—2017 (пункт 8.4).</p>	С
4.11	<p>Расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность состоит из следующих этапов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определение усилия, действующего на прокладку в рабочих условиях, необходимого для обеспечения герметичности фланцевого соединения, и усилия, необходимого для первоначального сжатия прокладки; - определение усилия в болтах (шпильках) в рабочих условиях и усилия при затяжке, необходимого для обеспечения герметичности фланцевого соединения в рабочих условиях; - проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки; - расчет на прочность элементов фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях при действии давления, усилий в болтах (шпильках), необходимых для обеспечения герметичности фланцевого соединения, и других нагрузок; - проверка углов поворота фланцев; - расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость в случае, если нагружение носит циклический характер. 	С
п.4.12	<p>Если для учета воздействия на фланец коррозионно-активной среды назначается прибавка к расчетной толщине для компенсации коррозии, следует при определении податливости фланцев и усилий, действующих на элементы фланцевого соединения, использовать номинальные размеры фланца без вычета прибавки на коррозию. При определении напряжений во фланцах следует во всех случаях использовать расчетные толщины за вычетом прибавки на коррозию в соответствии с ГОСТ 34233.1-2017 (пункт 12.1).</p>	С
п.5	<p>Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения.</p>	
п.5.1	<p>Эффективную ширину прокладки вычисляют по формулам:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для плоских прокладок: (2), (3); - для прокладок овального или восьмигранного сечения (4). <p>Расчетный диаметр плоских прокладок вычисляют по формуле (5). Расчетный диаметр прокладок овального или восьмигранного сечения равен</p>	С

	среднему диаметру прокладки.	
п.5.2	Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, вычисляют по формуле (6).	С
п.5.3	Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, вычисляют по формуле (7), где прокладочный коэффициент m определяют по таблице И.1 приложения И. В случае расчета на действие наружного давления принимают $R_n = 0$.	С
п.6	Усилия в болтах (шпильках) фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях.	
п.6.1	Суммарную площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра вычисляют по формуле (8). Площади поперечных сечений болтов (шпилек) приведены в приложении Д.	С
п.6.2	Равнодействующую нагрузку от давления вычисляют по формуле (9).	С
п.6.3	Приведенную нагрузку, вызванную воздействием внешней силы и изгибающего момента, вычисляют по формуле (10).	С
6.4	Нагрузку, вызванную стесненностью температурных деформаций, вычисляют по формулам: - в соединениях с приварными встык (см. рисунок 1) и плоскими (см. рисунок 2) фланцами – (11); - в соединениях со свободными фланцами (см. рисунок 3) – (12); - в соединении с крышкой – (13); - в случае, если между фланцами зажата трубная решетка или иная закладная деталь – (14). Коэффициент жесткости фланцевого соединения α определяют в соответствии с приложением Е. Физические и механические свойства крепежных деталей приведены в приложении Ж.	С
6.5	Расчетную нагрузку на болты (шпильки) фланцевых соединений при затяжке вычисляют по формуле (15), где R_{B1} — расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения – формула (16). Коэффициенты α и α_M определяют по приложению Е. R_{B2} — расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек) – формула (17). Если определенная по формуле (15) расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевого соединения, необходимая для обеспечения минимального начального натяжения болтов (шпилек), приводит к увеличению толщин фланцев, допускается при использовании затяжки с контролем по крутящему моменту или затяжки с помощью одномоментной контролируемой вытяжки шпилек принимать пониженное значение номинального допускаемого напряжения для болтов (шпилек) при затяжке и испытании при температуре 20 °С, но не менее $2,5(P_{обж}/A_b)$. При этом должны быть выполнены все требования по прочности и герметичности в соответствии с настоящим стандартом. Необходимое значение крутящего момента или предварительной вытяжки шпилек, определенное с учетом принятого пониженного значения номинального допускаемого напряжения для болтов (шпилек), должно быть указано на чертеже и в руководстве по монтажу и эксплуатации.	С
п.6.6	Расчетную нагрузку на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях вычисляют по формуле (18).	С
п.7	Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.	
п.7.1	Расчетные напряжения в болтах (шпильках) фланцевых соединений Расчетные напряжения в болтах (шпильках) вычисляют по формулам: - при затяжке (19); - в рабочих условиях (20).	С
п.7.2	Условия прочности болтов (шпилек) фланцевых соединений Условия прочности болтов (шпилек) определяют по формулам: - при затяжке (21); - в рабочих условиях (22). Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке $[\sigma]_M^b$ и в рабочих	С

	условиях $[\sigma]_p^g$ определяют по приложению Г.	
п.7.3	Условие прочности прокладки Условие прочности прокладки проверяют для мягких прокладок и определяют по формуле (23). Допускаемое удельное давление $[q]$ определяют по приложению И.	С
п.8	Расчет фланцев на статическую прочность.	
п.8.1	Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке, вычисляют по формулам: - для приварного встык фланца, плоского фланца и бурта свободного фланца (24); - для кольца свободного фланца (25).	С
п.8.2	Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, вычисляют по формулам: - для приварного встык фланца, плоского фланца и бурта свободного фланца (26); - для кольца свободного фланца (27). Коэффициент C_F определяют по приложению К.	С
п.8.3	Расчетные напряжения во фланце при затяжке.	
п.8.3.1	Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке (трубе) плоского фланца или обечайке бурта свободного фланца вычисляют по формулам: - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 – (28); - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 – (29); - для приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и свободных фланцев – (30). λ , D^* и f определяют по приложению К.	С
п.8.3.2	Напряжения в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки вычисляют по формулам: - радиальное напряжение – (31); - окружное напряжение – (32). λ , l_0 , β_F , β_Y и β_Z определяют по приложению К.	С
п.8.3.3	Окружное напряжение в кольце свободного фланца в условиях затяжки вычисляют по формуле (33). Коэффициент β_Y определяют по приложению К.	С
п.8.4	Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях.	
п.8.4.1	Меридиональные изгибные напряжения во втулке приварного встык фланца, обечайке (трубе) плоского фланца или обечайке (трубе) бурта свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формулам: - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 – (34); - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 – (35); - для приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и фланцев со свободными кольцами – (36). λ , D^* и f определяют по приложению К.	С
п.8.4.2	Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца, обечайке (трубе) плоского фланца или обечайке (трубе) бурта свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формулам: - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 – (37); - для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 , приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и свободных фланцев – (38).	С
п.8.4.3	Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, обечайке (трубе) плоского фланца или обечайке (трубе) бурта свободного фланца в сечении S_0 , вычисляют по формуле (39).	С
п.8.4.4	Напряжения в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формулам: - радиальное напряжение – (40); - окружное напряжение – (41). λ , l_0 , β_F , β_Y и β_Z определяют по приложению К.	С
п.8.4.5	Окружное напряжение в кольце свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формуле (42).	С

	Коэффициент β_Y определяют по приложению К.	
п.8.5	Условия статической прочности фланцев.	
п.8.5.1	Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_1 условия статической прочности вычисляют по формулам: - при затяжке – (43); - в рабочих условиях – (44), где $K_t = 1,3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_t = 1$. $K_s = 1$ при $K_s < 1,4$, $K_s = 1,2$ при $K_s > 2$, для промежуточных значений при $1,4 < K < 2$ значение K_s определяют с помощью линейной интерполяции.	С
п.8.5.2	Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении S_0 условия статической прочности определяют по формулам: - при затяжке – (45); - в рабочих условиях – (46)	С
п.8.5.3	Для приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и буртов свободных фланцев в сечении S_0 условия статической прочности вычисляют по формулам: - при затяжке – (47); - в рабочих условиях – (48), Где $[\sigma]_0 = [\sigma]_M$ — допускаемое значение условных упругих напряжений в сечении S_0 . Для плоских фланцев при $D > 400$ мм допускается принимать $[\sigma]_0 = \frac{1}{K_T} [\sigma]_R$. Значения коэффициентов K_t и K_s определяют по 8.5.1.	С
п.8.5.4	Проверку приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и буртов свободных фланцев в сечении S_0 по 8.5.3 допускается не проводить, если выполняются следующие условия: (49), (50), (51), (52).	С
п.8.5.5	Для фланцев всех типов в сечении S_0 должно выполняться условие (53).	С
п.8.5.6	Для тарелок приварных встык фланцев, плоских фланцев и должны выполняться следующие условия: - при затяжке (54); - в рабочих условиях (55). K_t определяют по 8.5.1.	С
п.8.5.7	Для колец свободных фланцев условия статической прочности определяют по формулам: - при затяжке (56); - в рабочих условиях (57). K_t определяют по 8.5.1.	С
п.9	Проверка углов поворота фланцев.	
п.9.1	Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формуле (58). Допустимый угол поворота приварного встык фланца: $[\Theta] = 0,006$ при $D < 400$ мм, $[\Theta] = 0,013$ при $D > 2000$ мм. При значениях $400 \text{ мм} < D < 2000$ мм допустимый угол поворота $[\Theta]$ определяют с помощью линейной интерполяции. Допустимый угол поворота плоского фланца или бурта свободного фланца $[\Theta] = 0,013$. Коэффициент $K_\Theta = 1$ — в рабочих условиях; $K_\Theta = 1,3$ — в условиях испытания.	С
п.9.2	Угол поворота кольца свободного фланца в рабочих условиях вычисляют по формуле (59). Допустимый угол поворота кольца свободного фланца $[\Theta] = 0,02$.	С
п.10	Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость.	
п.10.1	Размах условных упругих напряжений в элементах фланцевого соединения	С
п.10.1.1	Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхностях конической втулки приварного встык фланца в сечении S_1 в условиях затяжки вычисляют по формулам: - меридиональное напряжение – (60), (61); - окружное напряжение – (62); - радиальное напряжение – (63).	С
п.10.1.2	Размах условных упругих напряжений в меридиональном направлении на наружной и внутренней поверхностях конической втулки приварного встык фланца в сечении S_0 в условиях затяжки вычисляют по формулам (64), (65).	С

п.10.1.3	Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхностях втулки приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и бурта свободных фланцев в сечении S_0 в условиях затяжки вычисляют по формулам: - меридиональное напряжение – (66), (67); - окружное напряжение – (68); - радиальное напряжение – (69).	С
п.10.1.4	Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхностях конической втулки приварного встык фланца в сечении S_1 в рабочих условиях вычисляют по формулам: - меридиональное напряжение – (70), (71); - окружное напряжение – (72); - радиальное напряжение – (73).	С
п.10.1.5	Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхностях конической втулки приварного встык фланца в сечении S_0 в рабочих условиях вычисляют по формулам: - меридиональное напряжение – (74), (75); - окружное напряжение – (76), (77).	С
п.10.1.6	Размах условных упругих напряжений на наружной и внутренней поверхностях втулки приварных встык фланцев с прямой втулкой, плоских фланцев и бурта свободных фланцев в сечении S_0 в рабочих условиях вычисляют по формулам: - меридиональное напряжение – (78), (79); - окружное напряжение – (80); - радиальное напряжение – (81).	С
п.10.2	Расчетные амплитуды приведенных условных упругих напряжений при затяжке.	
п.10.2.1	Для приварных встык фланцев с конической втулкой амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле (82). α_σ определяют по графику, приведенному на рисунке 4, в зависимости от отношения r/S_1 .	С
п.10.2.2	Для приварных встык фланцев с прямой втулкой и бурта свободных фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле (83). α_σ определяют по графику, приведенному на рисунке 4, при $S_1 = S_0$.	С
п.10.2.3	Для плоских фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле (84).	С
п.10.2.4	Для колец свободных фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле (85).	С
п.10.2.5	Для шпилек (болтов) амплитуду приведенных условных упругих напряжений при затяжке вычисляют по формуле (86).	С
п.10.3	Расчетные амплитуды приведенных упругих напряжений в рабочих условиях.	
п.10.3.1	Для приварных встык фланцев с конической втулкой амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле (87). α_σ определяют по графику, приведенному на рисунке 4.	С
п.10.3.2	Для приварных встык фланцев с прямой втулкой и буртов свободных фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле (88). α_σ определяют по графику, приведенному на рисунке 4.	С
п.10.3.3	Для плоских фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле (89).	С
п.10.3.4	Для колец свободных фланцев амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле (90).	С
п.10.3.5	Для шпилек (болтов) амплитуду приведенных условных упругих напряжений в рабочих условиях вычисляют по формуле (91). $\Delta\sigma_{11}^p, \Delta\sigma_{01}^p, \Delta\sigma_{02}^p, \Delta\sigma_{03}^p, \Delta\sigma_{04}^p, \Delta\sigma_k^p, \Delta\sigma_{62}^p$ в формулах (87)—(91) определяют как максимальные разности значений напряжений, определенных в соответствии с 10.1.4—10.1.6, 8.4.5 и 7.1; $\sigma_{11}^p, \sigma_{01}^p, \sigma_{02}^p, \sigma_{03}^p, \sigma_{04}^p, \sigma_k^p, \sigma_{62}^p$ — соответственно при различных эксплуатационных нагрузках, имеющих место в течение одного цикла нагружения. Коэффициент η определяется по ГОСТ 34233.6.	С
п.10.4	Проверка малоциклового прочностного элемента фланцевого соединения.	С

	<p>Проверку малоцикловой прочности элементов фланцевого соединения проводят по ГОСТ 34233.6. Для этого по амплитуде напряжений, определенной из условия затяжки (σ_a) по 10.2, определяют допустимое число сборок — разборки $[N]_c$. По амплитуде напряжений, определенной для рабочих условий (σ_a^p) по 10.3, определяют допустимое число циклов изменения режима эксплуатации $[N]_p$.</p> <p>Условие прочности для заданного числа циклов сборок-разборок N_c и изменений режима эксплуатации N_p будет выполняться, если выполняется условие (92).</p>	
Приложение А	Рекомендации по пределам применения фланцев и прокладок различных типов	С
Приложение Б	Рекомендации по выбору нормализованных фланцевых соединений, нагруженных давлением, осевой силой и изгибающим моментом	С
Приложение В	Рекомендации по назначению температур элементов фланцевого соединения	С
Приложение Г	Допускаемые напряжения для материала болтов (шпилек)	С
Приложение Д	Площади поперечных сечений болтов (шпилек)	С
Приложение Е	Плечи действия сил и коэффициенты жесткости	С
Приложение Ж	Физические и механические свойства крепежных материалов	С
Приложение И	Характеристики основных типов прокладок	С
Приложение К	Определение податливости прокладки, болтов (шпилек), фланцев	С
Приложение Л	Крутящий момент на ключе при затяжке	С

ГОСТ 34233.5- 2017	Сосуда и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.	С
п.4.1	<p>При расчете сосудов и аппаратов на прочность в местах крепления опорных узлов проверке подлежат прочность корпуса в месте крепления опорных узлов и прочность сварных швов приварки опорных узлов к корпусу.</p> <p>Расчетные нагрузки, действующие на сосуд или аппарат в местах крепления опорных узлов, определяют в соответствии с настоящим стандартом и ГОСТ 34233.1.</p> <p>Для обечайки, нагруженной опорными реакциями в местах крепления несущих ушек, опорных лап или седловых опор, определяют местные допускаемые усилия $[F]_1$, $[F]_2$, $[F]_3$. В основу расчета оболочек, нагруженных локальными усилиями, положено предельное напряжение изгиба, определяемое из условия достижения предельного состояния условной балки-полоски прямоугольного сечения, имеющей единичную ширину и вырезаемой из оболочки двумя параллельными сечениями. Методика определения предельного напряжения изгиба приведена в 4.2.</p> <p>Для днищ, установленных на опорные стойки, используют решение по определению предельной нагрузки этого узла. Методики расчета на прочность корпуса в месте крепления несущих ушек, опорных лап, седловых опор, опорных стоек приведены в разделах 5—9. Методика расчета на прочность сварных швов приварки опорных узлов к корпусу приведена в разделе 10.</p> <p>Если отношение толщины стенки к расчетному диаметру или другие соотношения размеров элемента сосуда выходят за пределы границ применения расчетных формул, установленных в разделах 5—9, допускается использовать для определения напряженно-деформированного состояния корпуса в месте крепления опорных узлов численные или другие специальные методы расчета. При этом оценку прочности обечаек в местах крепления несущих ушек, опорных лап и седловых опор проводят, исходя из предельного напряжения изгиба или достижения предельного состояния описанной выше условной балки-полоски прямоугольного сечения, имеющей единичную ширину и вырезаемой из оболочки двумя параллельными сечениями.</p>	С
п.4.2	<p>Предельное напряжение изгиба.</p> <p>Предельное напряжение изгиба в месте крепления опор вычисляют по формуле (1), которая ограничивает местные напряжения изгиба в зависимости от местных мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями.</p> <p>Коэффициент ϑ_1, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным изгибным напряжениям в местах крепления опорных устройств, приведен в 5.4.4, 6.4.4, 6.4.8, 7.1.7.3.</p> <p>Коэффициент ϑ_2 вычисляют по формуле (2).</p> <p>При $\vartheta_2 < 0$ принимают $\vartheta_2 = \vartheta_2$, а знак коэффициента ϑ_1 меняют на обратный.</p> <p>Если расстояние между опорным узлом и ближайшим сварным швом более $\sqrt{D_p s}$, то принимают φ равным 1. Общие мембранные напряжения определяют в соответствии с 4.3, 5.4.4, 5.4.5, 6.4.4, 6.4.8, 7.1.7.2.</p>	С
п.4.3	Общие мембранные напряжения.	
п.4.3.1	Общее мембранное меридиональное напряжение в цилиндрической обечайке вычисляют по формуле (3).	С
п.4.3.2	Общее мембранное меридиональное напряжение в конической обечайке вычисляют по формуле (4).	С
п.4.3.3	Общее мембранное кольцевое напряжение в цилиндрической и конической обечайках вычисляют по формуле (5).	С
п.4.3.4	Общее мембранное напряжение в сферической обечайке, сферическом сегменте торосферического днища и эллиптическом днище вычисляют по формуле (6).	С
п.4.3.5	<p>Расчетный диаметр D_p вычисляют по формулам:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для цилиндрической обечайки (7); - для конической обечайки (8); - для сферической обечайки и сферического сегмента торосферических днищ 	

	(9); - для эллиптического днища (10); - для эллиптического днища с $H/D = 0,25$ (11).	
п.5	Несущие ушки	
п.5.1	Расчетные модели. Основные размеры несущих ушек приведены на рисунках 1-4, причем несущие ушки применяются как с подкладным листом, так и без него.	С
п.5.2	Условия применения расчетных формул	
п.5.2.1	Формулы применяют, когда $(s - c)/D_p \leq 0,05$. При наличии подкладного листа формулы применяют, когда $b_3 \leq 1,5b_1$, $s_2 \geq s$.	С
п.5.2.2	Нагрузка F_1 действует в плоскости несущего ушка.	С
п.5.2.3	К торосферическим днищам несущее ушко должно быть приварено в области сферического сегмента, к эллиптическим днищам — в области $0 \leq x \leq 0,4D$.	С
п.5.2.4	При определении нагрузки F_1 для сосудов и аппаратов с несущими ушками ветровые и сейсмические воздействия не учитывают.	С
п.5.3	Расчет усилия. Нагрузку F_1 , действующую на несущее ушко, определяют по специальным методам расчета. Для симметричного сосуда, закрепленного на двух симметрично расположенных несущих ушках, нагрузку на несущее ушко вычисляют по формуле (12).	С
п.5.4	Проверка несущей способности обечайки, не подкрепленной элементами жесткости	
п.5.4.1	Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка без подкладного листа должна удовлетворять условию (13).	С
п.5.4.2	Несущая способность обечайки в месте приварки несущего ушка с подкладным листом должна удовлетворять условию (14).	С
п.5.4.3	Коэффициенты K_3 и K_4 определяют по графикам, приведенным на рисунках 5 и 6, в качестве длины несущего ушка в месте приварки к обечайке b_0 принимают: $b_0 = b_1$ для несущих ушек без подкладного листа; $b_0 = b_3$ для несущих ушек с подкладным листом. Коэффициент K_5 вычисляют по формулам (15).	С
п.5.4.4	При определении $[\sigma_i]$ по формуле (1) коэффициент K_1 вычисляют со следующими значениями ϑ_1 и ϑ_2 : - для несущих ушек цилиндрических и конических обечаек, приваренных в продольном направлении, ϑ_1 принимают равным 0,2; ϑ_2 вычисляют по формуле (2), $\bar{\sigma}_m$, равное $\bar{\sigma}_{my}$, вычисляют по формуле (5); - для несущих ушек цилиндрических и конических обечаек, приваренных в окружном направлении, ϑ_1 принимают равным 0,3; ϑ_2 вычисляют по формуле (2), $\bar{\sigma}_m$, равное $\bar{\sigma}_{mx}$, вычисляют по формуле (3) или (4) соответственно.	С
п.5.4.5	Для несущих ушек, приваренных к выпуклым днищам, расчет следует проводить отдельно для несущего ушка, приваренного вдоль обечайки, и для несущего ушка, приваренного в окружном направлении обечайки, вычисляя в обоих случаях $\bar{\sigma}_m$ по формуле (6). Решающим будет меньшее значение $[F]_1$.	С
п.5.4.6	Для условий монтажа при отсутствии общих мембранных напряжений $\bar{\sigma}_m$ предельное напряжение изгиба принимают по формулам (16).	С
п.5.5	Проверка несущей способности цилиндрической обечайки, подкрепленной кольцом жесткости, расположенным непосредственно под несущим ушком	
п.5.5.1	При расчете r , e_3 , W_1 , и W_k учитывают эффективную несущую длину l_e обечайки, вычисляемую по формуле (17).	С
п.5.5.2	Несущая способность должна удовлетворять условию (18). Коэффициент K_6 вычисляют по формулам (19).	С
п.6	Опорные лапы.	
п.6.1	Расчетные модели опорных лап.	
п.6.1.1	Основные размеры опорных лап приведены на рисунке 7, причем опорные лапы применяют как с подкладным листом, так и без него.	С
п.6.1.2	Сосуды и аппараты с опорными лапами устанавливают либо на специальные строительные металлоконструкции, либо на межэтажные перекрытия.	С
п.6.2	Условия применения расчетных формул	
п.6.2.1	Опорные лапы присоединены к цилиндрическим или коническим обечайкам.	С

	Направление действия усилия принимают параллельно оси обечайки.	
п.6.2.2	Расчетные формулы применяют при условиях: (s-c)/D _p ≤ 0,05; g ≥ 0,2h ₁ ; 0,04 ≤ h ₁ /D _p ≤ 0,5; 0,04 ≤ b ₄ /D _p ≤ 0,5; 0,04 ≤ b ₃ /D _p ≤ 0,8; b ₂ ≥ 0,6b ₃ ; b ₃ ≤ 1,5h ₁ ; s ₂ ≥ s.	С
п.6.3	Расчет усилий.	
п.6.3.1	Вертикальное усилие, действующее на опорную лапу, вычисляют по формуле (20). Если неизвестно точное значение расстояния между точкой приложения усилия и обечайкой или подкладным листом, то e ₁ принимают равным 5/6.	С
п.6.3.2	При наличии внешнего изгибающего момента М допускается устанавливать аппарат на две опорные лапы при условии, что момент действует в плоскости опор.	С
п.6.3.3	При n, равном 4, обеспечивающем равномерное распределение нагрузки между всеми опорными лапами (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. д.), вертикальное усилие вычисляют по формуле (21).	С
п.6.3.4	Если необходимое число опорных лап превышает 4, рекомендуется применять кольцевую опору.	НП
п.6.3.5	Горизонтальное усилие, действующее в основании опорной лапы или в основании стойки, в случае приварки к ней опорной лапы вычисляют по формуле (22).	С
п.6.3.6	Эквивалентное плечо нагрузки e ₁₃ в случае приварки опорной лапы к стойке вычисляют по формуле (23).	С
п.6.4	Проверка несущей способности обечайки.	
п.6.4.1	Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа должна удовлетворять условию (24).	С
п.6.4.2	При g/h ₁ < 0,5 значение [F] ₁ , полученное по формуле (24), необходимо умножить на 0,5 + g/h ₁ .	С
п.6.4.3	Коэффициент К ₇ вычисляют по формулам: - для конструкции опорной лапы типов А и С (см. рисунок 7) – (25); - для конструкции опорной лапы типа В (см. рисунок 7) – (26); - для конструкции опорной лапы типа D (см. рисунок 7) – (27).	С
п.6.4.4	Предельное напряжение изгиба [σ _i] вычисляют по формуле (1). При этом К ₁ вычисляют при ϑ ₁ , равном 0,3, ϑ ₂ — по формуле (2), где $\bar{\sigma}_m$, равное $\bar{\sigma}_{my}$, — по формуле (5) для конструкций опорных лап типов А, В и С и $\bar{\sigma}_m$, равное $\bar{\sigma}_{mx}$, — по формуле (3) или (4) для конструкции опорных лап типа D.	С
п.6.4.5	Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы с подкладным листом должна удовлетворять условию (28).	С
п.6.4.6	При b ₂ /b ₃ < 0,6 значение [F] ₁ , полученное по формуле (28), необходимо умножить на (0,4 + b ₂ /b ₃).	С
п.6.4.7	Коэффициент К ₈ вычисляют по формуле (29).	С
п.6.4.8	Предельное напряжение изгиба [σ _i] вычисляют по формуле (1). При этом К ₁ вычисляют при ϑ ₁ , равном 0,4; ϑ ₂ вычисляют по формуле (2), где $\bar{\sigma}_m$, равное $\bar{\sigma}_{my}$, согласно формуле (5).	С
п.7	Седловые опоры.	
п.7.1	Расчетные модели.	
п.7.1.1	Расчетные модели сосудов на седловых опорах приведены на рисунках 8 и 9.	С
п.7.1.2	Условия применения расчетных формул. Расчетные формулы применимы при выполнении условий: 60° ≤ δ ₁ ≤ 180°, $\frac{s-c}{D} \leq 0,05$, s ₂ ≥ s, δ ₂ ≥ δ ₁ + 20°, A _k ≥ (s - c)√D(s - c).	С
п.7.1.3	В качестве основной расчетной схемы для определения опорных усилий, моментов и поперечных усилий принимают балку переменного кольцевого сечения, шарнирно опертую в местах расположения опор и нагруженную в общем случае распределенными и сосредоточенными усилиями в зависимости от конструкции сосуда. Расчетные усилия и моменты определяют методами строительной механики.	С
п.7.1.4	Определение реакции опор. Опорное вертикальное усилие F _i , в общем случае определяется методами технической механики и учитывает суммарную массу сосуда и его содержимого.	С

	Для симметричных схем расположения опор, приведенных на рисунке 10а, опорное вертикальное усилие без учета дополнительных внешних сил определяют по формуле (32).	
п.7.1.5	Изгибающие моменты и поперечные усилия. В общем случае изгибающие моменты и поперечные усилия определяют методами строительной механики. Если опоры расположены несимметрично (см. рисунок 8с), то поперечные усилия Q_i следует определять в сечениях обечайки над опорами по эпюре поперечных усилий с обеих сторон от опоры и выбирать наибольшие.	С
п.7.1.6	Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами. Несущую способность обечайки в сечении между опорами [см. точку (1) рисунок 8а] следует проверять при условии (40).	С
п.7.1.6.1	Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением, и сосуды без давления. Условие прочности – формулы (41), (42). Условие устойчивости – формула (43).	С
п.7.1.6.2	Сосуды, работающие под наружным давлением. Условие устойчивости – формула (44). В случае обечайки, укрепленной кольцами жесткости, допускаемое наружное давление определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости.	С
п.7.1.7	Несущую способность обечайки следует проверять у краев опорного узла, где возникают наибольшие местные напряжения: - в меридиональном направлении в нижней точке опирания [см. точку (2) рисунок 9а]; - в окружном направлении у гребней седловой опоры [см. точку (3) рисунок 9а]. При симметричном расположении опор проверку проводят только в области неподвижной опоры. Для несимметричного опирания сосуда проверку проводят в области всех опорных узлов.	С
п.7.1.7.1	Вспомогательные параметры и коэффициенты. Параметр, определяемый расстоянием от середины опоры до днища, вычисляют по формуле (45). Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле (46). Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры, вычисляют по формулам (47), (48). Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата, вычисляют по формулам (49), (50), (51). Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния от середины опоры до днища и угла охвата, вычисляют по формулам (52), (53). Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры и угла охвата, вычисляют по формуле (54).	С
п.7.1.7.2	Общее мембранное меридиональное напряжение. Общее мембранное меридиональное напряжение изгиба от весовых нагрузок, действующее в области опорного узла, вычисляют по формуле (55).	С
п.7.1.7.3	Цилиндрическая обечайка без подкладных листов в месте опоры. Условие прочности проверяется по формулам (56), (57), (58). Проверку устойчивости проводят по формуле (59).	С
п.7.1.7.4	Цилиндрическая обечайка с подкладными листами в месте опоры. Проверку прочности и устойчивости стенки сосуда проводят по 7.1.7.3, принимая следующие положения: - подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 ; - во всех формулах вместо b следует принимать b_2 , вместо δ_1 следует принимать δ_2 , толщину подкладного листа не учитывают; - подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда, во всех формулах вместо $(s - c)$ следует подставлять s_{ef} , вычисляемую по формуле (61).	С
п.7.1.8	Проверка несущей способности обечайки с кольцом жесткости в области опорного узла	
п.7.1.8.1	Проверка прочности и устойчивости стенки сосуда:	С

	а) сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением, проверяют: - по условию прочности по формуле (62); - по условию устойчивости следует проверять по формуле (59), принимая r и F_e равными 0; б) сосуды, работающие под наружным давлением, проверяют по условию устойчивости по формуле (59), принимая F_e равным 0.	
п.7.1.8.2	Кольцо жесткости должно удовлетворять условию прочности (63), с использованием таблицы 2, таблицы 3, формул (64), (65), (66).	С
п.8	Опорные стойки цилиндрические.	
п.8.1	Расчетные модели опорных цилиндрических стоек. Основные размеры цилиндрических опорных стоек приведены на рисунке 11.	С
п.8.2	Условия применения расчетных формул.	
п.8.2.1	Метод расчета днищ, установленных на наклонных опорных стойках, применяют, если их взаимное перемещение исключено.	НП
п.8.2.2	Метод расчета применяют только для сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением.	С
п.8.2.3	Формулы применяют при соблюдении условия $b_3 \leq 1,6b_2$	С
п.8.2.4	К торосферическим днищам опорные стойки должны быть присоединены в области сферического сегмента, а к эллиптическим днищам — в области $0 < x < 0,4D$.	С
п.8.3	Расчет усилия.	
п.8.3.1	Вертикальное усилие на опорную стойку вычисляют по формуле (67).	С
п.8.3.2	При n , равном 4, в случае обеспечения равномерного распределения нагрузки между всеми опорными стойками (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. д.), усилие вычисляют по формуле (68).	С
п.8.3.3	Действие момента M допускается только в том случае, если опорные стойки связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек. При этом следует выполнить условие (69).	С
п.8.4	Проверка несущей способности выпуклого днища.	
п.8.4.1	Несущая способность выпуклого днища должна удовлетворять условиям (70), (71).	С
п.8.4.2	Допускаемое осевое усилие вычисляют по формуле (72).	С
п.8.4.3	Радиус кривизны срединной поверхности днища у опорной окружности r_m и угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности α_2 определяют согласно таблице 4.	С
п.9	Опорные пластинчатые стойки.	
п.9.1	Расчет эллиптического днища в месте крепления опорной стойки.	
п.9.1.1	Расчетная схема. Основные размеры опорных пластинчатых стоек приведены на рисунке 12.	С
п.9.2	Условия применения расчетных формул.	
п.9.2.1	Метод расчета применяют только для эллиптических днищ, работающих под внутренним избыточным давлением.	С
п.9.2.2	Формулы применяют при соблюдении условий для эллиптических днищ: $0,003 \leq \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,02, \frac{d_4}{D} \geq 0,7, 0,1 \leq \frac{l}{D} \leq 0,35, b_3 \geq 1,2l, b_2 \geq 0,6b_3, s_2 \geq s_1$.	С
п.9.3	Расчетные усилия.	
п.9.3.1	Вертикальное усилие на опорную стойку вычисляют по формуле (73).	С
п.9.3.2	При n , равном 4, обеспечивающем равномерное распределение нагрузки между всеми опорными стойками (точный монтаж, установка прокладок, подливка бетона и т. д.), усилие вычисляют по формуле (74).	С
п.9.3.3	Изгибающий момент, передаваемый опорой на днище, вычисляют по формуле (75).	С
п.9.4	Проверка несущей способности эллиптического днища.	
п.9.4.1	Несущую способность днища в месте приварки опорной лапы следует проверять по формуле (76).	С
п.9.4.2	Допускаемое нормальное усилие, действующее по нормали к неподкрепленному эллиптическому днищу, вычисляют по формуле (77), с использованием (78).	С
п.9.4.3	Допускаемый изгибающий момент для неподкрепленного эллиптического днища вычисляют по формуле (79).	С

п.9.4.4	Коэффициенты K_{20} и K_{21} определяют по графикам, приведенным на рисунках 13 и 14 соответственно, в зависимости от относительной толщины днища $(s_1 - c)/D$ и относительной длины линии контакта опоры с днищем l/D .	С
п.9.4.5	Длину линии контакта опоры с днищем вычисляют по формуле (80).	С
п.9.4.6	Допускаемое нормальное усилие, действующее по нормали к подкрепленному подкладным листом эллиптическому днищу, вычисляют по формуле (81).	С
п.9.4.7	Допускаемый изгибающий момент для подкрепленного подкладным листом эллиптического днища вычисляют по формуле (82).	С
п.9.4.8	Коэффициенты K_{22} и K_{23} определяют по графикам, приведенным на рисунках 15 и 16 соответственно.	С
п.10	<p>Расчет на прочность сварных швов приварки опорных узлов к корпусу сосуда. Расчету на прочность подлежат угловые сварные швы приварки опорного узла к корпусу или подкладному листу и швы приварки подкладного листа к корпусу сосуда или аппарата.</p> <p>Расчетную нормальную силу $F_{оп}$, расчетную сдвигающую силу $Q_{оп}$ и расчетный изгибающий момент $M_{оп}$ определяют по правилам механики, руководствуясь результатами расчета нагрузок на элементы опорного узла, приведенными в разделах 5—9 и в ГОСТ 34283.</p> <p>Расчетное нормальное напряжение в сварном шве рассчитывают по формуле (83).</p> <p>Если расчетное нормальное напряжение в сварном шве является напряжением сжатия, его не учитывают при расчете прочности сварного шва. Среднее расчетное напряжение сдвига в сварном шве вычисляют по формуле (84).</p> <p>Если на сварной шов одновременно действуют моменты и/или сдвигающие силы в двух взаимно перпендикулярных направлениях, результирующие значения нормальных напряжений и напряжений сдвига определяют по правилам механики.</p> <p>Условие прочности угловых сварных швов приварки опорного узла к корпусу или подкладному листу и швов приварки подкладного листа к корпусу сосуда или аппарата: формула (85).</p> <p>Для угловых сварных швов коэффициент прочности $\varphi_{ш}$ принят равным 0,65.</p>	С
Приложение А	Расчет на прочность опор	С
п.А.1	Расчет на прочность несущих ушек	С
п.А.2	Расчет на прочность опорных лап	С
п.А.3	Расчет на прочность седловых опор	С

ГОСТ 34233.6- 2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках.	
п.5	Условия проверки на малоцикловую прочность.	
п.5.1	Поверочный расчет на малоцикловую прочность выполняют на основе анализа общего и местного напряженного состояния с целью исключения появления трещин. Расчет напряжений проводят в предположении линейно-упругого поведения материала, за исключением особо оговоренных случаев. Полученные амплитуды условных упругих напряжений не должны превышать допускаемые амплитуды напряжений.	С
п.6	Упрощенный расчет на малоцикловую прочность.	
п.6.1	Условие малоцикловой прочности будет выполнено, если амплитуда напряжений, возникающих при эксплуатации сосуда, не превышает допускаемую амплитуду напряжений для заданного числа циклов – уравнение (1).	С
п.6.2	При заданной амплитуде напряжений условие малоцикловой прочности будет выполнено, если эксплуатационное число циклов не превышает допускаемое число циклов – уравнение (2). Допускаемое число циклов нагружения определяют по разделу 8.	С
п.6.3	Если процесс нагружения состоит из ряда циклов с разными амплитудами напряжений от одной или нескольких типов нагрузок, для всех нагруженных элементов сосуда должно быть выполнено условие (3). Допускаемое число циклов нагружения j-го вида определяют по разделу 8 в зависимости от амплитуды напряжений для цикла нагружения j-го вида.	С
п.6.4	Амплитуду напряжений для цикла нагружения j -го вида вычисляют по формуле (4) и таблицам 1 и 2.	С
п.7	Уточненный расчет на малоцикловую прочность.	
п.7.1	Уточненный расчет на малоцикловую прочность основан на определении напряжений для линейно-упругого материала по теории пластин, оболочек, колец и балок. При расчете определяют главные напряжения в наиболее нагруженных узлах. Для каждого вида нагрузки рассчитывают размах отдельных составляющих напряжений $\Delta\sigma_x$; $\Delta\sigma_y$; $\Delta\sigma_z$; $\Delta\tau_{xy}$; $\Delta\tau_{xz}$; $\Delta\tau_{yz}$ как разность напряжений обоих нагруженных состояний, входящих в цикл. Размах главных напряжений $\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$; $\Delta\sigma_3$ рассчитывают как главные напряжения при действии в выбранной системе координат на пружений, равных размахам отдельных составляющих напряжений. Определение составляющих напряжений в различных узлах сосуда приведено в ГОСТ 34233.4, ГОСТ 34233.5, ГОСТ 34233.7, ГОСТ 34233.9, ГОСТ 34233.11, ГОСТ 30780. Составляющие напряжений можно определять по специальным методикам или экспериментальными методами. Амплитуду напряжений для каждого цикла вычисляют по формуле (5). Допускается амплитуду напряжений вычислять по формуле (6) или (7). Для плоского напряженного состояния используются формулы (8) или (9).	С
п.7.2	Эффективный коэффициент концентрации напряжений определяют по формуле (10), при отсутствии точных данных по формуле (11).	С
п.7.3	При известных значениях амплитуды напряжений либо проверяют условие прочности по формуле (1), либо определяют допускаемое число циклов по формуле (13) и выполнение условий прочности по формуле (2). Если сосуд работает при различных режимах нагружения, то определяют допускаемое число циклов для каждого вида нагружения и выполнение условий прочности по формуле (3).	С
п.8	Определение допускаемой амплитуды напряжений и допускаемого числа циклов нагружения.	
п.8.1	Допускаемую амплитуду напряжений определяют по графикам, приведенным на рисунках 2—10, или вычисляют по формуле (12).	С
п.8.2	Допускаемое число циклов нагружения определяют по графикам, приведенным на рисунках 2—10, или вычисляют по формуле (13). Если $\sigma_a \leq \frac{B}{n_\sigma}$, то число циклов соответствующего вида не ограничивают и их	С

	влияние на прочность не учитывают.	
п.8.3	А, В и C_t определяют по таблице 3.	С
п.8.4	Коэффициенты запаса прочности по числу циклов и коэффициенты запаса прочности по напряжениям должны соответствовать: - для стальных сосудов — $n_N = 10$; $n_\sigma = 2,0$; - для сосудов из алюминия, меди и их сплавов — $n_N = 20$; $n_\sigma = 2,0$; - для сосудов из титана и его сплавов — $n_N = 30$; $n_\sigma = 2,5$.	С
п.8.5	В случае соединения материалов с разными механическими характеристиками определяющим является материал, дающий меньшее значение $[\sigma_a]$ и $[N]$.	С

ГОСТ 34233.7-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.	
п.5.1	Расчетные схемы. Основные типы кожухотрубчатых теплообменных аппаратов приведены на рисунках 1—6.	С
п.5.2	Толщины трубных решеток теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе назначаются конструктивно с последующей проверкой по формуле (45).	С
п.5.2.1	Вспомогательные величины.	
п.5.2.1.1	Относительную характеристику беструбного края трубной решетки вычисляют по формуле (1).	С
п.5.2.1.2	Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам (2), (3).	С
п.5.2.1.3	Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата. Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле (4). Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле (5). Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам (6), (7). Для аппаратов с неподвижными трубными решетками коэффициенты принимаются равными 0. Для аппаратов с компенсатором на кожухе, расширителем на кожухе и компенсатором на расширителе коэффициенты определяют по приложению А. Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле (8). Для теплообменных аппаратов с двумя отличающимися друг от друга по толщине или модулю упругости решетками коэффициент β вычисляют по формуле (9). Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляют по формуле (10). Другие коэффициенты приведены в Приложениях Б-Е.	С
п.5.2.2	Определение усилий в элементах теплообменного аппарата.	
п.5.2.2.1	Приведенное давление p_0 вычисляют по формулам (11), (12).	С
п.5.2.2.2	Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле (13).	С
п.5.2.2.3	Коэффициенты, учитывающие поддерживающее влияние труб Φ_1, Φ_2, Φ_3 , определяют по таблице 1 или по формулам, приведенным в приложении К.	С
п.5.2.2.4	Значения T_1, T_2, T_3 определяют по приложению Г в зависимости от ω и m_n или вычисляют по формулам (14) - (17).	С
п.5.2.2.5	Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют по формулам (18) – (22).	С
п.5.2.2.6	Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки, вычисляют по формулам (23), (24).	С
п.5.2.2.7	Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляют по формулам (25), (26).	С
п.5.2.2.8	Нагрузки на кожух вычисляют по формулам (27) – (29).	С
п.5.2.3	Расчетные напряжения в элементах конструкции.	
п.5.2.3.1	Крепления трубной решетки к кожуху или фланцу. Расчетные схемы узлов соединения трубной решетки с концевой обечайкой кожуха теплообменных аппаратов, соответствующих требованиям ГОСТ 31842, приведены на рисунках 7 и 8. Другие расчетные схемы присоединения трубной решетки к фланцу и корпусу теплообменных аппаратов приведены на рисунках 9 и 10. Толщину стенки кожуха s_1 для схемы, приведенной на рисунке 9, принимают равной эквивалентной толщине втулки фланца s_2 , вычисляемой по ГОСТ 34233.4 (приложение Е).	С
п.5.2.3.2	Расчетные напряжения в трубных решетках. Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом вычисляют по формулам (30), (31). Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляют по формулам (32), (33) с использованием формул (34) – (37).	С
п.5.2.3.3	Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке вычисляют по	С

	формулам (38) – (41).	
п.5.2.3.4	Напряжения в трубах вычисляют по формулам (42) – (44).	С
п.5.2.4	Проверка прочности трубных решеток	
п.5.2.4.1	Проверку статической прочности проводят по формуле (45).	С
п.5.2.4.2	Проверку трубной решетки на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ 34233.6. Если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д. При проверке трубной решетки на малоцикловую прочность следует принимать напряжения по формулам (46) – (50).	С
п.5.2.4.3	Для многоходовых по трубному пространству теплообменных аппаратов прочность трубных решеток в зоне паза под перегородку проверяют по формуле (84) с использованием формулы (51).	С
п.5.2.5	Проверка жесткости трубных решеток. Проверку проводят, когда к жесткости трубных решеток предъявляются какие-либо дополнительные требования, например для аппаратов со стекающей пленкой, с перегородками по трубному пространству, если недопустим переток между ходами. Условие жесткости – формула (52). Рекомендуемые допустимые значения прогибов трубных решеток [W] в зависимости от внутреннего диаметра кожуха аппарата приведены в таблице 2.	С
п.5.2.6	Расчет прочности и устойчивости кожуха. Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке следует проводить только для конструкций, приведенных на рисунках 7, 8 и 10.	С
п.5.2.6.1	Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке – формула (53).	С
п.5.2.6.2	Проверку кожуха на малоцикловую прочность в месте присоединения к решетке проводят по ГОСТ 34233.6. Если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д. При проверке кожуха на малоцикловую прочность следует принимать напряжения по формулам (54) – (56).	С
п.5.2.6.3	Если условие прочности кожуха в месте соединения с решеткой по 5.2.6.1 и 5.2.6.2 не выполняется, можно установить переходный пояс увеличенной толщины длиной не менее $2\sqrt{Ds_1}$.	НП
п.5.2.6.4	Если осевая сила в кожухе $F < 0$, следует провести проверку кожуха на местную устойчивость от действия сжимающей силы F по ГОСТ 34233.2.	С
п.5.2.7	Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке.	
п.5.2.7.1	Условие статической прочности труб – формула (57).	С
п.5.2.7.2	Проверку труб на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ 34233.6. Если при расчете необходимо учитывать ползучесть материала, допускается проводить проверку на малоцикловую прочность по приложению Д. При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать напряжения по формулам (58) – (60).	С
п.5.2.7.3	Проверку труб на устойчивость проводят, если $N_t < 0$. Условие устойчивости – формула (61), с использованием формулы (62) и рисунка 11.	С
п.5.2.7.4	Проверка жесткости труб. Проверку проводят, когда к жесткости труб предъявляют какие-либо дополнительные требования, например для аппаратов со стекающей пленкой. Проверку жесткости труб проводят только при $N_t < 0$. Прогиб трубы вычисляют по формулам (63), (64) и рисунку 12. Во всех случаях прогиб трубы не должен превышать зазор между трубами в пучке и приводить к их соприкосновению.	С
п.5.2.7.5	Проверка прочности крепления трубы в решетке. Если трубы крепятся в решетке с помощью развальцовки, должно выполняться условие (65). Допускаемую нагрузку на соединение трубы с решеткой [N] _{тр} определяют на основании испытаний или по нормативным документам. При отсутствии данных о прочности вальцовочного соединения допускается принимать [N] _{тр}	С

	по приложению Е. Если трубы крепятся к решетке способом приварки или приварки с подвальцовкой, должно выполняться условие (66), (67). В случае крепления труб к решетке способом развальцовки с обваркой должно выполняться условие (68).	
п.5.3	Теплообменные аппараты с плавающей головкой.	
п.5.3.1	Толщина трубной решетки в зоне перфорации должна отвечать условию (69), (70).	С
п.5.3.2	Расчет элементов плавающей головки. Расчетная схема элементов плавающей головки приведена на рисунке 13.	С
п.5.3.2.1	Усилия, действующие на шпильки, и усилие на прокладке. Проверка прочности шпилек и прокладки. Проверку прочности шпилек и прокладки выполняют по ГОСТ 34233.4. Угловую податливость сферических неотбортованных крышек определяют по ГОСТ 34233.4. При этом учитываются формулы (71) – (73).	С
п.5.3.2.2	Расчет на прочность при действии внутреннего давления крышек плавающих головок со сферическим неотбортованным днищем выполняют по ГОСТ 34233.2 (пункт 6.5). Если условие $M < [M]$ при расчете на прочность крышек плавающих головок со сферическим неотбортованным днищем по ГОСТ 34233.2 не выполняется, допускаемое избыточное давление из условий прочности краевой зоны $[p_1]$ вычисляют по формулам (74) – (76).	С
п.5.3.2.3	Расчет допускаемого избыточного давления из условий прочности краевой зоны крышек с эллиптическим днищем, отвечающих условию $h < \sqrt{Ds_1}$, выполняют так же, как и для крышек плавающих головок со сферическим неотбортованным днищем с радиусом кривизны, равным радиусу кривизны в вершине соответствующего эллиптического днища по ГОСТ 34233.2 (пункт 6.5). При этом ψ принимают равным 0. Расчет фланцевой части и примыкающей к ней отбортовки крышек с эллиптическим днищем, отвечающих условию $h \geq \sqrt{Ds_1}$, выполняют по ГОСТ 34233.4, как плоского фланца с прямой втулкой. Расчет эллиптического днища на внутреннее и наружное давления выполняют по ГОСТ 34233.2 (пункт 6.3).	С
п.5.3.2.4	Толщину полукольца (см. рисунок 13) определяют из условий изгиба по формуле (77), где β_γ определяют по ГОСТ 34233.4.	С
п.5.3.2.5	Толщину наименьшего сечения полукольца определяют из условий среза по формуле (78).	С
п.5.3.2.6	Расчет по 5.3.2.2—5.3.2.5 следует выполнять как для рабочих условий, так и для условий монтажа до подачи внутреннего давления. При расчете в рабочих условиях следует принимать P_6 равным P_6^p , а при расчете в условиях монтажа — равным P_6^M .	С
п.5.4	Теплообменные аппараты с U-образными трубами.	
п.5.4.1	Толщина трубной решетки в зоне перфорации должна отвечать условию (79), (80). Эффективный коэффициент ослабления решетки φ_E определяют по приложению Б.	С
п.5.4.2	Если к жесткости трубных решеток аппаратов с U-образными трубами предъявляют специальные требования (недопустим остаточный прогиб решетки), расчетную толщину вычисляют по формуле (81).	С
п.5.5	Дополнительные требования к толщинам трубных решеток.	
п.5.5.1	При наличии беструбной зоны (см. рисунок 14) принятая толщина трубной решетки должна дополнительно удовлетворять условию (82).	С
п.5.5.2	Толщина решеток аппаратов с плавающей головкой и U-образными трубами в месте уплотнения под кольцевую прокладку должна отвечать условию (83).	С
п.5.5.3	Для многоходовых по трубному пространству аппаратов толщина трубной решетки в сечении канавки должна быть не менее (84).	С
п.5.5.4	Для трубных решеток, выполненных заодно с фланцем, принятая толщина должна быть не менее толщины кольца ответного фланца. Допускается уменьшение толщины решетки по сравнению с толщиной ответного фланца при условии подтверждения плотности и прочности фланцевого соединения специальным расчетом.	С

п.5.6	Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Толщина перегородки должна отвечать условию (85), (86).	С
п.6	Расчет элементов аппаратов воздушного охлаждения.	
п.6.1	Условия применения расчетных формул.	
п.6.1.1	Расчетные формулы применяют, если расчетная температура не превышает значений, при которых возникает ползучесть материалов [ГОСТ 34233.2 (пункт 5.2.2)].	С
п.6.1.2	Расчетные формулы применяют, если разность температур между смежными потоками в многоходовых секциях не превышает 100°C.	С
п.6.1.3	Расчетные формулы применяют при выполнении следующих условий (87), (88).	С
п.6.1.4	Расчетные формулы применяют, если обеспечено свободное перемещение пучка в результате температурных удлинений.	С
п.6.1.5	Допускается использовать расчетные формулы для аналогичных схем камер аппаратов воздушного охлаждения, не приведенных на рисунках 15–18 и 20–24.	С
п.6.2	Расчет камер разъемной конструкции.	
п.6.2.1	Схемы камер разъемной конструкции приведены на рисунках 15-18.	С
п.6.2.2	Расчет элементов камер разъемной конструкции	
п.6.2.2.1	Формулы для определения вспомогательных величин для расчета камер разъемной конструкции приведены в приложении Ж.	С
п.6.2.2.2	Усилие в болтах (шпильках) в условиях эксплуатации вычисляют по формуле (89).	С
п.6.2.2.3	Усилие в болтах (шпильках) в условиях испытания или монтажа вычисляют по формуле (90).	С
п.6.2.2.4	Величины L_p и V_p определяют по приложению Ж. Характеристики прокладки b_0 и m — по ГОСТ 34233.4. Коэффициент η_p для фланцевых соединений с эксцентрично расположенной прокладкой в первом приближении принимают равным 2. Уточненное значение η_p определяют по приложению И. Если предусмотрены специальные конструктивные меры, позволяющие разгрузить элементы разъемных камер от действия болтового изгибающего момента, то η_p принимают равным 1.	С
п.6.2.2.5	Условие прочности шпилек (болтов) – формулы (91), (92).	С
п.6.2.3	Расчет трубной решетки	
п.6.2.3.1	Толщина трубной решетки в пределах зоны перфорации должна отвечать условию (93). Безразмерную характеристику нагружения решетки болтовым изгибающим моментом Λ_p вычисляют по формуле (94). Безразмерную характеристику нагружения решетки давлением, действующим на беструбную зону Ψ_p , вычисляют по формуле (95). Коэффициент несущей способности трубного пучка Ω вычисляют по формулам (96), (97). Коэффициент, зависящий от соотношения сторон перфорированной зоны решетки f_0 , вычисляют по формуле (98). l_1 , V_T , λ_p , η и $[q]_T$ определяют по приложению Ж, эффективный коэффициент ослабления φ_E — по приложению Б, коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе φ_T — по 5.2.7.3. При $\Omega > 1$ следует увеличивать толщину труб для выполнения условия $\Omega < 1$.	С
п.6.2.3.2	Толщины трубной решетки в месте уплотнения s_{2A} и вне зоны уплотнения s_{3A} должны отвечать условиям (99), (100). Усилие от болтовой нагрузки на единицу длины решетки или крышки F_1 вычисляют по формуле (101).	С
п.6.2.3.3	Условие прочности крепления труб в решетке – формула (102). Коэффициенты Z_F и Z_M определяют по графику, приведенному на рисунке 19, в зависимости от величины ω , вычисляемой по формуле (103). Коэффициенты η и u вычисляют по Ж.2 (приложение Ж).	С
п.6.2.4	Расчет крышки	
п.6.2.4.1	Толщина доньшка крышки (см. рисунки 15—17) должна отвечать условию (104).	С

	<p>Безразмерную характеристику нагружения крышки аппарата воздушного охлаждения болтовым изгибающим моментом $\Lambda_{кр}$ вычисляют по формуле (105).</p> <p>Безразмерную характеристику нагружения крышки давлением, действующим на ее фланцевую часть, $\Psi_{кр}$ вычисляют по формуле (106).</p> <p>Коэффициенты, зависящие от соотношения сторон крышки f_1 и f_2 вычисляют по формулам (107), (108).</p> <p>Коэффициент сопротивления фланцевой части крышки $\chi_{кр}$ вычисляют по формуле (109).</p>	
п.6.2.4.2	Толщина доннышка крышки (см. рисунок 18) должна отвечать условию (110). Коэффициент сопротивления фланцевой части крышки χ_c вычисляют по формуле (111).	С
п.6.2.4.3	Толщина стенки крышки в месте присоединения к фланцу должна отвечать условию (112).	С
п.6.2.4.4	Толщину фланца крышки s_{6A} вычисляют по формуле (99) при $[\sigma]_p = [\sigma]_k$.	С
п.6.2.4.5	Толщина боковой стенки s_{7A} крышек (см. рисунки 15—17) должна отвечать условию (113), а крышек (см. рисунок 18) — условию (114).	С
п.6.3	Расчет камер неразъемной конструкции.	
п.6.3.1	Расчетные схемы камер неразъемной конструкции. Схемы камер неразъемной конструкции приведены на рисунках 20–24.	С
п.6.3.1.1	Толщина задней стенки камеры должна отвечать условию (115). Коэффициент f_3 , зависящий от соотношения сторон задней стенки камеры, вычисляют по формуле (116). Для камер с перегородками (см. рисунки 23, 24) f_3 равно 1. Расчетный поперечный размер камеры V_p определяют по приложению Ж, эффективный коэффициент ослабления φ_E — по приложению Б. Толщину решетки s_{1A} следует принимать по (117).	С
п.6.3.1.2	Толщины верхней и нижней стенок для конструкций, приведенных на рисунках 21 и 23, должны отвечать условию (118), а конструкций, приведенных на рисунках 22 и 24, — условию (119).	С
п.6.3.1.3	Толщины усиливающих перегородок в камерах (см. рисунки 23, 24) должны отвечать условию (120).	С
п.6.3.1.4	Толщина боковой стенки должна отвечать условию (121).	С
п.6.3.2	Расчет камер неразъемной конструкции с полуцилиндрической задней стенкой (см. рисунок 20)	С
п.6.3.2.1	Толщину трубной решетки s_{1A} вычисляют по формуле (93) при $\Lambda_p = 0$.	С
п.6.3.2.2	Толщину полуцилиндрической задней стенки s_{4A} определяют по ГОСТ 34233.2, как цилиндрической обечайки, внутренний диаметр которой равен B_0 .	С
п.6.3.2.3	Толщину боковой стенки s_{7A} определяют по формуле (114).	С
п.6.3.3	Условие прочности крепления труб в решетке - формула (123). Коэффициент η вычисляют по Ж.2 (приложение Ж).	С
п.6.3.4	Условия прочности узлов врезки штуцеров круглого сечения в верхнюю или нижнюю стенки сварных и штампованных камер (см. рисунки 21-24) при действии внутреннего давления удовлетворяются автоматически, если толщина патрубка отвечает условиям прочности для обечайки (трубы) согласно ГОСТ 34233.2. Если используют плоскоовальные штуцеры или если на штуцеры круглого сечения кроме давления действуют внешние нагрузки от присоединенных трубопроводов, прочность узлов врезки должна быть подтверждена численным расчетом с оценкой по ГОСТ 34233.1 (пункт 8.10).	С
п.6.3.5	Допускается вместо расчета по 6.3.1 и 6.3.2, выполнять расчет камер неразъемной конструкции с помощью численного моделирования с последующей оценкой по категориям условных упругих напряжений в соответствии с ГОСТ 34233.1 (пункт 8.10). При этом уменьшение цилиндрической жесткости решетки и задней стенки камер за счет перфорации следует оценивать с помощью коэффициента жесткости перфорированной плиты ψ_0 , определяемого по таблице Б.1 (приложение Б), в зависимости от относительной характеристики площади решетки аппарата воздушного охлаждения η , вычисляемой по формуле (Ж.9) (приложение Ж). Увеличение расчетных напряжений в перфорированной части решетки и задней стенки допускается оценивать с помощью эффективного	С

	коэффициента ослабления решетки и задней стенки аппаратов воздушного охлаждения φ_E , вычисляемого по формуле (Б.2) (приложение Б).	
п.6.3.6	Для аппаратов воздушного охлаждения с камерами неразъемной конструкции, работающими при давлениях, превышающих 10 МПа, дополнительный расчет по 6.3.5 является обязательным.	С
Приложение А	Определение коэффициентов изменения жесткости и для аппаратов с компенсатором на кожухе, расширителем на кожухе и компенсатором на расширителе.	С
Приложение Б	Коэффициенты влияния перфорации на параметры трубной решетки.	С
Приложение В	Определение коэффициентов системы кожух–решетка, обечайка–фланец камеры и коэффициента жесткости фланцевого соединения при изгибе	С
Приложение Г	Коэффициенты, используемые в формулах для определения сил и моментов в элементах кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.	С
Приложение Д	Определение допустимой амплитуды условных упругих напряжений при работе материала в условиях ползучести.	С
Приложение Е	Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой.	С
Приложение Ж	Определение вспомогательных величин для расчета аппаратов воздушного охлаждения.	С
Приложение И	Коэффициенты податливости элементов аппаратов воздушного охлаждения.	С
Приложение К	Расчетные зависимости для определения величин, приведенных в таблицах и на графиках.	С

ГОСТ 34233.8 2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками.	
п.4	Условия применения расчетных формул.	
п.4.1	Общие условия применения расчетных формул.	
п.4.1.1	Формулы применимы, если в рубашке действует только избыточное внутреннее давление.	С
п.4.1.2	Формулы для проверок малоциклового прочностии применимы, если рабочие температуры не превышают значений, при которых следует учитывать ползучесть материалов. Если нет точных данных по этим температурам, то формулы применимы при расчетных температурах, которые не превышают 380 °С для углеродистых сталей, 420 °С — для низколегированных и легированных сталей, 525 °С — для аустенитных сталей, 150 °С — для алюминия и его сплавов, 250 °С — для меди и ее сплавов, 300 °С — для титана и его сплавов.	С
п.4.1.3	Формула для определения допускаемого размаха напряжений действительна, если радиусы кривизны, полученные методом холодной деформации, больше четырехкратной толщины стенки.	С
п.4.1.4	Проверка на малоцикловую прочность приведена только для мест сопряжения сосуда с рубашкой или каналом. Для всех других элементов, испытывающих циклическую нагрузку, расчет следует проводить по ГОСТ 34233.6.	С
п.4.1.5	Проверка на малоцикловую прочность приведена для напряжений, вызываемых изменениями средних температур стенок. Если возникающая разница температур между соседними точками составляет больше 15 °С, то расчет на малоцикловую прочность проводят по ГОСТ 34233.6.	С
п.4.2	Условия применения формул для сосудов с U-образной и цилиндрической рубашкой.	
п.4.2.1	Формулы применимы: - при соотношении диаметров $\frac{D_2}{D_1} \leq 1,2$; - при соотношении толщины стенки и диаметров $0,001 \leq \frac{s_1}{D_1} \leq 0,5 \left(\frac{D_2}{D_1} - 1 \right)$; - при соотношении толщин стенок $\frac{s_2}{s_1} \leq 1,2$.	С
п.4.2.2	Формулы для сопряжений с помощью конуса применимы для углов $\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$ и радиуса отбортовки $r_0 \leq \frac{e_0 - 0,5s_2}{1 - \cos \alpha}$.	С
п.4.2.3	Формулы для сопряжений с помощью конуса применимы при условии полностью проваренных сварных швов, а для числа циклов нагружения $N > 10^3$ — при условии двустороннего сварного шва между конусом и рубашкой [см. рисунок А.1 (приложение А)].	С
п.4.2.4	Формулы для сопряжения с помощью кольца применимы при толщине кольца $h_0 \geq 1,5s_2$ - для U-образной рубашки, $0,5\sqrt{D_1 s_1} > h_0 \geq s_2$ - для цилиндрической рубашки.	С
п.4.2.5	Формулы для сопряжений с помощью кольца применимы при условии полностью проваренных сварных швов между кольцом и рубашкой [см. рисунок А.2 (приложение А)].	С
п.4.2.6	Диаметр окружности сопряжения рубашки с днищем сосуда должен удовлетворять условию $d_1 \leq 0,4D_2$. Расчет сопряжения рубашки с днищем сосуда не проводят, если оно соответствует рисунку А.3 (приложение А).	С
п.4.3	Условия применения формул для сосудов с рубашками, сопряженными анкерными трубами или отбортовками.	С
п.4.3.1	Угол шага δ_T сопряжения анкерными трубами или отбортовками должен удовлетворять условию $\delta_T \leq 30^\circ \min \left\{ 1; \sqrt[4]{\frac{L}{D_1}} \sqrt[4]{\frac{s_1 - c}{D_1}} \right\}$	С
п.4.3.2	Формулы по 7.3—7.5 применимы при соотношении шагов $0,8 \leq \frac{t_0}{t_T} \leq 1,25$.	С
п.4.3.3	Формула для сопряжения отбортовкой применима при углах отбортовки 30° и 45° [см. рисунок А.4 (приложение А)] и при сварных швах с полным проплавлением.	С
п.4.3.4	Формулы для анкерных труб применимы при размере сварного шва	С

	$a \geq 0,7 \min\{s_0; s_2\}$	
п.4.3.5	Расчет на усталость по 7.6 применим при соотношении толщин стенок $\frac{s_2}{s_1} \leq 1,0$.	С
п.4.4	Условия применения формул для сосудов с каналами.	
п.4.4.1	Расчетные формулы по разделу 8 применимы: - при ширине канала $d_2 \leq 0,1D_1$; - при высоте канала $h_2 \geq s_2$; - при половине центрального угла канала $20^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$.	С
п.4.4.2	Формулы для каналов применимы при V-образных сварных швах с полным проплавлением, а для каналов полукруглого сечения также и при угловых швах.	С
п.4.4.3	Расчет на малоцикловую прочность по 8.6 применим при соотношении толщин стенок s_2/s_1 не более 0,5.	С
п.5	Сосуды с U-образной рубашкой.	
п.5.1	Цилиндрические обечайки.	
п.5.1.1	Расчет цилиндрических обечайек на внутреннее избыточное давление проводят по ГОСТ 34233.2. Расчетное давление для рубашки равно p_2 и расчетное давление для сосуда равно p_1 , если $p_1 > 0$.	С
п.5.1.2	Расчет цилиндрической обечайки сосуда на наружное давление проводят по ГОСТ 34233.2. При $p_1 < 0$ за расчетное давление для сосуда вне рубашки принимают $ p_1 $, а для обечайки корпуса под рубашкой расчетное давление для сосуда равно $p_2 + p_1 $. При $p_1 > 0$ расчетное давление в зоне рубашки равно p_2 или $p_2 - p_1$, если обеспечивается одновременное действие давления p_1 и p_2 . Расчетную длину L следует определять по ГОСТ 34233.2.	С
п.5.1.3	Цилиндрическую стенку сосуда с кольцами жесткости рассчитывают по ГОСТ 34233.2. Направляющие спирали можно рассматривать как кольца жесткости, если выполнены следующие условия: а) шаг спирали t_s должен быть не более $0,30D_1$. Если $n_1 \leq 1$, то цилиндрическую обечайку следует рассчитывать как гладкую обечайку; б) за расчетную длину l_2 принимают расстояние вдоль оси сосуда от конечной точки расчетной длины [см. рисунок А.5 (приложение А)] до точки замыкания первого витка направляющей спирали, охватывающего всю окружность сосуда. Для направляющих спиралей, выполненных с концевыми кольцами, действительно определение l_2 по ГОСТ 34233.2; в) расчетные длины b , l_1 , и l_e при расчете по ГОСТ 34233.2 вычисляют по формулам (1), (2), (3); г) поперечное сечение направляющей спирали [см. рисунок А.6 (приложение А)] должно удовлетворять условию $\frac{h_1}{b_1} \leq 8$, чтобы исключить потерю устойчивости из плоскости; д) для обеспечения прочности обоих угловых швов на направляющей спирали должно быть выполнено условие (4). Коэффициент сварного шва φ_0 определяют как отношение длины сварного шва к общей длине спирали. При этом расстояние между двумя концами прерванного шва не должно превышать восьми кратной толщины стенки обечайки s_1 , а сумма длин сварных швов не должна быть менее половины окружности направляющей спирали на одном витке. Оба конца спирали должны начинаться швом.	С
п.5.2	Днища.	
п.5.2.1	Расчет выпуклых днищ на внутреннее избыточное и наружное давления проводят по ГОСТ 34233.2. Расчетные давления принимают согласно 5.1.1 и 5.1.2. Для днища сосуда, нагруженного избыточным давлением p_2 , допускается проводить расчет по другим методам, которые учитывают отсутствие давления на участке в пределах диаметра окружности сопряжения рубашки с днищем d_1 .	С
п.5.2.2	При расчете днища рубашки отверстие диаметром d_l не учитывают.	С
п.5.3	Сопряжение рубашки с корпусом сосуда с помощью конуса.	
п.5.3.1	Вспомогательные параметры. Коэффициенты для расчета узла сопряжения рубашки с корпусом сосуда с	С

	<p>помощью конуса [см. рисунок А.1 (приложение А)] вычисляют по формулам:</p> <p>а) коэффициент осевого усилия – формула (5);</p> <p>б) коэффициент, учитывающий расстояние между корпусом сосуда и рубашкой – формула (6);</p> <p>в) коэффициент радиуса конической отбортовки – формула (7);</p> <p>г) коэффициент длины сопряжения – формула (8);</p> <p>д) коэффициент отношения прочности корпуса сосуда и рубашки – формула (9). Если в сосуде вакуум ($p_1 < 0$), то в формулу (9) подставляют $p_1 = 0$;</p> <p>е) расчетные коэффициенты прочности сварного шва – формулы (10), (11);</p> <p>ж) относительную эффективную несущую длину конуса – формула 12.</p>	
п.5.3.2	<p>Допускаемое избыточное давление в рубашке.</p> <p>Допускаемое избыточное давление в рубашке вычисляют по формуле (13).</p>	С
п.5.3.3	<p>Коэффициент сопряжения с помощью конуса.</p> <p>Коэффициент сопряжения с помощью конуса вычисляют по формулам (14) – (17). Коэффициенты f_1, f_2, f_3 и f_4 определяют в зависимости от вспомогательных параметров по приведенным далее в тексте ГОСТа формулам.</p>	С
п.5.3.4	<p>Определение размеров сопряжения с помощью конуса.</p> <p>Толщина стенки конуса должна быть не менее толщины стенки сопряженной цилиндрической рубашки. Если необходимо увеличить толщину стенки конуса, то следует одновременно увеличить и толщину стенки сопряженной цилиндрической обечайки рубашки на длине $l_R \geq 0,7\sqrt{D_2(s_2 - c)}$ для конусов, приведенных на рисунках А.1а, б (приложение А), и $l_R \geq 0,5\sqrt{D_2(s_2 - c)}$ для конусов, приведенных на рисунках А.1в, г (приложение А).</p> <p>Толщину стенки конуса вычисляют методом итерации по формулам (18), (19). Коэффициент А вычисляют по формуле (5), а В — по формуле (14), при этом в качестве исходного значения для s_2 принимают исполнительную толщину стенки цилиндрической рубашки.</p>	С
п.5.4	<p>Сопряжение рубашки с корпусом сосуда с помощью кольца.</p>	
п.5.4.1	<p>Вспомогательные параметры.</p> <p>Коэффициенты для расчета узла сопряжения рубашки с корпусом сосуда с помощью кольца [см. рисунок А.2 (приложение А)] вычисляют по формулам:</p> <p>а) расчетные коэффициенты прочности сварного шва – формулы (20), (21);</p> <p>б) параметры кольца – формулы (22), (23), (24);</p> <p>в) относительный момент нагружения – формула (25);</p> <p>г) относительный реактивный момент в стенке сосуда – формула (26). Если $p_2 > p_1 > 0$, то в формулу (26) подставляют значение p_1, равное 0;</p> <p>д) относительный реактивный момент в стенке рубашки – формула (27);</p> <p>е) относительный реактивный момент в месте сопряжения кольца со стенкой сосуда – формула (28).</p>	С
п.5.4.2	<p>Допускаемое избыточное давление в рубашке.</p> <p>Допускаемое избыточное давление в рубашке вычисляют по формуле (29).</p>	С
п.5.4.3	<p>Кольцо сопряжения корпуса сосуда с рубашкой.</p> <p>Высоту кольца вычисляют по формулам (30), (31).</p> <p>При наличии в формуле (30) отрицательного значения под знаком радикала соответствующий член при определении максимума не учитывают. Если в обоих членах значения под знаком радикала отрицательны, то толщину кольца определяют по 4.2.4.</p>	С
п.5.4.4	<p>Расчет сварных швов.</p> <p>Размер сварного шва между сосудом и кольцом при сопряжениях [см. рисунок А.2а, б, г (приложение А)] вычисляют по формуле (32).</p>	С
п.5.5	<p>Весовая нагрузка от собственной массы сосуда с рубашкой.</p> <p>Весовые нагрузки от собственной массы сосуда G_1 и рубашки G_2 вызывают в конусе или в кольце осевое усилие $F = +G_2$, если опоры на сосуде, и $F = -G_1$, если опоры на рубашке.</p> <p>Проверку несущей способности от совместного действия осевого усилия и избыточного давления в рубашке следует проводить по формуле (33), где $[p_2]$ - допускаемое избыточное давление по формуле (13) для сопряжения с помощью конуса и по формуле (29) — для сопряжения с помощью кольца.</p>	С
п.5.6	<p>Проверка на малоцикловую прочность. Размах напряжений приближенно</p>	С

	вычисляют по формуле (34).	
п.5.6.1	Разность температурных относительных удлинений вычисляют по формуле (35). За расчетное принимают наибольшее абсолютное значение, которое получается за время рабочего цикла.	С
п.5.6.2	Общий эффективный коэффициент концентрации определяют по таблице 1.	С
п.5.6.3	Проверку на малоцикловую прочность проводят из условий (36), (37). Допускаемую амплитуду напряжения определяют по ГОСТ 34233.6. Допускаемое число рабочих циклов $[N]_0$ определяют по ГОСТ 34233.6 для соответствующей амплитуды напряжений (38).	С
п.6	Сосуды с цилиндрическими рубашками.	
п.6.1	Цилиндрические обечайки. Цилиндрические обечайки рассчитывают в соответствии с 5.1.1–5.1.3.	С
п.6.2	Сопряжение с помощью конуса. Конические сопряжения [см. рисунок А.1 (приложение А)] удовлетворяют требованиям прочности, если они выполнены с толщиной стенки, равной толщине стенки цилиндрической обечайки рубашки, и если они соответствуют требованиям 4.2.2 и условиям формулы (39).	С
п.6.3	Сопряжение с помощью кольца.	
п.6.3.1	Кольцо сопряжения корпуса сосуда с рубашкой Для сопряжения с помощью кольца [см. рисунок А.2 (приложение А)] высоту кольца вычисляют по формулам (40), (41).	С
п.6.3.2	Сварные швы. Размер сварного шва между сосудом и кольцом при сопряжениях, приведенных на рисунках А.2а, б, г (приложение А), вычисляют по формуле (42). Для колец при сопряжении, приведенном на рисунке А.2в (приложение А), размер сварного шва – по формуле (43).	С
п.6.4	Компенсаторы. Если по результатам расчета на малоцикловую прочность необходимо встроить в рубашку компенсатор (см. 6.6.3), то значение допускаемого избыточного давления в рубашке вычисляют для сопряжений с помощью конуса по формуле (13) и для сопряжений с помощью кольца по формуле (29). При этом коэффициент осевого усилия вычисляют по формуле (44). Компенсатор рассчитывают при нагружении давлением p_2 и силой реакции $F_K = -\frac{\pi}{4} p_2 D_2^2 A$.	С
п.6.5	Весовая нагрузка от собственной массы сосуда с рубашкой. Проверку несущей способности при нагружении конических или кольцевых сопряжений весовой нагрузкой от собственной массы сосуда с рубашкой проводят по формуле (45). При наличии компенсатора на рубашке формула (45) применима при условии, если опорные элементы сосуда не расположены на рубашке.	С
п.6.6	Проверка на малоцикловую прочность	
п.6.6.1	Сопряжение рубашки с корпусом сосуда с помощью конуса. Относительное продольное удлинение в рубашке вычисляют по формулам (46), (47). Относительное продольное удлинение рубашки должно удовлетворять условию (48). Расчетный коэффициент прочности сварного шва – формула (49). Размах напряжений в сварном шве между сосудом и конусом вычисляют по формулам (50), (51), (52) и таблице 1. Размах напряжений в сварном шве между рубашкой и конусом, приведенный на рисунках А.1 а, б (приложение А), вычисляют по формулам (53), (54). Проверку на малоцикловую прочность проводят по формуле (55), а для конусов — по рисункам А.1 а, б (приложение А), дополнительно по формуле (56). Допускаемые размахи напряжений или допускаемое число рабочих циклов определяют согласно 5.6.3. Индекс 1 относится к сварному шву между корпусом сосуда и сопряжением с помощью конуса, а индекс 2 — к сварному шву между рубашкой и сопряжением с помощью конуса.	С
п.6.6.2	Сопряжение рубашки с корпусом сосуда с помощью кольца [см. рисунок А.2 (приложение А)].	С

	<p>Относительное продольное удлинение в рубашке вычисляют по формуле (57). Относительное продольное удлинение рубашки должно удовлетворять условию (58).</p> <p>Расчетный коэффициент прочности сварного шва вычисляют по формуле (59) и таблице 2.</p> <p>Размах напряжений в сварном шве между сосудом и кольцом вычисляют по формуле (60).</p> <p>Размах напряжений в сварном шве между рубашкой и кольцом вычисляют по формуле (61).</p> <p>Проверку на малоцикловую прочность проводят по формулам (55) и (56), при этом допускаемые размахи напряжений или допускаемое число рабочих циклов определяют согласно 5.6.3. Индекс 1 относится к сварному шву между корпусом сосуда и кольцом, а индекс 2 — к сварному шву между рубашкой и кольцом.</p>	
п.6.6.3	Если не удовлетворяются требования малоцикловой прочности по 6.6.1 или 6.6.2, необходимо произвести конструктивные изменения, например предусмотреть компенсатор. В этом случае он должен воспринимать температурное удлинение. Дальнейший расчет следует выполнять по 6.4.	С
п.6.6.4	Допускается определять уточненное значение размаха напряжений, а также допускаемую амплитуду или допускаемое число циклов в соответствии с ГОСТ 34233.6.	С
п.7	Сосуды, частично охваченные рубашками, сопряженными с корпусом анкерными трубами или отбортовками.	
п.7.1	Цилиндрическая обечайка.	
п.7.1.1	Цилиндрическую обечайку сосуда рассчитывают по 34233.2 на внутреннее избыточное давление с расчетным давлением p_1 если $p_1 > 0$.	С
п.7.1.2	Если $p_1 < 0$, то цилиндрическую обечайку сосуда рассчитывают на наружное давление с расчетным давлением $ p_1 $ по ГОСТ 34233.2.	С
п.7.1.3	Части цилиндрической обечайки сосуда, охваченные рубашкой, и цилиндрические части рубашки при нагружении давлением p_2 рассчитывают по 7.3, как плоские участки. Если $p_1 < 0$, следует дополнительно выполнять условие по формуле (62) и требование 7.3.1, чтобы исключить появление вмятин на цилиндрической обечайке сосуда.	С
п.7.2	Днища.	
п.7.2.1	Выпуклые днища рассчитывают по ГОСТ 34233.2 на внутреннее избыточное давление с расчетным давлением p_1 если $p_1 > 0$, и на наружное давление с расчетным давлением $ p_1 $, если $p_1 < 0$.	С
п.7.2.2	Части цилиндрической обечайки сосуда, охваченные рубашкой, и цилиндрические части рубашки при нагружении давлением p_2 рассчитывают по 7.3, как плоские участки. При этом в формулы вместо толщины стенки цилиндрической обечайки s_1 подставляют толщину днища сосуда s_3 и вместо толщины стенки цилиндрической обечайки s_2 — толщину днища рубашки s_4 .	С
п.7.3	Плоские участки.	
п.7.3.1	Допускаемое избыточное давление в рубашке вычисляют по формулам (63), (64). Коэффициенты прочности f_5 и f_6 определяют по формулам (65), (66).	С
п.7.3.2	Расчет размеров плоских участков. Шаг вычисляют по формулам (67) – (69). Толщину стенок вычисляют по формулам (70) – (73). Для сосудов с рубашками на анкерных трубах значение s_2 определяют методом последовательных приближений с учетом зависимости s_2 от m по формуле (66).	С
п.7.3.3	Кревые зоны рубашек, сопряженных с корпусом анкерными трубами или отбортовками. Размеры сопряжений с помощью конуса определяют по 6.2 и размеры сопряжений с помощью кольца – по 6.3. Расстояния от края рубашки до первого ряда анкерных труб или отбортовок должны удовлетворять условиям (74), (75).	С
п.7.4	Определение толщины отбортовок. Толщину отбортовок [см. рисунок А.4 (приложение А)] вычисляют по формулам (76) – (78).	С

п.7.5	Определение толщины анкерных труб. Толщину анкерных труб [см. рисунок А.10 (приложение А)] вычисляют по формулам (79), (80). Размер сварного шва должен удовлетворять условию (81). Определяемые по формулам (80) и (81) размеры анкерных труб должны отвечать требованию 4.3.4.	С
п.7.6	Проверка на малоцикловую прочность.	
п.7.6.1	Размах напряжений в сварных швах вычисляют по формулам (82), (83). Коэффициенты K_3 и K_4 вычисляют по формулам (84) – (87). Коэффициент K_5 для сопряжения анкерными трубами определяют по приведенным в тексте параграфа формулам.	С
п.7.6.2	Размах напряжений в плоских участках вычисляют по формуле (88), (89).	С
п.7.6.3	Проверку на малоцикловую прочность проводят по формулам (90), (91). Допускаемые размахи напряжений или допускаемое число рабочих циклов определяют согласно 5.6.3. Индекс 3 относится к сварному шву между корпусом сосуда и сопряжением отбортовкой или к сварному шву между рубашкой и анкерной трубой, индекс 4 относится к рубашке.	С
п.7.7	Сосуды, полностью охваченные рубашками с сопряжением анкерными трубами или отбортовкой. Для приближенного расчета сосудов, полностью охваченных рубашками с сопряжением анкерными трубами или отбортовкой, допускается применение методики расчета сосудов, частично охваченных рубашками с сопряжением анкерными трубами или отбортовкой, представленной в разделе 7.	С
п.8	Сосуды со змеевиковыми или регистровыми каналами.	
п.8.1	Цилиндрическая обечайка.	
п.8.1.1	Цилиндрическую обечайку сосуда рассчитывают по ГОСТ 34233.2 на внутреннее избыточное давление с расчетным давлением p_1 если $p_1 > 0$.	С
п.8.1.2	Если $p_1 < 0$, то цилиндрическую обечайку сосуда рассчитывают на наружное давление с расчетным давлением $ p_1 $ по ГОСТ 34233.2.	С
п.8.1.3	В сосудах со змеевиковыми каналами [см. рисунок А.9а (приложение А)] канал можно рассматривать как кольцо жесткости и цилиндрическую обечайку рассчитывать, как укрепленную кольцами жесткости по ГОСТ 34233.2, при условии, что учитываются следующие особенности: а) шаг змеевикового канала t_s должен быть не более $0,3D_1$. Если $n_2 \leq n_3 + 1$, то цилиндрическую обечайку рассчитывают, как гладкую обечайку; б) расчетную длину l_2 при расчете по ГОСТ 34233.2 определяют, как осевое расстояние от начала или конца расчетной длины [см. рисунок А.9а (приложение А)] до места окончания первого витка змеевикового канала, охватывающего всю окружность рубашки; в) расчетные значения b , l_1 и l_e при расчете по ГОСТ 34233.2 вычисляют по формулам (92) – (94); г) используемые в ГОСТ 34233.2 величины e , I_k и A_k вычисляют по формулам (95) – (97).	С
п.8.1.4	Цилиндрическую обечайку сосуда при нагружении давлением в каналах вычисляют, как полосу обечайки шириной b_2 по 8.3.	С
п.8.2	Днища.	
п.8.2.1	Выпуклые днища рассчитывают по ГОСТ 34233.2 на внутреннее избыточное давление с расчетным давлением p_1 , если $p_1 > 0$, и на наружное давление с расчетным давлением $ p_1 $, если $p_1 < 0$.	С
п.8.2.2	Выпуклые днища при нагружении давлением p_2 в каналах вычисляют, как полосу обечайки шириной b_2 по 8.3.2.	С
п.8.3	Полоса обечайки под каналами.	
п.8.3.1	Каналы по окружности цилиндрической обечайки должны отвечать условию (98). Если $p_1 < 0$, то должно дополнительно выполняться условие (99). Если $p_2 > p_1 > 0$, то должно дополнительно выполняться условие (100).	С
п.8.3.2	Каналы вдоль оси цилиндрической обечайки и каналы на днище вычисляют по формуле (101).	С
п.8.4	Каналы.	
п.8.4.1	Вспомогательные параметры. Коэффициент V понижения прочности в зоне сопряжения штуцера с каналом рассчитывают по ГОСТ 34233.3. Если канал и штуцер выполнены из трубы	С

	<p>одинаковых размеров и материала, то коэффициент V вычисляют по формуле (102).</p> <p>Коэффициент прочности сварного шва вычисляют по формулам (103) – (105).</p> <p>Коэффициенты понижения прочности каналов вычисляют по формулам (106), (107).</p>	
п.8.4.2	Допускаемое избыточное давление в канале вычисляют по формуле (108).	С
п.8.4.3	Толщину стенки канала вычисляют по формулам (109), (110), (111).	С
п.8.5	<p>Распределительные каналы в сосудах с регистровыми каналами.</p> <p>Расчет распределительных каналов в сосудах с регистровыми каналами [см. рисунок А.9б (приложение А)] проводят в соответствии с 8.4, с использованием формул (112) – (114).</p>	С
п.8.6	Проверка на малоцикловую прочность.	
п.8.6.1	Размах напряжений в сварных швах между сосудом и каналом вычисляют по формулам (115) – (118).	С
п.8.6.2	Размах напряжений в поперечном сечении канала вычисляют по формуле (119).	С
п.8.6.3	<p>Проверку на малоцикловую прочность проводят из условий (120), (121).</p> <p>Допускаемые размахи напряжений или допускаемое число рабочих циклов определяют согласно 5.6.3. Индекс 5 относится к сварному шву между корпусом сосуда и каналом, а индекс 6 — к каналам.</p>	С
Приложение А	Рисунки, поясняющие текст стандарта и расчетные размеры.	С

ГОСТ 34233.9-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа.	
п.4	Общие положения.	
п.4.1	Расчетные параметры аппаратов колонного типа.	
п.4.1.1	К рассматриваемым аппаратам колонного типа относятся вертикальные цилиндрические аппараты, опирающиеся на цельносварные конструкции, состоящие из цилиндрических и/или конических обечаек, опорных колец и укрепляющих элементов.	С
п.4.1.2	Основные расчетные параметры для аппаратов колонного типа принимаются в соответствии с ГОСТ 34233.1. Расчет на статическую прочность и устойчивость аппаратов колонного типа выполняют по ГОСТ 34233.2 – ГОСТ 34233.4, ГОСТ 34233.10.	С
п.4.1.3	Для аппаратов, работающих при переменных нагрузках, проводят оценку малоциклового прочностности по ГОСТ 34233.6.	С
п.4.1.4	Расчетные силы и изгибающие моменты от ветровых, сейсмических и других внешних нагрузок определяют по ГОСТ 34283. Расчету на ветровую нагрузку подлежат аппараты, устанавливаемые на открытой площадке. Расчету на сейсмическое воздействие подлежат аппараты, предназначенные для установки в сейсмических районах на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64.	С
п.4.1.5	Расчетные силы и изгибающие моменты от присоединяемых трубопроводов определяют из расчета на прочность трубопроводной обвязки аппарата. Если нагрузки от присоединяемых трубопроводов представлены в виде условных таблиц, то их рассматривают только как местные нагрузки и учитывают при расчете узлов врезки штуцеров по ГОСТ 34233.3 и расчете фланцев по ГОСТ 34233.4.	С
п.4.1.6	Расчет на прочность и устойчивость при совместном действии нагрузок выполняют при различном состоянии аппаратов (монтаже, испытании, эксплуатации).	С
п.4.2	Расчетные сечения и расчетные узлы. При расчете аппаратов колонного типа проверяют следующие расчетные сечения: - поперечное сечение корпуса в месте присоединения опорной обечайки (см. рисунок 1, сечение В—В), поперечные сечения корпуса, отличающиеся по диаметру и/или толщине, по различному материальному исполнению, расчетной температуре и/или давлению и т. д. - поперечное сечение опорной обечайки в месте присоединения к корпусу (см. рисунок 2, сечение Г—Г), а также для составной опорной обечайки — поперечное сечение в зоне соединения цилиндрической и конической обечаек; - поперечное сечение опорной обечайки в местах расположения отверстий (см. рисунок 2, сечение Д—Д); - поперечное сечение опорной обечайки в месте присоединения нижнего опорного кольца (см. рисунок 2, сечение Е—Е). Для проверки элементов опорного узла (см. рисунок 5) и фундаментных болтов используют расчетные нагрузки сечения Е—Е (см. рисунок 2). Оценку локальных напряжений от местных нагрузок проводят в расчетных узлах, где приложены эти нагрузки (см. рисунок 1, сечения А—А и Б—Б).	С
п.5	Расчетные нагрузки.	
п.5.1	Расчетные давления. Для каждого расчетного сечения аппарата устанавливают расчетные давления в рабочих условиях и в условиях испытания по ГОСТ 34233.1.	С
п.5.2	Расчетные осевые силы. При определении расчетной осевой силы F для каждого расчетного сечения аппарата учитывают весовые нагрузки G_1, G_2, G_3 , а также другие внешние силы, действующие в вертикальном направлении на полную площадь сечения.	С
п.5.3	Расчетные поперечные силы. При определении расчетной поперечной силы Q для каждого расчетного сечения аппарата учитывают нагрузки Q_1, Q_2, Q_3 , а также другие внешние силы, действующие в горизонтальном направлении на полную площадь сечения.	С
п.5.4	Расчетные изгибающие моменты. При определении расчетного изгибающего	С

	момента M для каждого расчетного сечения аппарата учитывают изгибающие моменты $M_{G1}, M_{G2}, M_{G3}, M_{R1}, M_{R3}, M_{V1}, M_{V2}, M_{V3}, M_{VR}$, а также другие внешние изгибающие моменты, действующие на полную площадь сечения.	
п.5.5	Снеговые нагрузки. При расчете аппаратов колонного типа снеговые нагрузки не учитывают.	С
п.5.6	Температурные нагрузки.	
п.5.6.1	При наличии в элементах конструкции аппарата колонного типа, включая его опорные части, значительных температурных перепадов, неравномерного и нестабильного распределения температур, соединения материалов с различными коэффициентами линейного расширения, наружных колец жесткости, узлов ввода горячего продукта в холодный аппарат или холодного продукта – в горячий и т. д. следует дополнительно определять местные температурные напряжения. Если рабочая температура корпуса аппарата в месте приварки опоры превышает 360°C , следует выполнять оценку напряжений от стесненности температурных деформаций в зоне сопряжения корпуса аппарата с опорной обечайкой.	С
п.5.6.2	Температурные напряжения определяют специальными методами расчета. Метод расчета температурных напряжений следует выбирать в соответствии с ГОСТ 34233.1 (пункт 5.7). Оценку результатов расчета напряженно-деформированного состояния с учетом температурных напряжений проводят в соответствии с ГОСТ 34233.1 (пункт 8.10).	С
п.5.6.3	Для уменьшения температурных напряжений в месте соединения корпуса с опорной обечайкой применяют специальные конструктивные решения, например предусматривают конструктивную не изолированную изнутри воздушную полость – горячую камеру (см. рисунок 3) для интенсификации теплообмена излучением между корпусом аппарата и верхней частью опорной обечайки. Необходимые размеры элементов специальных конструктивных решений устанавливают на основе анализа температурных напряжений.	С
п.5.7	Местные нагрузки. Расчет локальных напряжений в элементах аппарата от действия местных нагрузок, вызываемых присоединяемыми трубопроводами, площадками, кронштейнами и т. д. (см. рисунок 1, сечения А—А, Б—Б), проводят по ГОСТ 34233.3, ГОСТ 34233.4, ГОСТ 34233.5. Если не выполняются условия применимости нормативных расчетных методик, то расчет проводят специальными методами. При расчете мест крепления обслуживающих площадок следует учитывать максимально возможную нагрузку на них, включая нагрузку от массы обслуживающего персонала, определяемую в соответствии с требованиями строительных норм и правил.	С
п.5.8	Расчетная температура. Расчетную температуру для каждого элемента аппарата колонного типа устанавливают по ГОСТ 34233.1. Расчетную температуру для условий испытания и монтажа аппарата колонного типа принимают равной 20°C .	С
п.5.9	Сочетания нагрузок.	
п.5.9.1	Расчет аппарата колонного типа проводят для рабочих условий, условий испытаний и монтажа. Сочетания нагрузок для этих условий приведены в таблице 1.	С
п.6	Корпус аппарата колонного типа.	
п.6.1	Проверка прочности. Стенки аппарата колонного типа, работающего под действием внутреннего избыточного или наружного давления, должны быть проверены на прочность при совместном действии давления, расчетных сил и расчетных изгибающих моментов от весовых, ветровых, сейсмических и других внешних нагрузок. Проверку прочности стенки корпуса аппарата проводят во всех расчетных сечениях, перечисленных в 4.2. Эквивалентные напряжения от совместного действия давления, расчетных сил и расчетных изгибающих моментов от весовых, ветровых, сейсмических и других внешних нагрузок рассчитывают с использованием критерия максимальных касательных напряжений.	С
п.6.1.1	Расчет напряжений от совместного действия нагрузок.	
п.6.1.1.1	Общие мембранные меридиональные напряжения в цилиндрических	С

	обечайках колонного аппарата, включая опору, вычисляют по формулам (1), (2).	
п.6.1.1.2	Общие мембранные кольцевые напряжения вычисляют по формуле (3).	С
п.6.1.1.3	Для того, чтобы получить общие мембранные меридиональные и кольцевые напряжения и в конических обечайках колонного аппарата, включая опору, значения напряжений, рассчитанные по формулам (1), (2) и (3), следует умножить на $1/\cos\alpha_1$.	С
п.6.1.1.4	Эквивалентные напряжения по теории наибольших касательных напряжений вычисляют по формулам (4), (5).	С
п.6.1.2	Условия прочности. Условия прочности аппарата колонного типа при совместном действии нагрузок проверяют по формуле (6). Если в стенке аппарата в месте соединения с опорой возникают дополнительные напряжения, вызванные смещением нейтральных осей в узле соединения опоры с корпусом (см. рисунок 4), и/или дополнительные напряжения, вызванные стесненностью температурных деформаций (см. 5.6), следует выполнить оценку этих напряжений совместно с напряжениями от действия давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы (см. таблицу 1). Оценку прочности выполняют в соответствии с ГОСТ 34233.1—2017 (пункт 8.10).	С
п.6.2	Проверка устойчивости. Устойчивость аппарата колонного типа при совместном действии нагрузок проверяют в рабочих условиях и условиях испытания. Проверку на устойчивость следует проводить в соответствии с ГОСТ 34233.2 (пункт 5.3.7). При этом: - допускаемое осевое сжимающее усилие, определяемое из условий местной устойчивости в пределах упругости, следует рассчитывать в соответствии с ГОСТ 34233.2—2017 (раздел 5) для цилиндрических обечаек и ГОСТ 34233.2—2017 (раздел 8) — для конических обечаек; - допускаемое осевое сжимающее усилие, определяемое из условий общей устойчивости в пределах упругости, следует рассчитывать, используя расчетную схему защемленной в нижнем сечении балки Эйлера переменного кольцевого сечения с сосредоточенными в узлах массами. Для аппарата постоянного сечения с равномерно распределенной по высоте сжимающей нагрузкой допускается определять допускаемое осевое сжимающее усилие в соответствии с ГОСТ 34233.2—2017 (подпункт 5.3.4.1). Расчетную осевую силу F , расчетный изгибающий момент M , расчетную поперечную силу Q для каждого расчетного сечения принимают по таблице 1.	С
п.7	Опорная обечайка.	
п.7.1	Проверка прочности.	
п.7.1.1	Опорную обечайку проверяют на прочность для рабочих условий и условий испытания. Проверку прочности опорной обечайки по формулам (1)–(6) проводят в расчетных сечениях Г—Г и Е—Е (см. рисунок 2). Если опорная обечайка состоит из нескольких частей, отличающихся толщиной, конструктивным (верхняя часть – цилиндрическая, нижняя – коническая) или материальным исполнением, следует также выполнить проверку прочности в местах соединения частей опорной обечайки. Расчетную осевую силу F и расчетный изгибающий момент M принимают по таблице 1.	С
п.7.1.2	В случае смещения нейтральных осей в узле соединения опоры с корпусом учитывают дополнительные напряжения из-за смещения этих осей (см. рисунок 4). Оценку этих напряжений совместно с напряжениями от действия осевой сжимающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы (см. таблицу 1), а также с напряжениями, вызванными стесненностью температурных деформаций (см. 5.6), проводят в соответствии с ГОСТ 34233.1—2017 (пункт 8.10).	С
п.7.1.3	Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой (см. рисунок 2 сечение Г—Г), проводят по формуле (7).	С
п.7.2	Проверка устойчивости.	
п.7.2.1	Опорную обечайку проверяют на устойчивость в рабочих условиях и	С

	условиях испытания. Проверку на устойчивость следует проводить в соответствии с ГОСТ 34233.2. Расчетную осевую силу F , расчетный изгибающий момент M и расчетную поперечную силу Q при проверке на устойчивость принимают по таблице 1 для тех же расчетных сечений, что и при проверке на прочность (см. 7.1.1).	
п.7.2.2	Прочность и устойчивость опорной обечайки в зоне отверстий (см. рисунок 2 сечение Д—Д) определяют по формулам (8), (9).	С
п.8	Элементы опорного узла.	
п.8.1	Расчет элементов опорного узла (см. рисунок 5) следует проводить для рабочих условий и условий испытания. Расчетные осевые силы F и изгибающие моменты M принимают по таблице 1 для расчетного сечения Е—Е (см. рисунок 2).	С
п.8.2	Толщину нижнего опорного кольца вычисляют по формулам (10), (11). Дополнительно для опорных колец исполнения 4 (см. рисунок 5) толщину нижнего опорного кольца s_1 проверяют по формуле (12).	С
п.8.3	Ширина нижнего опорного кольца опоры аппарата, устанавливаемого на бетонном фундаменте, должна отвечать условию (13).	С
п.8.4	Толщину верхнего опорного кольца, вычисляют по формулам (14), (15). При наличии усиливающей пластины толщиной s_3 , приваренной к верхнему опорному кольцу, расчет проводят по формулам (16), (17).	С
п.8.5	Толщину ребра вычисляют по формуле (18). Ребра с соотношением $(b_2/s_4) > 20$ необходимо дополнительно проверять на устойчивость.	С
п.8.6	Проверку прочности опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца проводят по формулам (19), (20).	С
п.8.7	Проверку прочности сварного шва приварки нижнего опорного кольца исполнения 4 (см. рисунок 5) к опорной обечайке проводят по формуле (21). Для опорных колец исполнений 1, 2, 3 (см. рисунок 5) проверку по формуле (21) не проводят.	С
п.9	Фундаментные болты.	
п.9.1	Расчет фундаментных болтов необходимо проводить для рабочих условий и условий монтажа, $M > 0,44FD_6$. Расчетные осевые силы F и изгибающие моменты M принимают по таблице 1 для расчетного сечения Е—Е (см. рисунок 2). Когда $M \leq 0,44FD_6$, диаметр и число болтов принимают конструктивно.	С
п.9.2	Внутренний диаметр резьбы фундаментных болтов вычисляют по формулам (22), (23).	С
Приложение А	Допускаемые напряжения фундаментных болтов и бетона.	С

ГОСТ 34233.10-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами.	
п.4.2	<p>Сероводородное коррозионное растрескивание возникает при рабочих температурах сероводородсодержащих сред, при которых может происходить конденсация влаги. Предельная температура коррозионной активности сероводородсодержащих рабочих сред является максимальной температурой насыщения водяного пара, зависящей от его парциального давления и массовой доли воды в рабочей среде.</p> <p>При отсутствии более точных сведений о наличии влаги в рабочей среде принимают предельную температуру коррозионной активности сероводородсодержащих рабочих сред $t_{пр}$, равной 250 °С.</p>	С
п.4.3	<p>Сосуды и аппараты, работающие в контакте с коррозионно-активными сероводородсодержащими средами, в зависимости от парциального давления сероводорода RH_2S и водородного показателя pH жидкой фазы рабочей среды, подразделяют на пять категорий в соответствии с таблицей 1.</p> <p>Парциальное давление газовой фазы сероводорода вычисляют по формуле (1).</p>	С
п.4.4	<p>Если рабочая температура среды в процессе эксплуатации всегда более $t_{пр}$, расчет выполняют по ГОСТ 34233.1 - ГОСТ 34233.9, ГОСТ 34233.11 при установленной расчетной температуре.</p> <p>Если возможна работа сосуда при температуре ниже $t_{пр}$, то проводят два расчета по определению основных размеров элементов, контактирующих с сероводородсодержащей средой: 1) при расчетной температуре с допускаемыми напряжениями по ГОСТ 34233.1; 2) при температуре, равной $t_{пр}$, с допускаемыми напряжениями согласно разделу 5 в зависимости от парциального давления сероводорода RH_2S и водородного показателя pH жидкой фазы рабочей среды.</p>	С
п.5.1	<p>Допускаемые напряжения в рабочих условиях $[\sigma]$ при расчете по ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.9, ГОСТ 34233.11 элементов сосудов и аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей, работающих при статических и повторно-статических нагрузках в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах, вычисляют по формуле (1).</p>	С
п.5.2	<p>Расчетные значения предела текучести и временного сопротивления для сталей принимаются по ГОСТ 34233.1 (таблицы Б.1 и Б.2).</p>	С
п.5.3	<p>Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности для условий монтажа и условий испытаний определяют по ГОСТ 34233.1.</p>	С
п.5.4	<p>Коэффициенты запаса устойчивости для элементов сосудов и аппаратов, работающих в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах, определяют по ГОСТ 34233.1.</p>	С
п.5.5	<p>Пределы текучести, временные сопротивления и коэффициенты линейного расширения сталей марок 20Юч*, 20КА** и 09ГСНБЦ***, используемых для изготовления сосудов и аппаратов I, II и IV категорий по таблице 1, принимают такими же, как для сталей марок 20 и 09Г2С соответственно, по ГОСТ 34233.1 (таблицы Б.1 и Б.2).</p>	С
п.5.6	<p>Допускаемые напряжения для сталей, не приведенных в ГОСТ 34233.1 (таблицы Б.1 и Б.2), но рекомендованных для изготовления сосудов и аппаратов, предназначенных для эксплуатации в коррозионно-активных сероводородсодержащих влажных средах, принимают по гарантируемым значениям механических характеристик в соответствии со стандартами или техническими условиями на стали или сертификатами на материалы.</p>	С
п.5.7	<p>При проверке условий статической прочности элементов сосудов и аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах и рассчитываемых не по предельным нагрузкам, а на основании численного анализа напряженного состояния, отдельно оценивают напряжения на поверхности, контактирующей с сероводородсодержащей средой, и отдельно - на поверхностях, не контактирующих с сероводородсодержащей средой.</p> <p>Критерии прочности, допускаемые напряжения и коэффициенты запаса для элементов с не контактирующими с сероводородсодержащей средой поверхностями определяют по соответствующим нормативно-техническим документам.</p> <p>Для элементов с контактирующей с коррозионно-активной сероводородсодержащей средой поверхностью допускаемые напряжения</p>	С

	определяют с учетом коэффициентов запаса прочности в соответствии с 5.1.	
п.5.8	<p>Для оценки условно упругих напряжений, полученных численными методами, такими как метод конечных элементов, используют условия прочности по ГОСТ 34233.1 (пункт 8.10).</p> <p>Допускаемые напряжения $[\sigma]$ для общих растягивающих мембранных напряжений, действующих по всему сечению элемента с контактирующей с сероводородсодержащей средой поверхностью, определяют в соответствии с 5.1. Допускаемые напряжения $[\sigma]$ для общих сжимающих мембранных напряжений, действующих по всему сечению элемента с контактирующей с сероводородсодержащей средой поверхностью, определяют по ГОСТ 34233.1. В зонах краевых эффектов используют допускаемые напряжения $[\sigma]_m = 1,5[\sigma]$ и $[\sigma]_R = 3[\sigma]$, где $[\sigma]$ определяют в соответствии с 5.1 для оценки только растягивающих местных мембранных, общих и местных изгибных напряжений в элементе сосуда или аппарата на поверхности, контактирующей с сероводородсодержащей средой. Оценку напряжений на остальных поверхностях проводят так же, как для обычных сосудов и аппаратов, работающих в тех же условиях, но не подверженных воздействию коррозионно-активных сероводородсодержащих сред.</p>	С
п.6	Прибавки к расчетным толщинам элементов, работающих под внутренним давлением в контакте с коррозионно-активными сероводородсодержащими средами.	
п.6.1	При расчете элементов сосудов и аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей, работающих под внутренним давлением в контакте с коррозионно-активными сероводородсодержащими средами, необходимо учитывать прибавку для компенсации коррозии не менее 3мм. Остальные прибавки принимают в соответствии с ГОСТ 34233.1 (раздел 12).	С

ГОСТ 34233.11-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек.	С
п.4.1	Приведенный в настоящем стандарте расчет применим, если предварительно определены в соответствии с ГОСТ 34233.2 и ГОСТ 34233.6 толщины стенок элементов и допускаемые давления для элементов сосудов и аппаратов, удовлетворяющих техническим требованиям к качеству изготовления и контроля по ГОСТ 34347 и другим нормативным документам.	С
п.4.2	Расчетные значения допускаемых напряжений и механических характеристик материала принимаются по ГОСТ 34233.1.	С
п.4.3	Формулы применимы для сосудов, изготовленных из материалов, пластичных в условиях эксплуатации.	С
п.4.6	Максимальные расчетные напряжения в местах нарушения правильной формы обечаек и днищ определяются в предположении неограниченной упругости материала согласно ГОСТ 34233.1 (пункт 8.10).	С
п.5	Смещения кромок сварных соединений представлены на рисунках А.1, А.2 (приложение А).	
п.5.1	Смещение кромок продольного сварного соединения цилиндрической или конической обечайки.	
п.5.1.1	Проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением. Максимальное расчетное напряжение для цилиндрической обечайки вычисляют по формуле (1). Условие прочности $\sigma_{max} \leq 1,5[\sigma]$. Максимальное расчетное напряжение для конической обечайки вычисляют по формуле (2). Условие прочности $\sigma_{max} \leq 1,5[\sigma]$.	С
п.5.1.2	Проверка устойчивости при нагружении наружным давлением. Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (3). Допускаемое давление из условий устойчивости $[p]_E$ определяют по ГОСТ 34233.2. Допускаемое давление из условий прочности вычисляют по формулам (4), (5), (6). При совместном действии наружного давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы должна быть проведена проверка на устойчивость по ГОСТ 34233.2 (пункт 5.3.7). При этом должно использоваться меньшее из значений допускаемого наружного давления, определенного по ГОСТ 34233.2 и формуле (14).	С
п.5.2	Смещение кромок кольцевого сварного соединения в цилиндрической или конической обечайке.	
п.5.2.1	Проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением. Максимальное напряжение для цилиндрической обечайки вычисляют по формуле (7). Условие прочности $\sigma_{max} \leq 1,5[\sigma]$. Максимальное напряжение для конической обечайки вычисляют по формуле (8). Условие прочности $\sigma_{max} \leq 1,5[\sigma]$.	С
п.5.2.2	Проверку устойчивости при нагружении наружным давлением следует выполнять по ГОСТ 34233.2.	С
п.5.3	Оценка малоциклового прочностии. При малоциклового нагрузке в дополнение к расчету по пунктам 5.1, 5.2 следует выполнить проверку по ГОСТ 34233.6. При этом амплитуду напряжений вычисляют по формуле (9). Эффективный коэффициент концентрации K_s принимают по таблице А.1 (приложение А). Условие прочности при малоциклового нагружении $\sigma_a \leq [\sigma_a]$.	С
п.6	Общая некруглость цилиндрических обечаек (овальность).	
п.6.1	Проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением.	
п.6.1.1	Определение максимальных напряжений. Максимальное напряжение вычисляют по формуле (12). Предварительно проверяют условие прочности обечайки без учета овальности по ГОСТ 34233.2. Затем проверяют условие прочности с учетом овальности	С

	обечайки по формуле (2).	
п.6.1.2	Оценка малоциклового прочностии. При малоциклового нагрузке в дополнение к расчету по 6.1.1 следует выполнить проверку по ГОСТ 34233.6. При этом амплитуду напряжений вычисляют по формуле (13). Условие прочностии при циклическом нагружении $\sigma_a \leq [\sigma_a]$.	С
п.6.2	Расчет обечаек, нагруженных наружным давлением.	
п.6.2.1	Определение допускаемого давления. Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле (14). Допускаемое давление из условия устойчивости овальной обечайки в пределах упругости вычисляют по формулам (15), (16), (17). Допускаемое давление из условия прочностии вычисляют по формулам (18) – (21). При совместном действии наружного давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы должна быть проведена проверка на устойчивость по ГОСТ 34233.2 (пункт 5.3.7). При этом должно использоваться меньшее из значений допускаемого наружного давления, определенного по ГОСТ 34233.2 и формуле (14).	С
п.6.2.2	Оценка малоциклового прочностии При малоциклового нагрузке, в дополнение к расчету по 5.1, 5.2, следует выполнить проверку по ГОСТ 34233.6. Амплитуду напряжений в условиях циклического нагружения наружным давлением вычисляют по формуле (22). Условие прочностии при циклической нагрузке $\sigma_a \leq [\sigma_a]$.	С
п.7	Локальная некруглость (увод сварных соединений, вмятины). Под локальной некруглостью [см. рисунок А.4 (приложение А)] понимается отклонение оболочки от правильной формы, распределенное на часть окружности и обусловленное уводом кромок сварного шва или вмятиной.	С
п.7.1	Проверка прочностии при нагружении внутренним избыточным давлением.	
п.7.1.1	Определение максимальных напряжений. Максимальное напряжение вычисляют по формулам (23) – (27).	С
п.7.1.2	Проверка прочностии. Предварительно проверяют условие прочностии без учета отклонений от идеальной геометрической формы обечаек по ГОСТ 34233.2. Затем проверяют условие прочностии с учетом местных напряжений по формуле (28).	С
п.7.2	Расчет обечаек, нагруженных наружным давлением. Допускаемое давление вычисляют по формулам (14)–(17). Параметр, входящий в формулу (15), вычисляют по формулам (29) – (32). При совместном действии наружного давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы должна быть проведена проверка на устойчивость по ГОСТ 34233.2 (пункт 5.3.7). При этом следует использовать меньшее из значений допускаемого наружного давления, определенного по ГОСТ 34233.2 и формуле (14).	С
п.7.3	Оценка малоциклового прочностии. При малоциклового нагрузке в дополнение к расчету по пунктам 7.1, 7.2, следует выполнить проверку по ГОСТ 34233.6. Амплитуду напряжений в условиях малоциклового нагружения вычисляют по формуле (33). Эффективный коэффициент концентрации K_s , принимают по таблице А.1 (приложение А). Условие прочностии при циклической нагрузке $\sigma_a \leq [\sigma_a]$.	С
Приложение А	Рисунки и таблица, поясняющие текст стандарта	С

ГОСТ 34233.12-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ.	
п.3	Общие положения	
п.3.1	Для расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ по ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11, регламентирующим нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов, следует использовать про граммы, полностью соответствующие области и условиям применения стандартов, содержащие четко разграниченные разделы, соответствующие применяемым стандартам.	С
п.3.2	Расчетные зависимости, заложенные в программы, должны в точности соответствовать ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11.	С
п.3.3	Если в программах используют иные зависимости или методы расчета дополнительно к при веденным в ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11, на это в каждом конкретном случае должно быть указано в документации к программам и в распечатке отчета о выполненном расчете.	С
п.3.4	Ответственность за соответствие программ для расчета на прочность требованиям ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.12 лежит на организации (предприятию или физическом лице) — разработчике программы.	С
п.3.5	Пользователь программ для расчета на прочность ответственен за выбор и корректное применение программ для расчета на прочность и правильность вводимых им исходных данных.	С
п.4	Форма представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ	
п.4.1	Распечатки отчетов о выполненных расчетах должны быть оформлены так, чтобы их можно было непосредственно использовать в качестве документации по расчету на прочность.	С
п.4.2	В распечатке расчета должны быть приведены сведения об использованной программе, включая наименование, номер версии и данные об аттестации программы.	С
п.4.3	распечатке расчета должны быть приведены сведения, позволяющие однозначно идентифицировать каждый из рассчитанных элементов сосуда или аппарата (наименование, номер чертежа, номер позиции в спецификации или иные данные).	С
п.4.4	В распечатке расчета должны быть приведены сведения, позволяющие однозначно идентифицировать каждый из рассчитанных элементов сосуда или аппарата (наименование, номер чертежа, номер позиции в спецификации или иные данные).	С
п.4.5	В распечатке расчета должны быть приведены все исходные данные, используемые в рас чете, включая данные о материалах, расчетной температуре, нормализованных элементах, например болтах или шпильках, и т. д. Наименования и условные обозначения исходных данных должны соответствовать принятым в соответствующих стандартах.	С
п.4.6	В распечатке расчета должны быть приведены основные и промежуточные результаты расчета в объеме, достаточном для того, чтобы сделать выводы о прочности, устойчивости, долговечности, герметичности, необходимых толщинах элементов конструкции и других параметрах, оценка которых предусмотрена используемым стандартом, а также в случае необходимости провести полную верификацию выполненного расчета.	С
п.4.7	Результаты расчета на прочность должны быть подтверждены заключением о выполнении условий прочности, устойчивости, герметичности и т. д. При этом действующие на конструкцию нагрузки В сравнивают с допускаемыми нагрузками [В]: $V \leq [B]$ или $V/[B] \leq 1$. При непосредственном определении расчетных значений толщин стенок s_p их можно сравнить с действительными значениями толщины стенки минус сумма прибавок: $s_p \leq s - c$. Эта проверка допускается только в том случае, когда используемый в стандарте метод определения размеров не предназначен для предварительной оценки расчетной толщины. Более сложные условия прочности (например, для комбинированных нагрузок или проверок усталостной прочности) представляются в виде, предусмотренном соответствующим стандартом на расчет.	С
п.4.8	Для всех исходных данных и результатов расчета необходимо привести их условные обозначения и единицы измерения физических величин, принятых в	С

	стандартах по расчету на прочность.	
п.4.9	Значения исходных данных и результатов расчета, представляющих собой вещественные числа, должны приводиться с точностью, соответствующей физическому смыслу величины и точности используемого метода расчета. Если точность представления (округления) величины в явном виде указывается в стандарте на расчет, как, например, точность представления величин допускаемых напряжений в ГОСТ 34233.1, точность ее представления в распечатке отчета должна соответствовать требованиям стандарта на расчет. Для величин, фигурирующих в распечатках отчетов о расчетах на прочность, точность представления которых не регламентируется в явном виде в стандартах на расчет, точность представления, соответствующая физическому смыслу и точности используемого метода расчета, составляет обычно от трех до пяти значащих цифр.	С
п.4.10	Вещественные числа в распечатках расчетов могут быть представлены в виде десятичной дроби или в экспоненциальной форме с основанием 10. Размеры в дюймах могут быть представлены в виде обычной дроби.	С
п.4.11	В качестве разделителя целой и дробной части вещественного числа может использоваться как точка, так и запятая, но при этом во всей распечатке отчета о выполненном расчете должен использоваться один и тот же разделитель.	С
п.4.12	Числа в экспоненциальной форме могут быть представлены в виде произведения целого или десятичного числа на 10 в необходимой степени, например $2,5 \cdot 10^6$, или в виде целого или десятичного числа, буквы «Е» и следующего за ней показателя степени, например 2,5Е6. Показатель степени может быть как положительным, так и отрицательным числом.	С
п.4.13	Распечатки отчетов о выполненных расчетах могут включать в себя расчетные формулы, поясняющие рисунки или любые другие материалы, облегчающие восприятие и проверку результатов расчета.	С
п.4.14	Верхние и нижние индексы в распечатках отчетов о выполненных расчетах допускается печатать буквой или цифрой в одной строке с основным обозначением, например d1 вместо d_1 или dA вместо d_A .	С
п.4.15	Допускается использовать в распечатках отчетов о выполненных расчетах обозначения букв греческого алфавита, напечатанные кириллицей или латинским шрифтом, например: α = альфа или АЛЬФА, alpha или ALPHA; σ = сигма или СИГМА, sigma или SIGMA.	С
п.4.16	Допускается использовать в распечатках отчетов о выполненных расчетах обозначение степени числа знаком «^», например $P^2 = P^2$.	С
п.4.17	Если распечатка отчета о выполненном расчете является частью конструкторской документации или входит в состав экспертизы, обоснования продления срока службы или иного документа, к оформлению которого предъявляются специальные требования, распечатка отчета, непосредственно используемая в качестве составной части упомянутой документации, должна отвечать соответствующим специальным требованиям, содержащимся в регламентирующих оформлении этой документации стандартах. Если отчет выпускается в виде электронного документа, должны дополнительно выполняться требования ГОСТ 2.051 и ГОСТ 2.052.	С
п.5	Дополнительные требования к представлению расчетов на прочность, выполняемых с использованием численных и специальных методов.	
п.5.1	Распечатка отчета о выполненном расчете должна содержать достаточно подробное описание использованного метода для того, чтобы дать однозначное и точное представление о нем. Если используют широко распространенный метод, например метод конечных элементов, достаточно дать ссылку на него. Если используют специальный метод, не имеющий широкого распространения, необходимо привести более подробное описание, включая основные формулы и/или теоретические зависимости, лежащие в основе метода.	С
п.5.2	Должно быть приведено подробное описание геометрии расчетной модели, включая все необходимые для ее воспроизведения размеры, сведения о прибавках, которые вычитаются из номинальных толщин элементов модели при расчете на различные сочетания нагрузок, и т. д.	С
п.5.3	Должны быть приведены все действующие на расчетную модель нагрузки и	С

	<p>граничные условия при всех рассматриваемых в расчете сочетаниях нагрузок. Если поведение расчетной модели зависит от скорости нагружения, продолжительности действия тех или иных нагрузок или условий нагружения и т. д., то эти данные также должны быть приведены в отчете о выполненном расчете.</p>	
п.5.4	<p>Должны быть приведены все используемые в расчете физические и механические свойства материалов: модули упругости, коэффициенты Пуассона, коэффициенты линейного расширения, кривые зависимости напряжений от деформации, плотность, теплопроводность, температуропроводность, временное сопротивление, предел текучести, характеристики длительной прочности и ползучести, характеристики циклической прочности и т. д.</p>	С
п.5.5	<p>Если в расчете учитывают физическую или геометрическую нелинейность, должно быть приведено описание используемой модели материала.</p>	С
п.5.6	<p>Должно быть приведено описание используемой методики численного анализа: расчет напряженно-деформированного состояния в статической или динамической постановке, определение предельных нагрузок, расчет температурных полей в стационарной или нестационарной постановке, определение верхней или нижней критической нагрузки при расчете на устойчивость, расчет собственных частот и форм колебаний и т. д.</p>	С
п.5.7	<p>В случае использования метода конечных элементов должно быть приведено описание используемых конечных элементов.</p>	С
п.5.8	<p>Информация, описанная в 5.1—5.7, должна быть представлена в объеме, достаточном для того, чтобы можно было независимо воспроизвести расчетную модель и выполнить поверочные расчеты.</p>	С
п.5.9	<p>В отчете о выполненном расчете должны быть приведены ссылки на использованное программное обеспечение. По договоренности между заказчиком и исполнителем расчета к отчету допускается прилагать данные на электронных носителях или в электронном виде, включающие базы данных, файлы с исходными данными в электронной форме, которые могут непосредственно использоваться соответствующими расчетными программами, макросы, специально разработанные программы и т. д.</p>	С
п.5.10	<p>В отчете должна быть приведена информация о верификации (валидации) расчетной модели и используемой сетки.</p>	С
п.5.11	<p>Результаты расчета должны быть приведены в объеме, достаточном для получения полных данных о температурных полях, напряженно-деформированном состоянии, прочности, устойчивости и других параметрах, получение информации и оценка которых являлась целью расчета. При этом в расчете должны быть однозначно определены методы, с помощью которых производились обработка и оценка результатов расчета: методы определения расчетных напряжений и/или температур в узловых точках, линеаризации напряжений, критерии оценки результатов расчета и т. д.</p>	С
п.5.12	<p>Рекомендуется использовать при составлении отчетов о расчетах численными методами графическое отображение расчетной модели, граничных условий и условий нагружения, схемы дискретизации и результатов расчета.</p>	С

ГОСТ 34283-2017	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках.	
п.4	Общие положения	
п.4.1	При расчете на прочность и устойчивость сосудов и аппаратов следует учитывать перечисленные в ГОСТ 34233.1 (пункт 4.1) нагрузки и воздействия, возникающие в условиях эксплуатации, испытания и монтажа.	С
п.4.2	Расчетное давление, коэффициенты прочности сварных швов и прибавки к толщине стенки определяют по ГОСТ 34233.1.	С
п.4.3	Расчетную температуру и температурные напряжения определяют в соответствии с ГОСТ 34233.1 (раздел 5).	С
п.4.4	Весовую нагрузку от собственной массы сосуда или аппарата и его содержимого определяют по проектной документации.	С
п.4.5	Ветровую нагрузку определяют для сосудов и аппаратов, устанавливаемых на открытой площадке. Ветровую нагрузку учитывают в соответствии с 5.2. Нормативные значения ветрового давления принимают по строительным нормам и правилам государств, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта.	С
п.4.6	Нагрузку от сейсмического воздействия определяют для всех сосудов и аппаратов, предназначенных для установки на площадках с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64. Интенсивность сейсмических воздействий для района установки сосуда или аппарата принимают по картам общего сейсмического районирования. Нагрузку от сейсмического воздействия учитывают в соответствии с 5.3.	С
п.4.7	Влияние других внешних нагрузок и воздействий на сосуд или аппарат учитывают в соответствии с разделом 6.	С
п.4.8	Перечень дополнительных нагрузок, вызывающих изменение напряженно-деформированного состояния элементов сосудов и аппаратов, приведен в 6.1.	С
п.4.9	Нагрузки от присоединяемых трубопроводов учитывают в соответствии с 6.2.	С
п.4.10	Снеговые нагрузки при расчете сосудов и аппаратов, работающих под давлением, как правило, не учитывают, за исключением аппаратов, имеющих значительные горизонтальные поверхности, например аппаратов воздушного охлаждения. В этом случае снеговые нагрузки принимают по строительным нормам и правилам государств, упомянутых в предисловии, как проголосовавших за принятие межгосударственного стандарта.	С
п.5	Расчет на ветровые и сейсмические нагрузки.	
п.5.1	Расчетные схемы основных типов сосудов и аппаратов.	
п.5.1.1	Расчетные схемы включают в себя: - расчетные модели нагрузок и воздействий; - расчетные модели, описывающие напряженно-деформированное состояние сосуда или аппарата.	С
п.5.1.2	Для аппаратов колонного типа высотой не менее 10 м с отношением H/D_{min} не менее 1,5, а также высотой менее 10 м с отношением H/D_{min} более 5, закрепленных в нижних сечениях, при определении усилий от ветровой и сейсмической нагрузок в качестве расчетной динамической модели принимают консольный упругозащемленный прямолинейный стержень переменного кольцевого сечения с массой m , сосредоточенными в серединах участков.	С
	При рассмотрении колебаний такого стержня принимают, что движение его узлов происходит в одной плоскости (см. рисунок 1).	С
	Высоту аппарата H отсчитывают от уровня закрепления аппарата (верхнего обреза фундамента) и разбивают на z участков высотой, как правило, h_j не более 10 м. Если аппарат устанавливают на высокий постамент или на специальную конструкцию (этажерку), то при вычислении коэффициентов, зависящих от изменения давления ветра и сейсмической силы по высоте, учитывают расстояние от поверхности земли до уровня закрепления аппарата. При этом динамические характеристики расчетной модели аппарата рекомендуют определять с учетом податливости опорной конструкции. Ветровую нагрузку, распределенную непрерывно по высоте аппарата, заменяют сосредоточенными горизонтальными силами, приложенными в серединах каждого из z участков расчетной схемы.	С

	<p>Расчетную сейсмическую нагрузку прикладывают горизонтально в середине каждого из z участков.</p> <p>Для горизонтальных сосудов и аппаратов в качестве расчетной схемы принимают балку переменного кольцевого сечения, шарнирно опертую в местах расположения опор и нагруженную распределенными и сосредоточенными усилиями от действия весовой, ветровой или сейсмической нагрузки. Допускается, как и в случае вертикальных аппаратов, рассматривать балку переменного кольцевого сечения, как невесомую, а массу сосредотачивать в центрах участков.</p> <p>Расчет по настоящему стандарту распространяется на вертикальные и горизонтальные сосуды и аппараты с отношением толщины стенки к диаметру больше чем 0,002. Для более тонкостенных сосудов при расчете на ветровые и сейсмические нагрузки следует учитывать возможность местной потери устойчивости при действии ветра, эффект от воздействия волн жидкости при колебаниях сосуда и другие дополнительные факторы.</p>	
п.5.1.4	<p>В качестве расчетной схемы при расчете на сейсмическое воздействие для теплообменных труб трубных пучков кожухотрубчатых теплообменных аппаратов и аппаратов воздушного охлаждения принимается балка постоянного кольцевого сечения с равномерно распределенной по длине массой, свободно опертая в местах расположения перегородок или дефлекторов и защемленная с двух сторон для аппаратов воздушного охлаждения и всех типов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, кроме аппаратов с (U-образными трубами. Для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с U-образными трубами — защемление с одной стороны.</p>	С
п.5.2	<p>Сосуды и аппараты рассчитывают в рабочих условиях, условиях испытания и условиях монтажа.</p>	
п.5.2.1	<p>В рабочих условиях расчет сосуда или аппарата выполняют на действие ветровой нагрузки и ветровой нагрузки при резонансном вихревом возбуждении и на действие нагрузки от сейсмического воздействия в сочетании с остальными действующими на аппарат нагрузками. В качестве расчетного выбирают сочетание нагрузок, приводящее к более консервативным результатам.</p>	С
п.5.2.2	<p>В условиях испытания сосуда или аппарата учитывают действие ветровой нагрузки в объеме 60% в сочетании с остальными, действующими на аппарат нагрузками, которые могут иметь место при гидро- или пневмоиспытании. Нагрузку от сейсмического воздействия в условиях испытания не рассматривают.</p>	С
п.5.2.3	<p>В условиях монтажа сосудов и аппаратов выполняют расчет на прочность элементов их крепления на действие ветровой или сейсмической нагрузки. В качестве расчетного выбирают сочетание нагрузок, приводящее к более консервативным результатам.</p>	С
п.5.2.4	<p>В зависимости от типа аппарата устанавливают расчетные сечения для проверки условий прочности и устойчивости и проводят проверку прочности элементов опор и опорных сечений с учетом ветровых и сейсмических нагрузок по ГОСТ 34233.9 или по ГОСТ 34233.5.</p>	С
п.5.2.5	<p>Расчет на прочность и устойчивость цилиндрических и конических обечаяк сосудов и аппаратов с учетом дополнительных усилий от ветровых нагрузок и нагрузок от сейсмического воздействия выполняют по ГОСТ 34233.2. При этом в случае, если в одном и том же поперечном сечении обечайки одновременно действуют изгибающие моменты или перерезывающие силы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в расчетные формулы ГОСТ 34233.2 следует подставлять геометрические суммы указанных моментов и перерезывающих сил.</p>	С
п.5.3	<p>Определение расчетных усилий от ветровых нагрузок.</p>	
п.5.3.1	<p>Нагрузки, возникающие при взаимодействии ветра с сосудами и аппаратами. Рассматриваемые нагрузки разделяют на два вида:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ветровая нагрузка, действующая горизонтально вдоль направления ветрового потока, которая подразделяется на среднюю и пульсационную составляющие; - нагрузка при резонансном вихревом возбуждении, действующая горизонтально поперек направления ветрового потока, связанная со срывом 	С

	вихрей с боковых поверхностей сосудов и аппаратов.	
п.5.3.1.1	Средняя составляющая ветровой нагрузки действует на сосуды и аппараты статически и учитывается при расчете всех сосудов и аппаратов, установленных на открытой площадке. Основой для определения средней составляющей ветровой нагрузки является нормативное значение ветрового давления q_0 , установленное по региональным картам районирования по строительным нормам и правилам государств, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта.	С
п.5.3.1.2	Пульсационная составляющая основной ветровой нагрузки зависит от пульсаций скорости ветра и периодов собственных колебаний аппарата. Предельные значения периодов собственных колебаний, определяющих используемый подход к расчету пульсационной составляющей, приведены в таблице 1.	С
п.5.3.1.3	Резонансное вихревое возбуждение действует на аппараты колонного типа с соотношением H/D_{min} не менее 10 при скорости ветра, превышающей критическую скорость для аппарата, при которой происходит резонанс по 1-й форме его собственных колебаний.	С
п.5.3.2	Ветровая нагрузка для аппаратов колонного типа	
п.5.3.2.1	Расчетную ветровую нагрузку, действующую на i -й участок аппарата при собственных колебаниях его по 1-й форме в направлении горизонтального действия ветра, определяют как сумму средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки – формула (1).	С
п.5.3.2.2	Среднюю составляющую ветровой нагрузки на i -м участке аппарата вычисляют по формуле (2).	С
п.5.3.2.3	Пульсационную составляющую ветровой нагрузки на i -м участке аппарата вычисляют по формуле (3).	С
п.5.3.2.4	Расчетный изгибающий момент от действия ветровой нагрузки в расчетном сечении аппарата на высоте вычисляют по формуле (4).	С
п.5.3.2.5	Обслуживающие площадки и другие внешние элементы, выступающие за пределы наружного диаметра аппарата, под действием ветровой нагрузки создают для него дополнительные изгибающие моменты. Если при расчете аппаратов колонного типа известны размеры и расположение обслуживающих площадок, то среднюю составляющую ветровой нагрузки, приложенную на обслуживаемую j -ю площадку, расположенную на высоте x_j над уровнем крепления аппарата, вычисляют по формуле (5).	С
п.5.3.3	Резонансное вихревое возбуждение.	
п.5.3.3.1	Расчет на резонансное вихревое возбуждение проводят для аппаратов колонного типа, удовлетворяющих условию $H/D_{min} > 10$, если критическая скорость ветра, вызывающая резонансные колебания, меньше максимальной расчетной скорости ветра для района установки аппарата.	С
п.5.3.3.2	Критическую скорость ветра, вызывающую резонансные колебания аппарата по 1-й форме собственных колебаний, вычисляют по формуле (8).	С
п.5.3.3.3	Максимальную расчетную скорость ветра определяют на высоте от уровня крепления аппарата вычисляют по формуле (9).	С
п.5.3.3.4	Аэродинамическую силу при резонансном вихревом возбуждении, вызывающем поперечные колебания по 1-й собственной форме в плоскости, перпендикулярной к направлению ветрового потока, на i -м участке аппарата вычисляют по формуле (10).	С
п.5.3.3.5	Наряду с воздействием аэродинамической силы $VR P_i$ при резонансном вихревом возбуждении учитывают действие ветровой нагрузки в направлении ветрового потока. Расчетную ветровую нагрузку, действующую на i -й участок аппарата в направлении ветрового потока, вычисляют по формуле (11).	С
п.5.3.3.6	Расчетный изгибающий момент в расчетном сечении аппарата от совместного действия аэродинамической силы при резонансном вихревом возбуждении и ветровой нагрузке определяют по формуле (12).	С
п.5.3.4	Вертикальные сосуды и аппараты, кроме аппаратов колонного типа.	
п.5.3.4.1	Расчетную ветровую нагрузку и расчетный изгибающий момент от воздействия ветра для сосудов и аппаратов высотой менее 10 м с отношением	С

	H/D_{min} не более 5 определяют по средней составляющей ветровой нагрузки. Пульсационную составляющую ветровой нагрузки учитывают введением обобщенного коэффициента, равного произведению коэффициента пульсации давления ветра на коэффициент его корреляции.	
п.5.3.4.2	Ветровую нагрузку, приложенную на высоте от уровня анкерного крепления сосуда или аппарата, вычисляют по формуле (13).	С
п.5.3.4.3	Расчетный ветровой изгибающий момент, действующий на сосуд или аппарат в месте приварки опоры, определяют по формуле (14).	С
п.5.3.5	Горизонтальные сосуды и аппараты	
п.5.3.5.1	В расчете на действие ветровой нагрузки горизонтальных сосудов и аппаратов на седловых опорах, за исключением сдвоенных и строенных аппаратов, как правило, нет необходимости. Подобный расчет выполняют только по требованию заказчика, записанному в задании на проектирование.	С
п.5.3.5.2	Расчетные усилия и изгибающие моменты от воздействия ветра определяют, как правило, по средней составляющей ветровой нагрузки. Пульсационную составляющую ветровой нагрузки учитывают введением обобщенного коэффициента, равного произведению коэффициента пульсации давления ветра на коэффициент его корреляции.	С
п.5.3.5.3	Ветровую нагрузку, приложенную на высоте $H_{зф}/2$ от уровня анкерного крепления сосуда или аппарата в поперечном направлении, вычисляют по формуле (15).	С
п.5.3.5.4	Ветровую нагрузку, приложенную на высоте $H_{зф}/2$ от уровня анкерного крепления сосуда или аппарата в продольном направлении, определяют по формуле (16).	С
п.5.4	Определение расчетных усилий от сейсмического воздействия.	
п.5.4.1	Требования к расчету.	
п.5.4.1.1	Расчету на сейсмическое воздействие подлежат все сосуды и аппараты, установленные на площадках с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов по модифицированной шкале MSK-64 для средних грунтовых условий. Расчетную сейсмичность площадки определяют в задании на проектирование сосуда или аппарата на основе нормативной сейсмичности района их установки.	С
п.5.4.1.2	Исходными данными для расчета на сейсмическое воздействие являются: - сейсмический коэффициент K_s (максимальный уровень ускорения грунта в долях g), значение которого принимают в зависимости от расчетной сейсмичности по таблице 2; - акселерограммы сейсмического движения грунта, характерные для района установки аппарата.	С
п.5.4.1.3	Для аппаратов колонного типа и вертикальных сосудов и аппаратов определяют расчетные сейсмические нагрузки, действующие в горизонтальном направлении. Если сосуд или аппарат установлен на жесткую строительную конструкцию, перекрытие или высокий постамент, то это допускается учитывать, умножая действующую на него расчетную сейсмическую нагрузку на коэффициент высоты размещения K_v , определяемый по формуле (17). Для горизонтальных сосудов и аппаратов определяют расчетные сейсмические воздействия, действующие горизонтально в направлении их продольных и поперечных осей, и учитывают отдельно.	С
п.5.4.1.4	При выполнении расчетов на сейсмическое воздействие применяют два уровня сейсмических воздействий: а) проектное землетрясение (уровень ПЗ); б) максимальное расчетное землетрясение (уровень МРЗ).	С
п.5.4.1.5	Расчет на сейсмические нагрузки, соответствующий уровню ПЗ, выполняют для всех сосудов и аппаратов. Расчет проводят линейно-спектральным методом.	С
п.5.4.2.2	Линейно-спектральный метод расчета на сейсмическое воздействие Расчетную сейсмическую нагрузку, приложенную к середине i -го участка расчетной схемы в горизонтальном направлении, вычисляют по формулам (20) – (24).	С
п.5.4.2.3	Определение расчетного изгибающего момента.	С

	Максимальный изгибающий момент в нижнем сечении аппаратов колонного типа при учете только 1-й формы колебания определяют по формуле (25).	
п.5.4.2.4	Сосуды и аппараты, кроме аппаратов колонного типа. Расчетную сейсмическую нагрузку вычисляют по формуле (26).	С
п.5.5	Расчет на прочность сосудов и аппаратов при действии ветровых или сейсмических нагрузок. Расчет на прочность и устойчивость сосудов и аппаратов при ветровых или сейсмических нагрузках проводят по ГОСТ 34233.2, ГОСТ 34233.5, ГОСТ 34233.9. При этом следует дополнительно учитывать влияние других внешних нагрузок. При расчете на сейсмические нагрузки, соответствующие уровню МРЗ, не выполняют проверку на действие местных изгибных и температурных напряжений.	С
п.6	Дополнительные внешние нагрузки.	
п.6.2.2	Значения действующих на штуцеры сосудов и аппаратов расчетных нагрузок от присоединенных трубопроводов указывают в одной из следующих точек: - в месте пересечения оси штуцера с образующей корпуса; - в месте пересечения оси штуцера с привалочной поверхностью фланца - для штуцеров, соединяемых с трубопроводами с помощью фланцев; - в месте пересечения оси штуцера с плоскостью приварки трубопровода - для штуцеров, соединяемых с трубопроводами с помощью сварки. В исходных данных для расчета сосудов и аппаратов на действие нагрузок от присоединенных трубопроводов должно быть указано, в какой из перечисленных выше точек приложены полученные из расчета трубопроводов нагрузки.	С
п.6.2.3	Силы и моменты, действующие на штуцеры сосудов и аппаратов со стороны присоединенных трубопроводов, следует приводить в местной декартовой системе координат, одна из осей которой совпадает с осью штуцера (см. ГОСТ 34233.3). Допускается также задание сил и моментов, действующих на штуцеры сосудов и аппаратов со стороны присоединенных трубопроводов, в глобальной системе координат, связанной с аппаратом или с установкой в целом. В исходных данных для расчета сосудов и аппаратов на действие нагрузок от присоединенных трубопроводов должно быть однозначно указано направление осей системы или систем координат, в которых приведены нагрузки, действующие на штуцеры.	С
п.6.2.4	Действующие на штуцеры сосудов и аппаратов расчетные нагрузки от присоединенных трубопроводов следует учитывать при расчете: - промежуточных элементов узлов врезки штуцеров - по ГОСТ 34233.3; - фланцев штуцеров - по ГОСТ 34233.4; -, которые могут находиться между узлом врезки и фланцем штуцера: труб и отводов - по ГОСТ 34233.2. Расчетные нагрузки, действующие на каждый из перечисленных выше элементов, определяют по правилам механики исходя из величин расчетных нагрузок на штуцеры и условий равновесия.	С
п.6.2.5	Действующие на штуцеры сосудов и аппаратов расчетные нагрузки от присоединенных трубопроводов, полученные из расчета трубопроводной системы, необходимо также учитывать при расчете аппарата в целом, то есть при определении осевых и перерезывающих сил и изгибающих моментов, действующих на цилиндрические и конические обечайки, находящиеся между штуцером и опорным элементом, определении нагрузок на опорные элементы и анкерные болты. При этом нагрузки, действующие на штуцер со стороны присоединенных трубопроводов, должны быть по правилам механики перенесены в точку продольной оси сосуда или аппарата, лежащую в том же поперечном сечении, что и точка пересечения оси штуцера с образующей корпуса сосуда или аппарата. Полученные описанным выше образом нагрузки от внешних сил и моментов, приложенных к различным штуцерам, в каждом расчетном сечении суммируются с учетом направления и знака между собой, а также с нагрузками от действия массы, ветровыми, сейсмическими и другими внешними на-грузками и учитываются при расчете корпуса аппарата	С

	на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2 и ГОСТ 34233.9, а также при расчете опорных сечений, опор и анкерных болтов по ГОСТ 34233.5 и ГОСТ 34233.9.	
п.6.2.6	При проектировании сосудов и/или аппаратов и трубопроводной обвязки к ним, для обеспечения возможности независимого проектирования сосудов, аппаратов и трубопроводов, используются таблицы допустимых нагрузок, содержащие значения максимальных допустимых компонентов нагрузок: осевых и перерезывающих сил, изгибающих и крутящего момента для каждого из нагруженных внешними нагрузками штуцеров сосуда и/или аппарата. В некоторых случаях для отдельных видов аппаратов таблицы максимальных допустимых нагрузок содержатся в межгосударственных (ГОСТ ISO 13706) и национальных стандартах.	С

ГОСТ Р 55722-2013	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на сейсмические воздействия.	С
п.5.1	Сосуды и аппараты должны отвечать требованиям прочности согласно ГОСТ Р 52857.1 - ГОСТ 52857.11. Расчет аппаратов колонного типа проводят по ГОСТ Р 51273 и ГОСТ Р 51274. Расчет вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов проводят по СТО-СА-03-002[1].	С
п.6.1	Для определения дополнительных нагрузок от сейсмических воздействий на сосуды используют линейно-спектральный метод расчета. При землетрясении инерционную нагрузку на сосуды и их напряженно-деформированные состояния определяют с помощью спектров коэффициентов динамичности (спектров ответа) и значений максимальных сейсмических ускорений. Для этого используют метод модальной суперпозиции, при котором любой искомым отклик системы (усилие, перемещение, нагрузка на опору и т.д.) представляется некоторой комбинацией соответствующих модальных откликов.	С
п.6.3	При определении нагрузок от сейсмических воздействий допускается: - не учитывать при расчете периодов колебаний влияние примыкающих к сосуду трубопроводов, поскольку предполагается, что масса и жесткость сосуда намного больше массы и жесткости примыкающих трубопроводов; - приближенно учитывать влияние фундамента и грунта при помощи корректировки периода колебаний сосуда и относительного демпфирования; - приближенно учитывать влияние опорной или строительной конструкции при помощи упругих связей в горизонтальном и вертикальном направлениях; - рассматривать сосуд и жидкость как две независимые системы (см. 8.2.11); - рассматривать колебания только по линейным степеням свободы и не учитывать угловые колебания сосуда. Если описанные допущения по какой-либо причине не применимы к рассматриваемой системе, рекомендуется проводить уточненный расчет (см. 6.17).	С
п.6.5	Максимальное горизонтальное ускорение при землетрясении на свободной поверхности грунта интенсивностью, равной 7, 8, 9 баллам, принимается равным 1, 2, 4 м/с ² соответственно.	С
п.6.6	Коэффициент вертикального сейсмического ускорения назначается на основе данных сейсмического микрорайонирования. Если данные отсутствуют, следует принимать равным 0,75.	С
п.6.7	Спектры ответа (постажные спектры ответа) для трех различных направлений воздействия строят для места установки сосуда при помощи специализированных компьютерных программ, имеющих опцию расчета спектров ответа по результатам анализа всего здания или строительной конструкции на динамическое воздействие в виде реальных (аналоговых) или синтезированных акселерограмм.	С
п.6.13	В случае отсутствия спектров ответа в соответствии с 6.12 допускается принимать максимальные расчетные ускорения по формулам (5-7).	С
п.6.14	При сейсмичности площадки не менее 8 баллов при грунтах категории III к значению ускорения в формулах (1), (2), (3) вводят множитель 0,7, учитывающий нелинейное деформирование грунтов при сейсмических воздействиях.	С
п.6.17	При выполнении расчета зданий и сооружений, моделируемых совместно с сосудами и аппаратами, руководствуются требованиями [3]. При этом не полностью заполненные сосуды с жидкостью рекомендуется моделировать в виде систем с конвективной и импульсивной массой, характеристики которых определяют согласно настоящему стандарту. Для особо ответственных зданий и сооружений, моделируемых совместно с сосудами и аппаратами, проводят два расчета — расчет на проектное землетрясение (ПЗ) и максимальное расчетное землетрясение (МРЗ). Расчеты, соответствующие МРЗ, выполняют во временной области с использованием инструментальных или синтезированных акселерограмм.	С
п.7.1.1	При расчете сосуда с учетом дополнительных нагрузок и давления от сейсмического воздействия в качестве допускаемых напряжений принимают значения $[\sigma]$ и $[\sigma]_M$, определяемые согласно ГОСТ Р 52857.1 и ГОСТ Р	С

	52857.10 для рабочих условий.	
п.7.1.2	Коэффициент запаса устойчивости при сейсмическом воздействии принимают равным 2,4.	С
п.7.1.3	Расчет на прочность элементов сосуда и укрепления отверстий в обечайках и днищах с учетом дополнительного гидродинамического давления и нагрузок от сейсмических воздействий проводят в соответствии с ГОСТ Р 52857.2 - ГОСТ Р 52857.4, ГОСТ Р 52857.8, ГОСТ Р 52857.11. При этом расчетное избыточное давление определяют согласно 8.11.5 и 9.12.7.	С
п.7.1.4	Расчет обечаек и конических переходов на прочность и устойчивость проводят согласно 8.8.1 и 9.12.1 с учетом положений 7.1.1 и 7.1.2.	С
п.7.1.5	Вертикальные сосуды на площадках сейсмичностью не менее 7 баллов следует устанавливать на не менее чем три опоры.	С
п.7.1.6	Расчет на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок проводят в соответствии с ГОСТ Р 52857.5 с учетом требований 7.1.1. При этом расчетное усилие F_1 для вертикальных сосудов вычисляют в соответствии с 8.6.3; для горизонтальных сосудов опорные нагрузки определяют по 9.8.	С
п.7.1.7	Расчет на прочность седловых опор при действии нагрузок проводят в соответствии с ГОСТ Р 52857.5 с учетом требований 7.1.1.	С
п.7.1.8	Проверку несущей способности анкерных болтов, крепящих опоры вертикальных и горизонтальных сосудов, на растяжение и на сдвиг проводят в соответствии с 7.3.2 – 7.3.5.	С
п.7.2	Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних сейсмических нагрузках на штуцер. Проверку прочности мест пересечения штуцеров с обечайками и днищами при действии давления и внешних нагрузок на штуцер с учетом сейсмических воздействий проводят согласно ГОСТ Р 52857.3 и ГОСТ Р 52857.9 с учетом требований 7.1.1. При этом расчетное избыточное давление определяют согласно 8.11.5 и 9.12.7, а нагрузки на штуцер определяют из расчета примыкающих трубопроводов с учетом сейсмических воздействий.	С
п.7.3	Расчет анкерных болтов.	
п.7.3.2	Если горизонтальные (сдвигающие) усилия в плоскости сопряжения опоры сосуда с фундаментом воспринимаются за счет сил трения, то усилие предварительной затяжки каждого болта, необходимое для восприятия горизонтальных сил, вычисляют по формуле (12).	С
п.8	Вертикальные сосуды и аппараты	
п.8.2	Параметры расчетной модели с учетом движения жидкости в сосуде при горизонтальном воздействии.	
п.8.2.1	Идеализированная динамическая расчетная модель недеформируемого цилиндрического сосуда с жидкостью, которая имеет свободную поверхность, при горизонтальных колебаниях показана на рисунках 5 и рисунке 6 а. Массу жидкости условно разделяют на две части – импульсивную и конвективную. Импульсивная составляющая соответствует связанным (синфазным) колебаниям оболочки сосуда и некоторой части содержащейся в нем жидкости. Конвективная составляющая соответствует низкочастотным колебаниям оставшейся части жидкости относительно оболочки сосуда.	С
п.8.2.3	Импульсивную массу жидкости вычисляют по формуле (21).	С
п.8.2.4	Высоту импульсивной массы без учета давления на днище сосуда вычисляют по формуле (22).	С
п.8.2.5	Высоту импульсивной массы с учетом давления на днище сосуда вычисляют по формуле (23).	С
п.8.2.7	Конвективную массу жидкости вычисляют по формуле (27).	С
п.8.2.8	Жесткость связи между конвективной массой и стенкой сосуда вычисляют по формуле (28).	С
п.8.2.9	Высоту приложения конвективной массы без учета давления на днище сосуда вычисляют по формуле (29).	С
п.8.2.10	Высоту приложения конвективной массы жидкости с учетом давления на днище сосуда вычисляют по формуле (30).	С
п.8.5	Нагрузки от сейсмических воздействий	
п.8.5.1	Изгибающие моменты от сейсмического воздействия в горизонтальном направлении вычисляют по формулам (35-37).	С

п.8.5.2	Опрокидывающие моменты, действующие на опоры сосудов от сейсмического воздействия в горизонтальном направлении, вычисляют по формулам (38-40).	С
п.8.5.3	Поперечные нагрузки для сейсмического воздействия в горизонтальном направлении вычисляют по формулам (41-43).	С
п.8.5.4	Максимальную расчетную перерезывающую силу от сейсмического воздействия вычисляют по формуле (44).	С
п.8.5.5	Дополнительную вертикальную нагрузку от сейсмического воздействия вычисляют по формуле (45).	С
п.8.5.6	Сдвигающую силу от сейсмического воздействия, действующую на анкерные болты, вычисляют по формуле (46).	С
п.8.6	Нагрузки на опорные лапы, стойки, анкерные болты и фундамент.	
п.8.6.1	Дополнительное усилие, действующее на опору от сейсмического воздействия, вычисляют по формуле (47).	С
п.8.6.1	Максимальное расчетное усилие, используемое для проверки несущей способности обечайки (днища) в месте приварки опорной лапы (стойки), вычисляют по формулам (50-52).	С
п.8.6.3	Максимальное расчетное усилие, используемое для проверки прочности анкерных болтов на растяжение, вычисляют по формулам (53-55).	С
п.8.6.5	Максимальное растягивающее усилие, действующее на анкерный болт, вычисляют по формуле (56).	С
п.8.7	Расчет на устойчивость опорных стоек.	
п.8.7.1	Устойчивость опорных стоек с учетом сейсмического воздействия вычисляют по формуле (57).	С
п.8.7.2	Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле (58).	С
п.8.8	Расчет обечаек и конических переходов на прочность и устойчивость.	
п.8.8.1	Предварительно проводят расчет обечаек, конических переходов и днищ на прочность и устойчивость от действия давления, осевой силы, момента и поперечной силы в соответствии с ГОСТ Р 52857.2 с учетом требования 7.1.1; при этом в качестве расчетных используют нагрузки, определенные с учетом статических и сейсмических воздействий.	С
п.8.8.2	Если условия прочности при условиях нагружения по 8.8.1 не выполняют, то проводят уточненный расчет. Определяют отклики от статических и сейсмических воздействий в соответствии с таблицей 11. Под откликом в данном случае понимают коэффициенты, вычисленные по ГОСТ Р 52857.2 [формулы (28), (165), (167)].	С
п.8.9	Гидродинамическое давление от сейсмического воздействия частично заполненного сосуда.	
п.8.9.1	Гидродинамическое давление на стенки и днище сосуда при сейсмическом воздействии в горизонтальной плоскости (см. рисунок 9) вычисляют по формулам (64-69).	С
п.8.9.2	Гидродинамическое давление на стенки и днище сосуда при сейсмическом воздействии в вертикальном направлении (см. рисунок 10) вычисляют по формуле (70).	С
п.8.10	Гидродинамическое давление от сейсмического воздействия полностью заполненного сосуда.	
п.8.10.1	Гидродинамическое давление на стенки, на днище и на крышку сосуда при сейсмическом воздействии в горизонтальной плоскости (см. рисунок 11 а) вычисляют по формулам (71), (72).	С
п.8.10.2	Гидродинамическое давление на стенки, днище и крышку сосуда при вертикальном воздействии (см. рисунок 11 б) вычисляют по формулам (73-75).	С
п.8.11	Расчет на прочность элементов сосуда с учетом сейсмического воздействия.	
п.8.11.1	Гидростатическое давление на стенки и днище сосуда вычисляют по формуле (76).	С
п.8.11.2	Давление на обечайку сосуда с учетом сейсмического воздействия на стенки в зависимости от координаты z вычисляют по формуле (77).	С
п.8.11.3	Расчетное давление на днище сосуда с учетом сейсмического воздействия в зависимости от координаты x вычисляют по формуле (78).	С

п.8.11.4	Расчетное давление на крышку сосуда с учетом сейсмического воздействия вычисляют по формуле (79).	С
п.9	Горизонтальные сосуды и аппараты.	
п.9.1	Полностью и частично заполненный сосуд.	
п.9.1.1	Полностью заполненным считают сосуд, для которого выполняется условие $h/D > 0,8$, в противном случае сосуд считают частично заполненным. Параметры для частично заполненного сосуда определяют по 9.2.1. Параметры для полностью заполненного сосуда определяют по 9.1.4.	С
п.9.1.4	Если сосуд полностью заполнен (согласно 9.1.1 или 9.1.3) в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах, а также в случае, если используют специальные конструктивные меры для «гашения» волны, принимают, что вся масса жидкости участвует в импульсивном движении (87).	С
п.9.2	Параметры расчетной модели при продольном воздействии.	
п.9.2.1	Горизонтальный цилиндрический сосуд аппроксимируется условным прямоугольным сосудом (см. рисунок 12). Ширина условного прямоугольного сосуда b должна быть равна ширине свободной поверхности жидкости в сосуде, а длина условного сосуда λ должна быть равна длине свободной поверхности жидкости в сосуде. Высоту жидкости в условном прямоугольном сосуде h^* вычисляют из условия равенства объемов жидкости в исходном и условном сосуде.	С
п.9.2.4	Импульсивную массу жидкости при продольном воздействии вычисляют по формуле (89).	С
п.9.2.5	Высоту импульсивной массы без учета давления на днище сосуда вычисляют по формуле (90).	С
п.9.2.6	Высоту импульсивной массы с учетом давления на днище сосуда вычисляют по формуле (91).	С
п.9.2.7	Высоту от точки закрепления до импульсивной массы без учета давления на днище сосуда вычисляют по формуле (92).	С
п.9.2.8	Высоту от точки закрепления до импульсивной массы с учетом давления на днище сосуда вычисляют по формуле (93).	С
п.9.2.9	Конвективную массу жидкости при продольном воздействии вычисляют по формуле (94).	С
п.9.2.10	Жесткость связи между конвективной массой и стенкой сосуда в продольном направлении вычисляют по формуле (95).	С
п.9.2.11	Высоту конвективной массы без учета давления на днище сосуда вычисляют по формуле (96).	С
п.9.2.12	Высоту конвективной массы жидкости с учетом давления на днище сосуда вычисляют по формуле (97).	С
п.9.2.13	Высоту от точки закрепления до конвективной массы без учета давления на днище сосуда (см. рисунок 13 б) вычисляют по формуле (98).	С
п.9.2.14	Высоту от точки закрепления до конвективной массы с учетом давления на днище сосуда (см. рисунок 13 б) вычисляют по формуле (99).	С
п.9.3	Параметры расчетной модели при поперечном воздействии.	
п.9.3.1	Импульсивную массу жидкости при поперечном воздействии вычисляют по формуле (100).	С
п.9.3.2	Высоту импульсивной массы вычисляют по формуле (101).	С
п.9.3.3	Конвективную массу жидкости при поперечном воздействии вычисляют по формуле (102)	С
п.9.3.4	Жесткость связи между конвективной массой и стенкой сосуда в поперечном направлении вычисляют по формуле (103).	С
п.9.3.5	Высоту конвективной массы вычисляют по формуле (104).	С
п.9.5	Дополнительные нагрузки от сейсмического воздействия.	
п.9.5.1	Дополнительную горизонтальную нагрузку от сейсмического воздействия вычисляют по формулам (109-111).	С
п.9.5.2	Дополнительную вертикальную равномерно распределенную нагрузку от сейсмического воздействия вычисляют по формуле (112).	С
п.9.6	Нагрузки и усилия от сейсмических воздействий, действующих в продольном направлении.	

п.9.6.1	Расчетная схема для определения нагрузок от сейсмических воздействий приведена на рисунке 13. Опорные нагрузки и внутренние усилия в обечайке в общем случае определяют методами строительной механики.	С
п.9.10	Гидродинамическое давление от сейсмического воздействия частично заполненного сосуда.	
п.9.10.1	Гидродинамическое давление на стенки и днище сосуда при горизонтальном воздействии землетрясения по направлению $j = \{X\}$ (см. рисунки 9,10) как для прямоугольного сосуда вычисляют по формулам (131-137).	С
п.9.10.2	Гидродинамическое давление на стенки и днища сосуда при горизонтальном воздействии землетрясения по направлению $j = \{Y\}$ вычисляют как для прямоугольного сосуда по 9.10.1 при этом вместо λ во все формулы подставляют b .	С
п.9.10.3	Гидродинамическое давление на стенки и днища сосуда при вертикальном воздействии землетрясения $P(z)$ Z вычисляют по 8.9.2.	С
п.9.10.4	Максимальное гидродинамическое давление на стенки и днища сосуда при вертикальном воздействии $j = \{Z\}$ вычисляют по формуле (138).	С
п.9.12	Расчет элементов сосуда на прочность и устойчивость.	
п.9.12.1	Расчет несущей способности обечайки в области опорного узла проводят в соответствии с ГОСТ Р 52857.5 с учетом дополнительных сейсмических нагрузок.	С
Приложение А	Вычисление периодов колебаний импульсивной массы	С

ГОСТ Р 54522—2011	Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических обечаек, днищ, фланцев, крышек. Рекомендации по конструированию.	С
п.4	Общие положения.	
п.4.1	Расчетная температура.	
п.4.1.1	Расчетную температуру используют для определения физико-механических характеристик материала и допустимых напряжений.	С
п.4.2	Рабочее, расчетное, пробное давление, давление опрессовки.	С
п.4.2.1	Под рабочим давлением для сосуда следует понимать максимальное внутреннее избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или других предохранительных устройств.	
п.4.2.2	Под расчетным давлением для элементов сосудов следует понимать давление, на которое проводится их расчет на прочность. Расчетное давление для элементов сосуда принимают равным максимально возможному рабочему давлению. При повышении давления в сосуде во время действия предохранительных устройств, ограничивающих давление более чем на 10 % по сравнению с рабочим, элементы сосуда следует рассчитывать на давление, равное 90 % давления при действии этих устройств.	С
п.4.2.3	Под пробным давлением в сосуде следует понимать давление, при котором проводят испытание сосуда на прочность и плотность.	С
п.4.2.5	Расчет прочности деталей на пробное давление проводят, подставляя в расчетные формулы значение пробного давления вместо расчетного давления p . При этом коэффициент запаса прочности по пределу текучести для пробного давления следует принимать по таблице 4.1.	С
п.4.3	Допустимое напряжение, коэффициенты запаса прочности.	С
п.4.3.1	Допустимое напряжение при расчете по предельным нагрузкам конструктивных элементов из углеродистых, низколегированных, среднелегированных и аустенитных сталей вычисляют по формуле (1).	С
п.4.4	Коэффициент прочности сварных соединений. В формулы для расчетов на прочность элементов сосудов, имеющих сварные соединения, необходимо вводить коэффициент ϕ , учитывающий снижение прочности сварного шва по сравнению с основным металлом. Значения коэффициента ϕ — согласно приложению Б.	С
п.4.5	Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов.	С
п.4.5.1	При расчете сосудов необходимо учитывать прибавки s_k к расчетным толщинам элементов сосудов. Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле (3).	С
п.5	Расчет цилиндрических обечаек.	С
п.5.1	Цилиндрические однослойные обечайки.	
п.5.1.1	Расчет применим для цилиндрических обечаек при выполнении условия (4).	С
п.5.1.2	Толщину цилиндрической однослойной обечайки вычисляют по формуле (5).	С
п.5.1.3	Расчетный коэффициент толстостенности вычисляют по формуле (7).	С
п.5.1.4	Допустимое давление вычисляют по формуле (8).	С
п.5.2	Цилиндрические многослойные обечайки.	
п.5.2.2	Исполнительная толщина стенки должна удовлетворять условию (10).	С
п.5.2.3	Расчетную толщину цилиндрической многослойной обечайки вычисляют по формуле (11).	С
п.5.2.4	Допустимое давление вычисляют по формуле (14).	С
п.5.3	Соединение цилиндрических обечаек.	С
п.5.3.1	Соединение однослойных обечаек между собой и с многослойными обечайками и многослойных обечаек между собой рекомендуется выполнять в соответствии с рисунком 5.1. При этом следует соблюдать условие (18)	С
п.6	Расчет днищ.	С
п.6.1	Кованые плоские отбортованные днища, сопряженные с однослойными	

	обечайками.	
п.6.1.1	На рисунках б.1— 6.3 приведены конструктивные варианты плоских днищ.	С
п.6.1.3	Толщину днища с коническим и радиусным переходами, выполненными в соответствии с рисунками 6.1, 6.2, вычисляют по формуле (20).	С
п.6.1.4	Расчетный диаметр вычисляют по формулам (23), (24).	С
п.6.1.5	Допустимое давление для днищ с коническим и радиусным переходами вычисляют по формуле (25).	С
п.6.1.6	Расчет плоского днища с проточкой применим при соблюдении условий (26,27).	С
п.6.1.7	Толщину плоского днища с проточкой (см. рисунок б.3) вычисляют по формулам (28), (29).	С
п.6.1.8	Допустимое давление для плоского днища с проточкой вычисляют по формуле (30).	С
п.6.1.9	Коэффициент ослабления днища неукрепленными отверстиями K_0 для плоских днищ всех типов вычисляют по формуле (31). в случае одиночного центрального отверстия - по формуле (32). Максимальная сумма длин диаметров и хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральной сечении днища (см. рисунок 6.4) вычисляют по формуле (33).	С
п.6.2	Выпуклые днища, сопряженные с однослойными обечайками.	
п.6.2.1	На рисунках б.5,6.6 приведены конструктивные варианты выпуклых днищ.	С
п.6.2.4	Толщину выпуклого днища вычисляют по формуле (36), (37).	С
п.6.2.6	Допустимое давление вычисляют по формуле (38).	С
п.6.2.7	Расчетный радиус кривизны вычисляют по формуле (39).	С
п.6.3	Выпуклые днища, сопряженные с многослойными обечайками.	
п.6.3.1	Выпуклые днища, сопряженные с многослойными обечайками, следует выполнять в соответствии с 6.2.	С
п.7	Расчет фланцев.	
п.7.1	Условия применения расчетных формул.	
п.7.1.1	Расчет распространяется на кованые фланцы, соединенные посредством сварки с однослойной или многослойной цилиндрической обечайкой. Модель фланца приведена на рисунке 7.1. Схема фланца, сопряженного с многослойной обечайкой, приведена на рисунке 7.2.	С
п.7.1.2	Размеры фланца принимают, исходя из соотношений (43-50).	С
п.7.2	Поверочный расчет фланца.	
п.7.2.1	Условие прочности фланца на изгиб в диаметральной сечении (51).	С
п.7.2.2	Изгибающий момент относительно диаметрального сечения фланца вычисляют по формуле (52).	С
п.7.2.3	Допустимый изгибающий момент вычисляют по формуле (55).	С
п.7.2.4	Допустимый изгибающий момент для фланцев, стыкуемых с многослойной обечайкой, вычисляют по формуле (59).	С
п.8	Расчет крышек.	
п.8.1	Плоские крышки.	
п.8.1.1	Схема плоской крышки приведена на рисунке 8.1.	С
п.8.1.2	Предварительную расчетную толщину крышки H_p вычисляют по формуле (60).	С
п.8.1.3	Уточненную толщину крышки, вычисляют по формуле (62).	С
п.8.1.4	Минимальную толщину крышки в месте расположения выточки под уплотнение (в случае применения затвора с двухконусным кольцом) вычисляют по формуле (64).	С
п.8.1.5	В случае использования восьмигранного уплотнительного кольца расчетную толщину крышки вычисляют по формуле (67).	С
п.8.2	Выпуклые сферические крышки.	
п.8.2.1	Расчетная модель выпуклой сферической крышки приведена на рисунке 8.2.	С

п.8.2.2	Толщину стенки сферической части выпуклой крышки вычисляют по формуле (68).	С
п.8.2.3	Расчетную высоту фланца выпуклой крышки вычисляют по формуле (70).	С
п.8.2.4	Расчетный момент, действующий на фланцевое кольцо крышки, вычисляют по формуле (73).	С
Приложение А	Расчетные характеристики прочности сталей при повышенных температурах	С

ГОСТ 31385-2023	Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.	
п.6	Требования к проектированию резервуаров.	
п.6.1	Конструкции резервуаров	
п.6.1.3	Днища.	
п.6.1.3.3	Минимальная толщина листов центральной части днища или днища без окраек за вычетом припуска на коррозию должна составлять 4 мм для резервуаров объемом менее 2000 м ³ и 6 мм для резервуаров объемом 2000 м ³ и более.	С
п.6.1.3.5	Номинальную толщину t_b кольцевых окраек днища допускается принимать не менее значения, определяемого по формуле (1).	С
п.6.1.3.6	Кольцевые крайки днища должны иметь ширину в радиальном направлении, обеспечивающую расстояние между внутренней поверхностью стенки и швом приварки центральной части днища к окрайкам не менее: - 300 мм для резервуаров объемом менее 5000 м ³ ; - 600 мм для резервуаров объемом 5000 м ³ и более; - величины L_0 , м, определяемой соотношением (2).	С
п.6.1.4	Стенки.	
п.6.1.4.2	Значения номинальной толщины поясов стенки t следует принимать из сортамента на листовую прокат в соответствии с условием (3). В случае, если значения номинальной толщины поясов стенки t превышают 40 мм, необходима разработка специальной технологии сварки.	С
п.6.1.4.3	Расчетную толщину i -го пояса стенки из условия прочности при действии основных сочетаний нагрузок следует определять на уровне, соответствующем максимальным кольцевым напряжениям в срединной поверхности пояса по формулам (4)-(6). Расчет по формулам (5) проводят последовательно от нижнего к верхнему поясу стенки.	С
п.6.1.4.5	Коэффициент надежности по ответственности и коэффициенты условий работы поясов стенки следует назначать в соответствии с таблицами 4 и 5.	С
п.6.1.4.6	Устойчивость стенки для основных сочетаний нагрузок (вес конструкций и теплоизоляции, вес снегового покрова, ветровая нагрузка, относительный вакуум в газовом пространстве) проверяется по формуле (9). При наличии кольца жесткости в пределах i -го пояса в качестве h_i принимают расстояние от кромки этого пояса до кольца жесткости. В резервуарах с плавающей крышей для верхнего пояса в качестве h_i назначают расстояние от нижней кромки пояса до ветрового кольца.	С
п.6.1.5	Кольца жесткости на стенке.	
п.6.1.5.10	Минимальный момент сопротивления сечения верхнего ветрового кольца W_{zt} , м ³ , резервуаров с плавающей крышей следует определять по формуле (12).	С
п.6.1.5.11	В момент сопротивления промежуточного кольца жесткости включают части стенки шириной $L_s = 0,6\sqrt{r(t - \Delta t_c)}$ выше и ниже места установки кольца.	С
п.6.1.6	Стационарные крыши.	
п.6.1.6.3	Бескаркасная коническая крыша. Бескаркасная коническая крыша представляет собой гладкую коническую оболочку, не подкрепленную радиальными ребрами жесткости. Геометрические параметры бескаркасной конической крыши должны удовлетворять следующим требованиям: - диаметр крыши в плане — не более 12,5 м; - угол наклона образующей крыши к горизонтальной поверхности должен назначаться в пределах от 15° до 30°. Номинальная толщина оболочки крыши должна составлять от 4 до 7 мм (при изготовлении оболочки методом рулонирования) и более (при изготовлении настила на монтажной площадке). При этом толщину оболочки t_r определяют расчетом на устойчивость по формуле (15).	С
п.6.1.6.4	Бескаркасная сферическая крыша. Бескаркасная сферическая крыша представляет собой пологую сферическую оболочку. Радиус кривизны крыши должен находиться в пределах от 0,7D до 1,2D, где D — внутренний диаметр стенки резервуара. Рекомендуемый диапазон применения бескаркасных сферических крыш — резервуары	С

	объемом до 5000 м ³ и диаметром не более 25 м. Номинальная толщина оболочки крыши определяется расчетами на прочность и устойчивость и должна быть не менее 4 мм.	
Приложение А	Рекомендуемые марки стали (толстолистовой прокат) для основных конструкций групп А и Б	С

ГОСТ 30780-2002	Сосуды и аппараты стальные. Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность	
п.4	Общие положения	
п.4.1	Модели компенсаторов приведены на рисунке 1, виды их присоединения к стенке сосуда — на рисунке 2.	С
п.4.2	Расчетные формулы применимы, если выполняются следующие соотношения: $3,0 \leq \frac{d}{h} \leq 100$; $0,1 \leq \frac{r_i}{h} \leq 0,5$; $0,018 \leq \frac{s}{h} \leq 0,1$.	С
п.4.3	Общие требования к расчету — по ГОСТ 14249 (за исключением 1.8.1).	С
п.5	Расчет напряжений в компенсаторе	
п.5.2	Определение эквивалентных напряжений.	
п.5.2.1.1	Максимальные эквивалентные напряжения при действии внутреннего (наружного) давления определяют по формуле (1).	С
п.5.2.1.2	Максимальные эквивалентные напряжения при осевом перемещении одной волны компенсатора рассчитывают по формуле (2).	С
п.5.2.2	Средние окружные напряжения $\sigma_{\text{ит}}$ рассчитывают по формул (3). Необходимые для формул (1—2) значения коэффициентов R(P) и R(W) определяют по таблицам приложения А. Коэффициенты R(P) и R(W) для определения максимальных эквивалентных напряжений на стороне большего диаметра компенсатора приведены в таблице А.1. Коэффициенты R(P) и R(W), применяемые при определении максимальных эквивалентных напряжений на стороне меньшего диаметра компенсатора, приведены в таблице А.2.	С
п.5.3	Определение коэффициентов жесткости компенсатора.	
п.5.3.1	Коэффициент жесткости одной волны компенсатора при осевом растяжении C_w определяют по формуле (4).	С
п.5.4	Расчет на прочность при статическом нагружении внутренним (наружным) давлением. При действии внутреннего (наружного) избыточного давления прочность проверяют по средним окружным напряжениям, определяемым по формуле (4). При этом должно выполняться условие (5). Кроме того, проверяют прочность по эквивалентным напряжениям от давления по формуле (1). При этом должно выполняться условие (6).	С
п.5.5	Расчет компенсатора на малоцикловую прочность.	
п.5.5.1	Если компенсатор подвергнут циклам перемещений и циклам давления, то должно быть выполнено условие (7), (8).	С
п.5.5.2	Амплитуду максимального эквивалентного напряжения от перемещения одной волны σ_{AW} рассчитывают по формуле (9).	С
п.5.5.3	Амплитуду максимального эквивалентного напряжения от давления σ_{AP} определяют по формуле (10).	С
п.5.5.4	Эффективный коэффициент концентрации K_{σ} рассчитывают по формуле (11).	С
Приложение А	Расчетные значения коэффициентов для определения напряжений и жесткости	С

ПНАЭ Г-7-002-86	Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.	
п.3	Допускаемые напряжения, условия прочности и устойчивости.	
п.3.1	Номинальные допускаемые напряжения определяют по характеристикам материала при расчетной температуре.	С
п.3.4	<p>Номинальное допускаемое напряжение для элементов оборудования и трубопроводов, нагруженных давлением, принимают минимальным из следующих значений:</p> $[\sigma] = \min\{R_m^T/n_m; R_{p0,2}^T/n_{0,2}; R_{mt}^T/n_{mt}\}$ <p>Для элементов оборудования и трубопроводов, нагруженных внутренним давлением, $n_m = 2,6; n_{0,2} = 1,5; n_{mt} = 1,5.$</p> <p>Для элементов оборудования и трубопроводов, нагруженных наружным давлением, превышающим внутреннее, $n_m = 2,6; n_{0,2} = 2; n_{mt} = 2.$</p> <p>Окончательную проверку на устойчивость и корректировку (при необходимости) определенных по настоящему разделу толщин стенок, нагруженных наружным давлением, превышающим внутреннее, проводят в соответствии с разд. 5.5.</p>	С
п.3.7	При определении номинальных допускаемых напряжений значения кратковременных или длительных механических характеристик принимают по данным государственных или отраслевых стандартов (ГОСТ или ОСТ) или технических условий (ТУ). При отсутствии в этих документах необходимых данных следует руководствоваться данными, приведенными в табл. П1.1 или П1.4.	С
п.3.10	Для стальных отливок, необходимые данные для которых отсутствуют в государственных или отраслевых стандартах, технических условиях или в табл. 1 приложения 1, значения предела текучести и временного сопротивления принимают равными: 85% значения, приведенного в табл. 1 для одноименной марки катаной или ковальной стали, если отливки подвергаются 100%-ному ультразвуковому или радиографическому контролю; 75% указанных выше значений—для остальных отливок.	С
п.3.11	<p>При контакте элементов конструкций с натрием реакторной чистоты в расчетах используют расчетные значения механических характеристик, определяемые умножением значений $R_m^T, R_{p0,2}^T, R_{mt}^T, R_{ct}^T$ на коэффициент снижения η_t, зависящий от типа материала, температуры и длительности эксплуатации.</p> <p>При выполнении расчета по выбору основных размеров и проведении поверочного расчета для сталей перлитного класса коэффициент снижения определяют по формуле</p> $\eta_t = 1 - 0,15 h_c/s_R$ <p>где h_c—толщина поверхностного слоя стали, обезуглероженного на 30%. Значение h_c определяют по данным технических условий на изделие. Для сталей марок 12X2M, 12X2M1ФБ допускается определять h_c в порядке, указанном ниже.</p> <p>На верхнем графике рис. 3.1 или 3.2 определяют точку, соответствующую заданным расчетным температуре T и времени эксплуатации t, вертикаль от этой точки в пересечении с кривой нижнего графика определяет точку и соответствующее значение h_c на оси ординат этого графика по горизонтали от полученной точки. Другой способ сводится к вычислению x по приведенным на рис. 3.1 или 3.2 формулам и определению по x значения h_c, пользуясь только нижним графиком.</p> <p>При расчете по выбору основных размеров и поверочном расчете деталей с толщиной стенки более 1 мм и времени эксплуатации не более $2 \cdot 10^5$ ч принимают: для коррозионно-стойких сталей аустенитного класса с содержанием никеля до 15% при 7X823 K (550° C) $T g=1$ и при 823 K (550° C) $<7X973 K (700° C) T ,^*=0,9$; для железоникелевых сплавов при 1X373 K (600° C) $g_i,^*=0,9$ и при 873 K (600° C) $<7X973 K (700p C) ^,^*=0,8$:</p>	С
п.4	Расчет по выбору основных размеров.	
п.4.1	Общие положения.	
п.4.1.2	При определении расчетной толщины стенки толщину антикоррозионного	С

	наплавленного или плакирующего защитного слоя не учитывают.	
п.4.1.3	Суммарную прибавку к расчетной толщине элемента конструкции определяют как $s = c_1 + c_2$, где $c_1 = c_{11} + c_{12}$.	С
п.4.2	Определение толщин стенок элементов оборудования и трубопроводов.	
п.4.2.1	Цилиндрические, конические обечайки сосудов и выпуклые днища, работающие под внутренним или наружным давлением.	
п.4.2.1.1	Расчетную толщину стенки определяют по формуле $s_R = \frac{p D m_3}{m_1 \varphi [\sigma] - p m_2} \cdot 1$ Значения коэффициентов m_1, m_2, m_3 и пределы применимости формул приведены в табл. 4.2.	С
п.4.2.1.2	Принимаемая номинальная толщина стенки должна удовлетворять условию $s \geq s_R + c$	С
п.4.2.1.3	Допускаемое давление при проектировании и после изготовления сосудов определяют по формулам: при проектировании $[p] = \frac{(s - c) m_1 m_2 \varphi [\sigma]}{D m_3 + (s - c) m_2}$ после изготовления $[p] = \frac{(s_f - c_2) m_1 m_2 \varphi [\sigma]}{D m_3 + (s_f - c_2) m_2}$	С
п.4.2.2	Цилиндрические коллекторы, штуцера, трубы и колена.	
п.4.2.2.1	Расчетную толщину стенки цилиндрического коллектора, штуцера и трубы определяют по формуле $s_R = \frac{p D_a}{2 \varphi [\sigma] + p}$ Эта формула применима при $(s - c) / D_a \leq 0,25$.	С
п.4.2.2.9	Допускаемое давление для цилиндрического коллектора, штуцера, трубы и колена определяют по формулам: при проектировании $[p] = \frac{2(s - c) \varphi [\sigma]}{K D_a - (s - c)}$ после изготовления $[p] = \frac{2(s_f - c_2) \varphi [\sigma]}{K D_a - (s_f - c_2)}$ Коэффициент К принимают: для цилиндрического коллектора, штуцера и трубы $K=1$.	С
п.4.2.3	Круглые плоские днища и крышки.	
п.4.2.3.1	Расчетную толщину круглых плоских днищ и крышек (табл. 4.3), работающих под внутренним и наружным давлениями, определяют по формуле $s_{1R} = K_4 D_R \sqrt{\frac{p}{\varphi [\sigma]}}$ Эта формула применима при условии $(s_1 - c) / D_R \leq 0,2$	С
п.4.2.3.2	Номинальная толщина круглых плоских днищ и крышек, работающих под внутренним и наружным давлениями, должна удовлетворять условию $s_1 \geq s_{1R} + c$	С
п.4.2.3.4	Значения коэффициента K_4 в формуле п. 4.2.3.1 определяют в зависимости от конструкции днищ и крышек по формуле $K_4 = K_0 x$ где коэффициент K_0 принимается в соответствии с табл. 4.3. Коэффициент x , учитывающий жесткость соединения плоского днища с цилиндрической обечайкой, определяют по формуле $x = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{s_1}{s} \frac{0,5 \sqrt{p [\sigma]_1}}{\{2 [\sigma]_2 - p\}}}$ (если при расчете значение $x < 0,76$, то принимается $x = 0,76$), где $[\sigma]_1, [\sigma]_2$ — номинальные допускаемые напряжения для материалов днища и цилиндрической обечайки соответственно.	С

	Для крышек принимают $x = 1,0$. Указанный в табл. 4.3 радиус закругления r принимают в соответствии с конструкторской документацией.	
п.4.2.3.5	Толщина s_2 для типов соединений 3 и 5 (табл. 4.3) должна удовлетворять условию $s_2 \geq 0,35D \sqrt{\frac{p}{[\sigma]} + c}$ Для типа соединения 4 (табл. 4.3) $s_2 \geq s_1$	С
п.4.2.3.6	Допускаемое давление при проектировании и после изготовления круглых днищ и крышек, работающих под внутренним и наружным давлениями, определяют по формулам: при проектировании $[p] = \left(\frac{s_1 - c}{K_4 D_R}\right)^2 \varphi[\sigma]$ после изготовления $[p] = \left(\frac{s_{1f} - c_2}{K_4 D_R}\right)^2 \varphi[\sigma]$	С
п.4.3	Коэффициенты снижения прочности и укрепления отверстий.	
п.4.3.1	Снижение прочности одиночным отверстием.	
п.4.3.1.1	Одиночным отверстием считают отверстие, кромка которого удалена от кромки ближайшего отверстия по срединной поверхности на расстояние более $2\sqrt{D_m(s - c)}$. Если номинальным является наружный диаметр, то средний диаметр $D_m = 2B_k + s$, где B_k —расстояние от точки пересечения продольных осей отверстия или штуцера с осью оболочки до условной точки пересечения продольной оси отверстия с внутренней образующей детали (см., например, рис. 4.2). Если номинальным является внутренний диаметр, то $D_m = D + s$.	С
п.4.3.1.3	Коэффициент снижения прочности цилиндрической, конической и сферической оболочек или выпуклого днища, ослабленных неукрепленным одиночным отверстием, определяют по формуле $\varphi_d = 2 / \left[\frac{d}{\sqrt{D_m(s - c)}} + 1,75 \right]$ Если вычисленное значение $\varphi_d > 1$, то принимают $\varphi_d = 1$. Для плоских днищ и крышек $\varphi_d = \frac{1}{1 + d/D_R + (d/D_R)^2}$ Диаметр отверстий d в расчетах принимают: 1) для круглых отверстий под развальцовку труб, под приварку штуцеров к поверхности оболочки и для отверстий, закрываемых крышкой,— равным диаметру отверстий в обечайках; 2) для некруглых отверстий с отношением размеров по осям симметрии не более 2:1— равным наибольшему размеру в свету в продольном направлении для отверстий в цилиндрических и конических оболочках и равным наибольшему размеру в свету в каждом направлении для сферических оболочек и выпуклых днищ; 3) для круглых отверстий с пропущенным штуцером, со единенным с оболочкой сварным швом с полным проплавлением стенки оболочки, — равным внутреннему диаметру штуцера; 4) для отверстий с разными диаметрами по толщине стенки—равным условному диаметру, определенному по формуле $d = (d_1 s_1 + d_2 s_2 + d_3 s_3) / s$ где $d_1, d_2, d_3, s_1, s_2, s_3, s$ показаны на рис. 4.6; 5) для тройников с отбортованным воротником (высаженной горловиной)— равным условному диаметру, определяемому по формуле $d = d_1 + 0,5r$ где d_1, r —размеры, показанные на рис. 4.7. Значение диаметра D_R принимают в зависимости от конструкции днищ и крышек в соответствии с табл. 4.3.	С
п.4.3.1.4	Наибольший допускаемый диаметр неукрепленного одиночного отверстия в	С

	<p>оболочках определяют по формуле</p> $d_0 = \left(\frac{2}{\varphi_0} - 1,75 \right) \sqrt{D_m(s - c)}$ <p>Где</p> $\varphi_0 = \frac{1}{m_1 m_2} \frac{p[Dm_3 + (s - c)m_2]}{(s - c)[\sigma]}$ <p>Значения коэффициентов m_1, m_2, m_3 для оболочек и днищ приведены в табл. 4.2.</p>	
п.4.3.1.5	<p>Если диаметр отверстия d превышает допустимый диаметр d_0, определенный по формуле п. 4.3.1.4, то такое отверстие необходимо укрепить с помощью утолщенных штуцеров, приварных накладок, местного утолщения оболочки вокруг отверстия или комбинируя указанные способы. При этом площадь сечений укрепляющих элементов принимают равной сумме площадей поперечных сечений штуцеров и накладок, используемых для укреплений, а также наплавленного металла приварки, то есть</p> $\sum A = A_c + A_n + A_w$ <p>где A_c, A_n, A_w—площади сечений укрепляющего штуцера, приварной накладки и сварных соединений соответственно.</p>	С
п.4.3.1.6	<p>Площадь сечений укрепляющих элементов должна удовлетворять условию</p> $\sum A \geq (d - d_0)s_0$ <p>Если же для укрепления отверстия использование указанных выше способов недостаточно или использование их нерационально по конструктивным соображениям, толщину стенки оболочки следует увеличить, что приведет к соответствующим изменениям φ_0 и d_0 и уменьшению необходимой для укрепления площади $\sum A$.</p> <p>Утолщение оболочки вокруг отверстия (сварка седловины в цилиндрическую оболочку) следует рассматривать при определении площади укрепления как накладку.</p>	С
п.4.3.1.7	<p>Коэффициент снижения прочности стенки цилиндрической, конической и сферической оболочек или выпуклого днища, ослабленных одиночным укрепленным отверстием, определяют по формуле</p> $\varphi_c = \varphi_d \left[1 + \frac{\sum A}{2(s - c)\sqrt{D_m(s - c)}} \right]$ <p>где φ_d—коэффициент, определяемый по формуле п. 4.3.1.3.</p>	С
п.4.3.1.9	<p>Если укрепляющий элемент изготавливается из материала с меньшим значением $[\sigma]$, чем у материала оболочки, то определенную расчетом площадь этого укрепляющего элемента следует умножить на отношение номинальных допускаемых напряжений для материалов оболочки и укрепляющего элемента.</p> <p>Более высокое значение $[\sigma]$ у материала укрепляющего элемента по сравнению с $[\sigma]$ для материала оболочки в расчете не учитывают.</p>	С
п.4.3.1.10	<p>Площадь сечения укрепляющего штуцера (рис. 4.8) определяют:</p> <p>для участка, расположенного снаружи оболочки (днища),</p> $A_c = 2h_c(s_c - s_{0c} - c_c)$ <p>для участка, расположенного внутри оболочки (днища),</p> $A_c = 2h_c(s_c - c_c)$ <p>В последнем случае прибавку на коррозию учитывают по наружной и внутренней поверхностям штуцера.</p> <p>Схемы укрепляющих сечений и швов приварной накладки приведены на рис. 4.8 и 4.9.</p>	С
п.4.3.1.11	<p>Высоту укрепляющего участка штуцера принимают по рис. 4.8, но не более</p> $h_c = \sqrt{(d_{ac} - s_c + c_c)(s_c - c_c)}$	С
п.4.3.1.12	<p>Номинальные толщины стенок обечайки и штуцера s и s_c определяют соответственно по пп. 4.2.1 и 4.2.2. Минимальные расчетные толщины стенок обечайки и штуцера s_0 и s_{0c} определяют по тем же формулам при $\varphi_d = 1$ и $c=0$. Номинальная толщина стенки штуцера должна быть не более номинальной толщины стенки обечайки.</p>	С
п.4.3.1.15	<p>Приведенные в п. 4.3.1 методы расчета применимы для определения размеров укрепляющих элементов цилиндрических и конических обечайек, выпуклых и</p>	С

	<p>плоских днищ с круглыми и овальными отверстиями. Пределы применимости расчетных формул ограничиваются соотношениями размеров, приведенными в табл. 4.4. В табл. 4.4 D_K—внутренний диаметр конической оболочки в поперечном сечении, проходящем через отверстие. Расчетный диаметр отверстия d_R определяют по формулам: для круглого отверстия или штуцера в поперечном сечении обечайки</p> $d_R = d$ <p>для конических обечаек в продольном сечении обечайки</p> $d_R = d / (\cos \alpha)^2$ <p>для наклонных штуцеров цилиндрических обечаек и для всех штуцеров в полусферических днищах</p> $d_R = d / (\cos \gamma)^2$ <p>где γ—угол между осью штуцера и нормалью к поверхности обечайки или днища; для отверстия наклонного штуцера, когда большая ось овального отверстия составляет угол ω с образующей поверхностью обечайки (рис. 4.10),</p> $d_R = d(1 + \operatorname{tg}^2 \gamma \cos^2 \omega)$ <p>для отверстия смещенного штуцера на эллиптическом днище (рис. 4.11)</p> $d_R = \frac{d}{\sqrt{1 - (2x_1/D_R)^2}}$ <p>где расчетный внутренний диаметр эллиптического днища определяют по формуле</p> $D_R = \frac{D^2}{2H} \sqrt{1 - 4 \frac{(D^2 - 4H^2)}{D^4} x_1^2}$	
п.4.3.1.16	<p>Приведенная методика определения площади укрепляющих сечений применима при условиях: 1) угол γ между осью штуцера и нормалью к поверхности оболочки не превышает 15° (рис. 4.10); 2) для смещенных штуцеров на эллиптических и полусферических днищах угол γ не должен превышать 45° (рис. 4.11); 3) расстояние от края днища до оси штуцера, измеряемое по проекции, должно быть не менее $0,1D+d/2$.</p>	С
п.4.3.3	Коэффициент снижения прочности сварных соединений.	
п.4.3.3.1	<p>Коэффициент снижения прочности стыковых, угловых и тавровых сварных соединений φ_w выбирают в зависимости от объема дефектоскопического контроля по табл. 4.5. Для изделий из хромомолибденованадиевых и высокохромистых сталей до температуры 783 К (510° С) принимают φ_w по табл. 4.5, а при температуре 803 К (530° С) и более $\varphi_w = 0,7$ независимо от объема контроля. При расчетных температурах от 783 К (510° С) до 803 К (530° С) значение φ_w определяется линейным интерполированием. Если сварное соединение труб из хромомолибденованадиевых сталей катаных, ковано-сверленных или центробежно-литых с механически обработанной внутренней поверхностью нагружено изгибающими нагрузками и работает при температурах до 783 К (510° С), то независимо от объема контроля следует принимать для катаных труб $\varphi_{w1} = 0,9$ и механически обработанных центробежно-литых труб $\varphi_{w2} = 1$. При температуре 803^* К (530° С) и более $\varphi_{w1} = 0,6$ и $\varphi_{w2} = 0,7$ соответственно. В диапазоне температур от 783 К (510° С) до 803 К (530° С) для определения φ_{w1} или φ_{w2} допускается линейная интерполяция.</p>	С
п.4.3.3.2	Коэффициент снижения прочности кольцевых сварных соединений цилиндрических и конических оболочек, нагруженных давлением, принимают равным единице.	С
п.5.5	Расчет на устойчивость	
п.5.5.1	Цилиндрические оболочки под наружным давлением.	
п.5.5.1.1	Расчет проводят для гладких цилиндрических оболочек, находящихся под действием всестороннего или бокового наружного давления. При боковом давлении отсутствует давление на торцевые поверхности оболочки.	С
п.5.5.1.3	Рассматривается гладкая цилиндрическая оболочка на расчетной длине.	С

	<p>Если цилиндрическая оболочка с торцов закрыта приварными выпуклыми днищами, за расчетную длину принимают длину цилиндрической оболочки, увеличенную на длину отбортованного цилиндрического участка и на $H_m/3$ каждого днища.</p> <p>Для цилиндрической оболочки, закрытой фланцевыми соединениями или плоскими днищами, за расчетную длину принимают длину оболочки между фланцами или между плоскими днищами.</p>	
п.5.5.1.4	<p>Формулы применены при выполнении следующих условий: $0,005 \leq (s - c)/D_m \leq 0,1$; $D_m/L \leq 3$; $a \leq 2\%$; Где $a = 200 (D_{amax} - D_{amin}) / (D_{amax} + D_{amin})$; D_{amax}, D_{amin} - максимальный и минимальный наружные диаметры, измеренные в одном поперечном сечении цилиндрической оболочки.</p>	С
п.5.5.1.5	<p>Критическая длина</p> $L_{kr} = 1,2D_m \sqrt{\frac{D_m}{s - c}}$	С
п.5.5.1.6	<p>Критическое напряжение</p> $\sigma_{kr} = 1,1E^T \left(\frac{s-c}{D_m}\right)^2 \text{ для } L \geq L_{kr}$ $\sigma_{kr} = 1,3E^T \frac{D_m}{L} \left(\frac{s-c}{D_m}\right)^{1,5} \text{ для } D_m/3 < L < L_{kr}$	С
п.5.5.1.7	<p>Критическое давление</p> $p_{kr} = 2\sigma_{kr} \left(\frac{s - c}{D_m}\right)$	С
п.5.5.1.8	<p>Допускаемое наружное давление</p> $[p_a] = 0,5\xi p_{kr}$ <p>Где поправочный коэффициент</p> $\xi = \min\left\{0,7; \frac{\lambda}{1 + \lambda}\right\}, \lambda = \frac{R_{p0,2}^T}{\sigma_{kr}}$	С
п.5.5.1.9	<p>Устойчивость цилиндрической оболочки обеспечена, если выполняется условие</p> $p_a \leq [p_a]$	С
п.5.5.2	Цилиндрическая оболочка под действием осевой силы.	
п.5.5.2.1	<p>Формулы применимы для расчета гладких цилиндрических оболочек без продольных ребер жесткости. Спиральные ребра жесткости под углом более 60° к образующей не рассматриваются как укрепление от действия осевой силы.</p>	С
п.5.5.2.2	Расчетную длину оболочки принимают согласно п. 5.5.1.3.	С
п.5.5.2.3	<p>Формулы применимы при выполнении следующих условий:</p> $0,05 \leq (s - c)/D_m \leq 0,2$	С
п.5.5.2.4	<p>Расчетное осевое напряжение сжатия</p> $\sigma_c = \frac{F}{\pi D_m (s - c)}$	С
п.5.5.2.5	<p>Для определения значения допускаемого напряжения находят два значения критического напряжения: напряжение первого рода—из условия общей потери устойчивости цилиндрического элемента как длинного стержня; напряжение второго рода—из условия местной потери устойчивости цилиндрической тонкостенной оболочки.</p>	С
п.5.5.2.6	<p>Критическое напряжение первого рода</p> $\sigma_{kr1} = 1,2E^T \left(\frac{D_m}{\eta L}\right)^2$ <p>где $\eta = 1$, если оба конца цилиндрической оболочки шарнирно оперты; $\eta=0,5$, если оба конца оболочки жестко заделаны; $\eta=0,7$, если один конец оболочки шарнирно оперт, а другой жестко заделан.</p>	С
п.5.5.2.7	<p>Критическое напряжение второго рода</p> $\sigma_{kr2} = 1,2E^T (s - c)/D_m$	С
п.5.5.2.8	<p>Допускаемое осевое напряжение сжатия</p> $[\sigma_c] = \min\{[\sigma_c]_1; [\sigma_c]_2\}$ <p>Где $[\sigma_c]_1 = 0,5\xi_1 \sigma_{kr1}$; $[\sigma_c]_2 = 0,5\xi_2 \sigma_{kr2}$,</p>	С

	<p>Поправочные коэффициенты $\xi_1 = \min\{0,7; \lambda_1/(1 + \lambda_1)\}, \lambda_1 = R_{p0,2}^T/\sigma_{kr1};$ $\xi_2 = \min\{0,7; \lambda_2/(1 + \lambda_2)\}, \lambda_2 = R_{p0,2}^T/\sigma_{kr2};$</p>	
п.5.5.2.9	<p>Устойчивость цилиндрической оболочки обеспечена, если выполняется условие</p> $\sigma_c \leq [\sigma_c]$	С
п.5.5.3	Цилиндрическая оболочка при совместном действии наружного давления и осевой силы.	
п.5.5.3.1	Формулы применимы для гладких цилиндрических оболочек без кольцевых, спиральных или продольных ребер жесткости и других видов укрепления (гофры и др.).	С
п.5.5.3.2	Для рассматриваемого случая должны выполняться условия, приведенные в пп. 5.5.1.1, 5.5.1.3, 5.5.1.4.	С
п.5.5.3.3	<p>Устойчивость цилиндрической оболочки обеспечена, если выполняется условие</p> $\frac{\sigma_c}{[\sigma_c]} + \frac{p_a}{[p_a]} \leq 1,0$ <p>где допускаемое наружное давление определяется согласно п. 5.5.1, а расчетное осевое напряжение сжатия σ_c и допускаемое осевое напряжение сжатия $[\sigma_c]$—согласно п. 5.5.2.</p>	С
п.5.5.4	Выпуклые днища под наружным давлением.	
п.5.5.4.1	<p>Формулы предназначены для расчета выпуклых днищ полусферической и эллиптической форм, находящихся под действием давления, равномерно распределенного по наружной поверхности.</p> <p>Допускается применение формул для выпуклых днищ сферической формы. В сферических (тарельчатых) днищах поверхность имеет форму сегмента сферы.</p>	С
п.5.5.4.2	<p>Формулы применимы при выполнении следующих условий:</p> $0,005 \leq (s - c)/D_m \leq 0,1; H_m/D_m \geq 0,2$	С
п.5.5.4.3	<p>Критическое напряжение</p> $\sigma_{kr} = 1,2E^T \left(\frac{2H_m}{D_m}\right) \left(\frac{s - c}{D_m}\right)$	С
п.5.5.4.4	<p>Критическое давление</p> $p_{kr} = 4\sigma_{kr} \left(\frac{2H_m}{D_m}\right) \left(\frac{s - c}{D_m}\right)$	С
п.5.5.4.5	<p>Допускаемое наружное давление</p> $[p_a] = 0,5\xi p_{kr}$ <p>Где поправочный коэффициент $\xi = \min\{0,15; \lambda/(1 + \lambda)\}, \lambda = R_{p0,2}^T/\sigma_{kr}$</p>	С
п.5.5.4.6	Устойчивость выпуклого днища обеспечена, если выполняется условие п. 5.5.1.9.	С
п.5.5.5	Конические переходы под наружным давлением.	
п.5.5.5.1	<p>Формулы применимы для расчета на наружное давление гладких конических переходов с углом конусности α, удовлетворяющих условиям</p> $0,005 \leq \frac{s-c}{D_{0m}} \leq 0,1; 10^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ; ,005 \leq \frac{s-c}{D_m} \leq 0,1$ <p>где D_{0m} и D_m—средние диаметры оснований конического перехода ($D_{0m} < D_m$), мм.</p>	С
п.5.5.5.2	При $\alpha < 10^\circ$ конический переход можно считать цилиндрической оболочкой, длина которой равна высоте конуса, а средний диаметр равен диаметру большего основания. Толщину стенки цилиндрической оболочки принимают равной толщине стенки конического перехода.	С
п.5.5.5.3	<p>Критическое напряжение</p> $\sigma_{kr} = 0,5C_x E^T \sin \alpha \cos^{1/2} \alpha \left(\frac{s - c}{D_m}\right)^{3/2}$ <p>где C_x определяется по графику рис. 5.3 в зависимости от значения $x = D_{0m}/D_m$ или по формуле $C_x = \sum_{k=1}^{k=5} a_k (1 - x)^{k-3}$ при $0 < x < 0,8$ Где $a_1 = 1,098$; $a_2 = -0,823$; $a_3 = 16,250$; $a_4 = 6,936$; $a_5 = -6,603$. На границах промежутка $C_0 = 17, C_{0,8} = 38$.</p>	С
п.5.5.5.4	Критическое давление	С

	$p_{kr} = 2\sigma_{kr} \left(\frac{s-c}{D_m} \right) \cos \alpha$	
п.5.5.5.5	<p>Допускаемое наружное давление</p> $[p_a] = 0,5\xi p_{kr}$ <p>где поправочный коэффициент</p> $\xi = \min\{0,7; \lambda/(1 + \lambda)\}, \lambda = R_{p0,2}^T / \sigma_{kr}$	С
п.5.5.5.6	Устойчивость конического перехода обеспечена, если выполняется условие п. 5.5.1.9.	С
п.5.5.6	Конические переходы под действием осевой силы.	
п.5.5.6.1	<p>Формулы применимы для расчета гладких конических переходов, находящихся, под действием осевой силы, удовлетворяющих условиям</p> $0,005 \leq \frac{s-c}{D_{0m}} \leq 0,1; 10^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ; , 005 \leq \frac{s-c}{D_m} \leq 0,1$	С
п.5.5.6.2	При $\alpha < 10^\circ$ конический переход можно считать цилиндрической оболочкой, длина которой равна высоте конуса, а средний диаметр равен диаметру большего основания. Толщину стенки цилиндрической оболочки принимают равной толщине стенки конического перехода.	С
п.5.5.6.3	<p>Расчетное осевое напряжение сжатия</p> $\sigma_c = \frac{F}{\pi D_{0m} (s-c) \cos \alpha}$	С
п.5.5.6.4	<p>Критическое напряжение</p> $\sigma_{kr} = 1,2E^T \left(\frac{s-c}{D_{0m}} \right) \cos \alpha$	С
п.5.5.6.5	<p>Допускаемое напряжение сжатия</p> $[\sigma_c] = 0,5\xi \sigma_{kr}$ <p>где поправочный коэффициент</p> $\xi = \min\{0,25; \lambda/(1 + \lambda)\}, \lambda = R_{p0,2}^T / \sigma_{kr}$	С
п.5.5.6.6	Устойчивость конического перехода обеспечена, если выполняется условие п. 5.5.2.9.	С
п.5.5.7	<p>Конические переходы при совместном действии наружного давления и осевой силы.</p> <p>Устойчивость конического перехода обеспечена, если выполняется условие п. 5.5.3.3, где допускаемое давление $[p_a]$ определяют согласно п. 5.5.5, а расчетное осевое напряжение сжатия σ_c и допускаемое напряжение сжатия $[\sigma_c]$ — согласно п. 5.5.6.</p>	С

СП 14.13330.2018	Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.	
п.5	Расчетные сейсмические нагрузки.	
п.5.2	<p>При выполнении расчетов сооружений с учетом сейсмических воздействий следует применять две расчетные ситуации:</p> <p>а) сейсмические нагрузки соответствуют РЗ. Целью расчетов на воздействие РЗ является определение (принятие) проектных решений, позволяющих предотвратить частичную или полную потерю эксплуатационных свойств сооружением. Расчетные модели сооружений следует принимать соответствующими упругой области деформирования. Расчеты зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок следует выполнять на нагрузки, определяемые в соответствии с 5.5, 5.9, 5.11. При выполнении расчета в частотной области суммарные инерционные нагрузки (усилия, моменты, напряжения, перемещения), соответствующие сейсмическому воздействию, следует вычислять по формулам (5.8), (5.9);</p> <p>б) сейсмические нагрузки соответствуют КЗ. На действие КЗ рассчитываются законструированные по результатам РЗ сечения и элементы здания, сооружения. Целью расчетов на КЗ является оценка общей устойчивости, неизменяемости, однородности конструкций сооружения, допустимость уровня ускорений, перемещений, скоростей в элементах здания, сооружения, способность конструкций здания к перераспределению внешнего сейсмического воздействия за счет формирования пластических шарниров и иных нелинейных эффектов.</p>	С
п.5.4	<p>Вертикальную сейсмическую нагрузку необходимо учитывать совместно с горизонтальной при расчете:</p> <ul style="list-style-type: none"> - горизонтальных и наклонных консольных конструкций; - рам, арок, ферм, пространственных покрытий зданий и сооружений пролетом 24 м и более; - сооружений на устойчивость против опрокидывания или против скольжения; - каменных конструкций (по 6.14.4). 	С
п.5.5	<p>При определении расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения следует принимать РДМ конструкций, согласованные с расчетными статическими моделями конструкций и учитывающие особенности распределения нагрузок, масс и жесткостей зданий и сооружений в плане и по высоте, а также пространственный характер деформирования конструкций при сейсмических воздействиях. Массы (вес) нагрузок и элементов конструкций в РДМ допускается принимать сосредоточенными в узлах расчетных схем. При вычислении массы необходимо учитывать только нагрузки, создающие инерционные силы. Для зданий и сооружений с простым конструктивно-планировочным решением для расчетной ситуации РЗ расчетные сейсмические нагрузки допускается определять с применением консольной РДМ (см. рисунок 5.1).</p> <p>При расчетной ситуации КЗ необходимо применять пространственные РДМ конструкций и учитывать пространственный характер сейсмических воздействий. Расчетные сейсмические нагрузки на здания и сооружения, имеющие сложное конструктивно планировочное решение, следует определять с применением пространственных РДМ зданий и с учетом пространственного характера сейсмических воздействий. Расчетная сейсмическая нагрузка (силовая или моментная) s_{jk} по направлению обобщенной координаты с номером приложенная к узловой точке к РДМ и соответствующая j-й форме собственных колебаний зданий или сооружений, определяется по формулам (5.1), (5.2)</p>	С
п.5.8	<p>Для зданий и сооружений, рассчитываемых по консольной схеме, значение η_{jk} при поступательном горизонтальном (вертикальном) сейсмическом воздействии без учета моментов инерции массы следует определять по формуле (5.6).</p> <p>Для зданий высотой до пяти этажей включительно с незначительно изменяющимися по высоте массами и жесткостями этажей при T_1 менее 0,4 с коэффициент η_k при использовании консольной схемы для поступательного горизонтального (вертикального) сейсмического воздействия без учета моментов инерции массы допускается определять по упрощенной формуле</p>	С

	(5.7).	
п.5.9	<p>Усилия в конструкциях зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, а также в их элементах следует определять с учетом высших форм их собственных колебаний. Минимальное число форм собственных колебаний, учитываемых в расчете, рекомендуется назначать так, чтобы сумма эффективных модальных масс, учтенных в расчете, составляла не менее 90 % общей массы системы, возбуждаемой по направлению действия сейсмического воздействия для горизонтальных воздействий и не менее 75 % — для вертикального воздействия. Должны быть учтены все формы собственных колебаний, эффективная модальная масса которых превышает 5 %. При этом для сложных систем с неравномерным распределением жесткостей и масс необходимо учитывать остаточный член от отброшенных форм колебаний.</p> <p>Для зданий и сооружений простой конструктивной формы при применении консольной РДМ усилия в конструкциях допускается определять с учетом не менее трех форм собственных колебаний, если период первой (низшей) формы собственных колебаний значение T_1 более 0,4 с, и с учетом только первой формы, если значение T_1 равно или менее 0,4 с.</p>	С
п.5.11	<p>Расчетные значения поперечных и продольного усилий, изгибающих и крутящих моментов, нормальных и касательных напряжений N_p в конструкциях от сейсмической нагрузки при условии статического действия ее на сооружение, а также расчетные значения перемещений следует определять по формуле (5.8).</p> <p>Если периоды i-й и $(i + 1)$-й форм собственных колебаний сооружения отличаются менее чем на 10 %, то расчетные значения соответствующих факторов необходимо вычислять с учетом их взаимной корреляции. Для этого допускается применять формулу (5.9).</p>	С

СП 20.13330.2016	Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.	
п.11	Воздействия ветра.	
п.11.1	Основная ветровая нагрузка.	
п.11.1.2	Во всех случаях нормативное значение основной ветровой нагрузки w следует определять как сумму средней w_m и пульсационной w_p составляющих – формула (11.1). При определении внутреннего давления w_i пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать.	С
п.11.1.3	Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле (11.2)	С
п.11.1.4	Нормативное значение ветрового давления w_0 принимается в зависимости от ветрового района по таблице 11.1. Нормативное значение ветрового давления допускается уточнять в установленном порядке на основе данных местных метеостанций (см. 4.4). В этом случае w_0 , Па, следует определять по формуле (11.3).	С
п.11.1.5	Эквивалентная высота z_e определяется следующим образом. 1 Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$. 2 Для зданий: а) при $h \leq d$ $z_e = h$; б) при $d < h < 2d$: для $z \geq h-d$ $z_e = h$; для $0 < z < h-d$ $z_e = d$; в) при $h > 2d$: для $z > h-d$ $z_e = h$; для $d < z < h-d$ $z_e = z$; для $0 < z < d$ $z_e = d$. Здесь z — высота от поверхности земли; d — размер здания (без учета его стилобатной части) в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер); h — высота здания.	С
п.11.1.6	Коэффициент $k(z_e)$ для высот $z_e < 300$ м определяется по таблице 11.2 или по формуле (11.4), в которых принимаются следующие типы местности: А — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра; В — городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м; С — городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ — при высоте сооружения $h < 60$ м и на расстоянии 2 км — при $h > 60$ м.	С
п.11.1.8	Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_p на эквивалентной высоте z_e следует определять следующим образом: а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний f_1 , Гц, больше предельного значения собственной частоты f_{lim} , (см. 11.1.10), — по формуле (11.5), где w_m — определяется в соответствии с 11.1.3; $\zeta(z_e)$ — коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 или формуле (11.6) для эквивалентной высоты z_e (см. 11.1.5); v — коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра (см. 11.1.11). Значение параметров ζ_{10} и α для различных типов местностей приведены в таблице 11.3. б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых $f_1 < f_{lim} < f_2$ — по формуле (11.7), где f_2 — вторая собственная частота; ξ — коэффициент динамичности, определяемый по рисунку 11.1 в зависимости	С

	от логарифмического декремента колебаний δ (см. 11.1.10) и параметра ε_1 , который определяется по формуле (11.8) для первой собственной частоты f_1 . в) для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, необходимо про изводить динамический расчет с учетом s первых форм собственных колебаний. Число s следует определять из условия $f_s < f_{lim} < f_{s+1}$; г) при расчете зданий допускается учитывать динамическую реакцию по трем низшим собственным формам колебаний (двум изгибным и одной крутильной или смешанным крутильно-изгибным).	
п.11.1.9	Усилия и перемещения при учете динамической реакции по s собственным формам определяются по формуле (11.9).	С
п.11.1.10	Предельное значение частоты собственных колебаний f_{lim} , Гц, следует определять по таблице 11.5. Значение логарифмического декремента колебаний δ следует принимать: а) для железобетонных и каменных сооружений, а также для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций $\delta = 0,3$; б) для стальных сооружений, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаментов $\delta = 0,15$.	С
п.11.3	Резонансное вихревое возбуждение.	
п.11.3.2	Критические скорости ветра $V_{cr,i}$, при которых происходит резонансное вихревое возбуждение по i -й собственной форме колебаний, определяются по формуле (11.11)	С
п.11.3.4	Ветровые нагрузки, возникающие при резонансном вихревом возбуждении, допускается определять в соответствии с указаниями раздела В.2 приложения В.	С

СТО–СА–03–002–2009	Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.	
п.6	Классификация и основные типы резервуаров.	
п.6.3	<p>В зависимости от номинального объема, места расположения площадки строительства, прогнозируемой величины ущерба при возможной аварии, резервуары подразделяются на четыре уровня ответственности - класса опасности. Минимальный класс опасности определяется номинальным объемом резервуара:</p> <p>класс 1 - резервуары объемом свыше 50000 м³; класс 2 - резервуары объемом от 10000 м³ до 50000 м³; класс 3 - резервуары объемом от 1000 м³ и менее 10000 м³; класс 4 - резервуары объемом менее 1000 м³.</p>	С
п.7	Материалы.	
п.7.7	Рекомендуемые стали.	
п.7.7.2	Для конструкций резервуаров рекомендуется применение Российских сталей, указанных в таблице 7.3.	С
п.7.7.7	<p>По согласованию с Заказчиком допускается применять стали по международным стандартам и национальным стандартам других стран. При этом требования к характеристикам и качеству стали должны быть не ниже соответствующих требований к отечественным сталям, рекомендованных на стоящем Стандартом, а также ГОСТ Р 52910-2008.</p> <p>Для конструкций группы А резервуаров объемом от 20000 м³ и выше рекомендуется применение сталей по стандартам ASTM-A537M/A; ASTM-A841M/A; EN 10025-S355; EN 10113-S420.</p>	С
п.8	Конструкции резервуаров.	
п.8.2	Стенки.	
п.8.2.1	Толщины листов стенки резервуара должны превышать расчетные значения по условиям прочности и устойчивости с учетом припусков на коррозию и минусового допуска на прокат. Минимальные конструктивные толщины листов стенки приведены в таблице 8.1. Максимальная толщина листов должна быть не более 40 мм.	С
п.8.3	Днища.	
п.8.3.5	<p>Номинальная толщина кольцевых окраек должна быть не менее величины, определяемой по формуле:</p> $t_b = \left(k_1 - 2.4 \cdot 10^{-3} \sqrt{r/(t_1 - \Delta t_{cs})} \right) (t_1 - \Delta t_{cs}) + \Delta t_{cb} + \Delta t_{mb}$ <p>где t_1 - номинальная толщина нижнего пояса стенки, полученная по п.9.2 или п.9.6 (что больше); $k_1 = 0.77$ - безразмерный коэффициент; Δt_{cs}, Δt_{cb} - припуск на коррозию нижнего пояса стенки и днища соответственно; Δt_{mb} - минусовой допуск на прокат крайки днища.</p> <p>Если по согласованию с Заказчиком в листе крайки днища допускаются пластические деформации, то следует принять $k_1 = 0.58$.</p> <p>Номинальную толщину крайки следует назначать с учетом ограничений:</p> $(0.006 + \Delta t_{cb}) \leq t_b \leq (0.016 + \Delta t_{cb})$	С
п.8.3.6	<p>Кольцевые крайки должны иметь ширину в радиальном направлении, обеспечивающую расстояние между внутренней поверхностью стенки и швом приварки центральной части днища к крайкам не менее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 300 мм для резервуаров объемом до 5000 м³; - 600 мм для резервуаров объемом более 5000 м³, - величины, назначаемой в п.9.6.6.4 (при наличии сейсмического воздействия), и не менее величины (мм), определяемой соотношением: $L_0 = k_2 \sqrt{r t_1}$ <p>где $k_2 = 0.92$ - безразмерный коэффициент.</p> <p>Если по согласованию с Заказчиком в листе крайки днища допускаются пластические деформации, то следует принять $k_2 = 0.76$.</p>	С
п.8.5	Стационарные крыши.	
п.8.5.2	<p>Бескаркасная коническая крыша представляет собой гладкую коническую оболочку, не подкрепленную радиальными ребрами жесткости. Геометрические параметры бескаркасной конической крыши должны удовлетворять следующим требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - максимальный диаметр крыши в плане - 12.5 м; 	С

	- минимальный угол наклона образующей крыши к горизонтальной поверхности должен составлять 15 градусов, максимальный угол наклона - 30 градусов. Номинальная толщина оболочки крыши должна определяться расчетом на устойчивость (п.9.3.3), и должна быть не менее 4 мм и не более 7 мм (при изготовлении оболочки крыши методом рулонирования). При недостаточной несущей способности гладкая коническая оболочка должна подкрепляться кольцевыми ребрами жесткости (шпангоутами), устанавливаемыми с наружной стороны крыши.	
п.8.5.3	Бескаркасная сферическая крыша представляет собой пологую сферическую оболочку. Радиус кривизны крыши должен находиться в пределах от 0.8 D до 1.2 D, где D - внутренний диаметр стенки резервуара. Рекомендуемым диапазоном применения бескаркасных сферических крыш являются резервуары объемом до 5000 м ³ с диаметром не более 25 м, эксплуатируемые с внутренним давлением до 6.0 кПа. Номинальная толщина оболочки крыши определяется расчетами на прочность и устойчивость, но должна быть не менее 4 мм.	С
п.8.11	Анкерное крепление стенки.	
п.8.11.6	Анкерные крепления должны располагаться равномерно по периметру стенки. Расстояние между анкерными болтами должно не превышать 3 м, за исключением резервуаров диаметром до 15 м при их расчете на сейсмику, когда указанное расстояние должно не превышать 2 м. Количество анкерных болтов, устанавливаемых на резервуаре, должно быть кратно четырем. Анкерные болты должны располагаться симметрично относительно главных осей резервуара и не совпадать с главными осями на плане.	С
п.9	Расчет конструкций резервуара.	
п.9.1	Основные положения.	
п.9.1.1	Нагрузки и воздействия.	
п.9.1.1.3	Расчетное значение нагрузки следует определять как произведение ее нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке, соответствующий рассматриваемому предельному состоянию и принимаемый по СНиП 2.01.07-85*.	С
п.9.1.2	Учет уровня ответственности.	
п.9.1.2.1	Уровень ответственности (класс опасности) резервуаров при расчете прочности и устойчивости основных несущих конструкций должен учитываться снижением расчетного сопротивления стали на коэффициент надежности по ответственности γ_n , значения которого приведены в таблице 9.1.	С
п.9.1.3	Учет условий работы. Отклонения условий эксплуатации элементов конструкций от нормальных учитываются коэффициентами условий работы γ_c , приведенными в таблицах 9.2, 9.3.	С
п.9.1.4	Учет температуры эксплуатации. Для условий эксплуатации резервуаров при температуре выше плюс 100°С необходимо учитывать снижение расчетного сопротивления стали путем введения коэффициента γ_t , назначаемого в зависимости от максимальной расчетной температуры металла T по формулам: $\gamma_t = \frac{[\sigma]_T}{[\sigma]_{20}}, \text{ если } T > 100^\circ\text{C}$ $\gamma_t = 1, \text{ если } T \leq 100^\circ\text{C}$ где $[\sigma]_T$, $[\sigma]_{20}$ - допускаемые напряжения стали при температуре соответственно T и 20° С, определяемые по ГОСТ Р 52857.1-2007. В случае применения сталей, не указанных в ГОСТ Р 52857.1-2007, допускаемые напряжения принимаются по согласованию с Заказчиком.	С
п.9.2	Расчет стенки.	
п.9.2.1	Общие указания.	
п.9.2.1.1	Номинальные толщины поясов стенки резервуара назначаются по итогам выполнения следующих расчетов: а) определение толщины поясов из условия прочности стенки при действии статических нагрузок в условиях эксплуатации и гидравлических испытаний; б) проверка устойчивости стенки; в) проверка прочности и устойчивости стенки при сейсмическом воздействии (в сейсмически опасных районах).	С

п.9.2.1.3	Назначение толщин стенки из условия прочности при статическом нагружении в условиях эксплуатации и гидро- пневмоиспытаний производится в п. 9.2.2 при действии нагрузки от веса хранимого продукта и избыточного давления.	С
п.9.2.1.4	Устойчивость стенки при статическом нагружении проверяется в соответствии с требованиями п. 9.2.3 при действии нагрузок от веса конструкций и теплоизоляции, от веса снегового покрова, от ветровой нагрузки и относительного разрежения (относительного вакуума) в газовом пространстве.	С
п.9.2.1.5	Прочность и устойчивость стенки при сейсмическом нагружении проверяется в соответствии с требованиями п. 9.6 при действии нагрузок - сейсмической, от веса хранимого продукта, от веса конструкций и теплоизоляции, от избыточного давления, от веса снегового покрова.	С
п.9.2.2	Расчет стенки резервуара на прочность.	
п.9.2.2.2	В процессе прочностного расчета стенки учитывается коэффициент надежности для избыточного давления, равный 1.2 для режима эксплуатации и 1.25 для режима гидро- пневмоиспытаний.	С
п.9.2.2.3	Номинальная толщина стенки t в каждом поясе резервуара должна назначаться по формулам: $t_{Ud} = [0.001\rho g(H_1 - x_L) + 1.2p] \frac{r}{R} + \Delta t_{cU} + \Delta t_{mU}$ $t_{Ug} = [0.001\rho g(H_{ig} - x_L) + 1.25p] \frac{r}{R} + \Delta t_{mU}$ $t_U = \max(t_{Ud}, t_{Ug})$ <p>Где $x_L = \sqrt{r(t_L - \Delta t_{cL} - \Delta t_{mL})}$ По согласованию с Заказчиком допускается принимать $x_L = 0$. Здесь и далее обозначено:</p> $R = \frac{R_{yn}\gamma_c\gamma_t}{\gamma_m\gamma_n}$ <p>Индексы U, L относятся к параметрам поясов, примыкающих соответственно сверху и снизу к i-му стыку (рис.9.1). Расчет производится последовательно от нижнего пояса к верхнему. При вычислении толщины первого пояса следует принять $x_L = 0$. Допускается использовать толщины поясов t_L, полученные по результатам расчета стенки на устойчивость (п.9.2.3) и сейсмостойкость (п.9.6).</p>	С
п.9.2.3	Устойчивость стенки резервуара.	
п.9.2.3.1	Критерий устойчивости стенки.	
п.9.2.3.1.1	Устойчивость стенки резервуара обеспечена при выполнении следующего условия: $\frac{\sigma_1}{\sigma_{kr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{kr2}} \leq 1$, где $\sigma_{kr1} = C_0 \frac{E}{\delta}$, $\sigma_{kr2} = 0.55 \frac{r}{H_r} \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}$, $\delta = \frac{r}{t_{ms} - \Delta t_c - \Delta t_m}$	С
п.9.2.3.1.2	Редуцированная высота стенки вычисляется по формуле $H_r = \sum_{i=1}^n h_i \left(\frac{t_{ms} - \Delta t_c - \Delta t_m}{t_i - \Delta t_{ci} - \Delta t_{mi}} \right)^{2.5}$ <p>Показатель степени в формуле для величины H_r может быть изменен в меньшую сторону в случае применения уточненных методик расчета устойчивости цилиндрической оболочки переменной толщины. При наличии ребра жесткости в пределах i-го пояса в качестве h_i берется расстояние от кромки этого пояса до ребра жесткости. В резервуарах с плавающей крышей для верхнего пояса в качестве h_i берется расстояние от нижней кромки пояса до ветрового кольца.</p>	С
п.9.2.3.1.3	Коэффициент C_0 следует определять по формулам: $C_0 = \begin{cases} 0.04 + 40/\delta & \text{при } 400 \leq \delta < 1220 \\ 0.085 - 10^{-5}\delta & \text{при } 1220 \leq \delta < 2500 \\ 0.065 - 2 \cdot 10^{-6}\delta & \text{при } 2500 \leq \delta < 5000 \end{cases}$	С
п.9.2.3.1.4	Меридиональные напряжения в i -ом поясе стенки вычисляются следующим образом: а) для резервуаров со стационарной крышей: $\sigma_1 = \frac{1.05G_m + 0.95(1.05G_0 + 1.3G_t)}{2\pi r(t_i - \Delta t_{ci} - \Delta t_{mi})} + \frac{0.9f_s p_s + 0.95 \cdot 1.2p_v}{t_i - \Delta t_{ci} - \Delta t_{mi}} \cdot \frac{r}{2}$ б) для резервуаров с плавающей крышей:	С

	$\sigma_1 = \frac{1.05G_m + 0.95(1.05G_0 + 1.3G_t)}{2\pi r(t_i - \Delta t_{ci} - \Delta t_{mi})}$	
п.9.2.3.1.5	<p>Кольцевые напряжения в i-ом поясе стенки следует определять по формулам:</p> <p>а) для резервуаров со стационарной крышей: $\sigma_2 = (0.95 \cdot 1.2p_v + 0.9 \cdot 0.5kp_w)\delta$</p> <p>б) для резервуаров с плавающей крышей: $\sigma_2 = kp_w\delta$</p> <p>где k-коэффициент учета изменения ветрового давления по высоте стенки z, определяемый по табл.6 СНиП 2.01.07-85*, либо, если $5m < z < 40m$, по формуле: $k = 0.365 \ln(z) + 0.157$</p>	С
п.9.2.3.1.7	<p>Коэффициент f_s, учитывающий форму стационарной крыши, принимается равным:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.7 для купольных крыш при $\rho_r < D$, - 0.9 для купольных крыш при $D \leq \rho_r < 1.1D$, - 1.0 для конических и прочих купольных крыш. 	С
п.9.2.3.2	Ветровые кольца жесткости на стенке резервуара.	
п.9.2.3.2.2	<p>Требуемый минимальный момент сопротивления сечения верхнего кольца жесткости резервуаров с плавающей крышей должен определяться по следующей формуле:</p> $W_{zt} = \frac{1.5 \cdot 1.4p_w}{215R} D^2 H_s$ <p>где коэффициент 1.5 учитывает разряжение от ветра в резервуаре с открытым верхом.</p> <p>Если верхнее кольцо жесткости приварено к стенке сплошным угловым швом, в момент сопротивления кольца включаются участки стенки с номинальной толщиной t и шириной $15(t - \Delta t_c)$ вниз и, если возможно, вверх от места установки кольца.</p>	С
п.9.2.3.2.3	<p>В случае необходимости установки промежуточного ветрового кольца, оно должно иметь такую конструкцию, чтобы его поперечное сечение удовлетворяло требованиям:</p> <p>- для резервуаров со стационарной крышей: Если $p_v \neq 0$: $W_{zi} = \frac{0.9 \cdot 1.4p_w + 0.95 \cdot 1.2p_v}{215R} D^2 H_{r \max}$ Если $p_v = 0$: $W_{zi} = \frac{1.4p_w}{215R} D^2 H_{r \max}$</p> <p>- для резервуаров с плавающей крышей: $W_{zi} = \frac{1.5 \cdot 1.4p_w}{215R} D^2 H_{r \max}$</p> <p>где $H_{r \max}$ - редуцированная высота участка стенки выше, или ниже промежуточного кольца (что больше) и определяемая по формуле 9.2.3.1.2.</p>	С
п.9.3	Расчет стационарных крыш.	
п.9.3.1	Общие положения расчета.	
п.9.3.1.2	<p>При расчете учитываются сочетания воздействий, в которых участвуют максимальные значения расчетных нагрузок, действующих на крышу «сверху вниз» (комбинации 1,3, таблица П.4.2 Приложения П.4):</p> <ul style="list-style-type: none"> - от собственного веса элементов крыши в некоррозионном состоянии; - от веса стационарного оборудования и площадок обслуживания на крыше; - от собственного веса теплоизоляции на крыше; - от веса снегового покрова при равномерном или неравномерном распределении снега на крыше; - от внутреннего разрежения в газоздушном пространстве резервуара. 	С
п.9.3.1.3	<p>В резервуарах, работающих с внутренним избыточным давлением, следует также учитывать сочетание нагрузок, в котором участвуют следующие воздействия (комбинация 2, таблица П.4.2 Приложения П.4):</p> <p>а) нагрузки, действующие на крышу «сверху вниз» и принимаемые с минимальными расчетными значениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> - от собственного веса элементов крыши в коррозионном состоянии, - от веса стационарного оборудования и площадок обслуживания на крыше, - от собственного веса теплоизоляции на крыше; <p>б) нагрузки, действующие на крышу «снизу вверх» и принимаемые с максимальными расчетными значениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> - от избыточного давления с коэффициентом надежности по нагрузке 1.2; 	С

	- от отрицательного давления ветра.	
п.9.3.1.4	Для сейсмоопасных районов строительства в проверку несущей способности элементов крыши необходимо включать расчет на особые сочетания нагрузок (комбинации 4, 5, 6 таблица П.4.2 Приложения П.4) с учетом сейсмического воздействия, определяемого в соответствии со СНиП П-7-81*.	С
п.9.3.2	Учет снеговых нагрузок.	
п.9.3.2.1	Величина действующей на крышу снеговой нагрузки вычисляется по формуле: $p_{sr} = \mu p_s$.	С
п.9.3.2.2	Коэффициент неравномерности распределения снегового покрова μ следует определять по таблице 9.5.	С
п.9.3.2.3	В таблице 9.5 используются следующие коэффициенты: $C_{r1} = 2.55 - \exp\left(0.8 - 14 \frac{f_r}{D}\right)$, $C_{r2} = 8.485 \gamma_s \sqrt{\frac{f_r}{D}}$, $C_{r3} = 2.15^3 \sqrt{\frac{\alpha \pi}{180^\circ}}$ $\gamma_s = \frac{4(f_r/D)}{1+4(f_r/D)^2}$	С
п.9.3.3	Бескаркасные конические крыши.	
п.9.3.3.1	Расчет толщины настила	
п.9.3.3.1.1	Минимальная толщина настила бескаркасной конической крыши определяется из условия устойчивости оболочки по формулам: $t_{r0} = 4.48 \frac{r}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{p_r}{E}}$, $t_r = t_{r0} + \Delta t_c$	С
п.9.3.3.1.2	Расчетная нагрузка на крышу вычисляется для сочетаний на грузок 1, 3 (таблица П.4.2 Приложения П.4) следующим образом: $p_r = \frac{1.05 G_r + 0.95(1.05 G_{r0} + 1.3 G_{rt})}{\pi r^2} + 0.9 p_s + 0.95 \cdot 1.2 p_v$	С
п.9.3.3.2	Узел сопряжения крыши и стенки	
п.9.3.3.2.1	Узел крепления крыши к верху стенки должен выполняться по одному из вариантов, приведенных на рис. 9.3. В расчетное сечение включается кольцевой элемент жесткости, а также прилегающие участки крыши и стенки.	С
п.9.3.3.2.2	Узел сопряжения крыши со стенкой должен быть рассчитан на прочность при действии кольцевого растягивающего усилия, возникающего от нагрузок расчетных сочетаний 1, 3 (таблица П.4.2 Приложения П.4). При этом размеры поперечного сечения должны удовлетворять условию: $A_r \geq \frac{p_r r^2}{2K \tan \alpha}$ где A_r - выделенная на рис. 9.3 площадь поперечного сечения уторного узла крыши, причем размеры включенных в расчет участков стенки и настила крыши определяются соотношениями: $L_s = 0.6 \sqrt{r(t - \Delta t_c)}$, $L_r = 0.6 \sqrt{r(t_r - \Delta t_c)} / \sin \alpha$	С
п.9.3.3.2.3	В резервуарах, работающих с внутренним избыточным давлением, узел сопряжения крыши со стенкой необходимо также проверить на устойчивость в случае действия кольцевого сжимающего усилия, возникающего от нагрузок расчетной комбинации 2, назначаемой по таблице П.4.2 Приложения П.4. При этом размеры поперечного сечения должны обеспечивать выполнение следующего условия: $J_y = \frac{r^4}{6E \tan \alpha} \left[0.95 \cdot 1.2 p - \frac{G_r + 0.95(G_{r0} + G_{rt})}{\pi r^2} \right]$ где J_y - момент инерции расчетного поперечного сечения относительно вертикальной оси «у-у», совпадающей с осью стенки (рис. 9.3).	С
п.9.5	Допускаемые нагрузки на патрубки врезок в стенку резервуара.	
п.9.5.2	Нагрузки на патрубок задаются в виде комбинаций трех усилий (рис. 9.6): радиальной силы вдоль оси патрубка F_r^* (кН), изгибающего момента в вертикальной плоскости M_L^* (кН-м), изгибающего момента в горизонтальной плоскости M_C^* (кН-м). На рис. 9.6 показаны положительные направления усилий.	С
п.9.5.3	Допускаемыми являются такие комбинации нагрузок, которые обеспечивают несущую способность сварных швов по предельным состояниям, то есть попадают внутрь области допускаемых нагрузок, полученной в результате расчета на конечно-элементной модели, включающей стенку, окрайку днища, патрубков, усиливающий лист и все швы в зоне врезки. Моделирование	С

	осуществлялось с применением трехмерных конечных элементов и обеспечивало многослойную разбивку по толщине стенки, патрубка и сварных швов. Методика получения границы области допускаемых нагрузок приведена в п. 9.5.4.	
п.9.5.4	<p>Размеры области допускаемых нагрузок (рис. 9.7) определяются по формулам:</p> $a_i = \frac{\lambda \gamma_c \gamma_t \gamma_{p1} \gamma_{p2} R_y}{100} \left[e_{1i} \left(\frac{D}{b_0} \right)^2 + e_{2i} \left(\frac{D}{b_0} \right) + e_{3i} \right], (i = 1, 2 \dots 4)$ $a_5 = a_2 - \frac{a_1 a_3}{a_4}; M_{C0} = \frac{\lambda \gamma_c \gamma_t \gamma_{p1} \gamma_{p2} R_y}{100} \left[e_{10} \left(\frac{D}{b_0} \right)^2 + e_{20} \left(\frac{D}{b_0} \right) + e_{30} \right]$ <p>Здесь значения коэффициентов $\gamma_c, \gamma_t, \gamma_{p1}, \gamma_{p2}$, определяются соответственно в пп. 9.1.3, 9.1.4, 9.5.7, 9.5.8; M_{C0} - максимально допускаемая величина момента M_C^* при $F_r^* = M_L^* = 0$..</p>	С
п.9.5.5	<p>Параметр λ вычисляется в зависимости от величины момента M_C^* по формуле:</p> $\lambda = \begin{cases} 1 - M_C^* /M_{C0}, & \text{если } M_C^* < M_{C0} \\ 0, & \text{если } M_C^* \geq M_{C0} \end{cases}$	С
п.9.5.6	<p>Безразмерные коэффициенты $e_{1i} - e_{3i}$, зависящие от условной высоты налива H^* и условного прохода патрубка D_u приведены в таблице 9.6. Величина H^*, используемая в таблице 9.6, определяется по формуле:</p> $H^* = \frac{t - \Delta t_c - \Delta t_m}{0.001 \rho g} \frac{R}{r}, \text{ но не более } 24 \text{ м.}$ <p>Здесь t - назначенная в проекте толщина нижнего пояса резервуара, величина R определяется в п.9.2.2.3 для режима эксплуатации.</p>	С
п.9.5.7	Если предусмотрена термообработка узла врезки, то в формулах 9.5.4 следует принять $\gamma_{p1}=1$, в противном случае $\gamma_{p1}=0.9$	С
п.9.5.8	<p>Для учета циклического характера приложения нагрузок используется коэффициент γ_{p2}, который зависит от условного количества циклов налива (слива) продукта n_c и определяется следующим соотношением:</p> $\gamma_{p2} = \frac{1}{R_y} \left[\frac{B_1}{\sqrt{10 n_c}} \cdot \left(1 - \frac{T}{2300} \right) + \frac{B_2}{2} \right]$ <p>Причем если $\gamma_{p2} > 1$, следует принять $\gamma_{p2} = 1$.</p> <p>В представленной формуле параметры B_1 и B_2, измеряемые в МПа, на значаются по таблице 9.7, соответствующей ГОСТ Р 52857.6-2007. В таблице 9.7 $R_{m/t}$ -временное сопротивление стали при расчетной температуре T, принимаемое по ГОСТ Р 52857.1-2007. Единичным наливом (сливом) продукта следует считать технологическую операцию, при которой уровень налива (слива) изменяется не менее чем на 0.5Н.</p>	С
п.9.5.9	Комбинация фактических нагрузок на патрубок F_r^*, M_L^*, M_C^* является допускаемой, если точка с координатами F_r^*, M_L^* , построенная на графике рис. 9.7, располагается внутри многоугольника.	С
п.9.5.11	Допускаемые нагрузки на патрубки с величиной D_u , отличающейся от приведенной в таблице 9.6, могут быть получены интерполяцией.	С
п.9.6	Расчет сейсмостойких резервуаров.	
п.9.6.1	Общие положения.	
п.9.6.1.1	Настоящий раздел содержит требования к расчету и проектированию вертикальных цилиндрических стальных резервуаров, эксплуатация которых предусматривается в районах с сейсмичностью выше 6 баллов по шкале MSK-64. Для районов с сейсмичностью 6 баллов и ниже сейсмические нагрузки учитывать не требуется.	С
п.9.6.1.2	<p>Полная нагрузка со стороны продукта на стенку и днище резервуара в условиях землетрясения включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - гидростатическую нагрузку и нагрузку от действия избыточного давления; - импульсивную (инерционную) составляющую гидродинамического давления; - конвективную (кинематическую) составляющую гидродинамического давления; - составляющую сейсмической нагрузки от вертикальных колебаний грунта. <p>Импульсивная составляющая давления возникает от части продукта, движущегося в условиях землетрясения совместно со стенкой резервуара. Колебания жидкости внутри резервуара создают конвективное давление и</p>	С

	приводят к появлению волн на поверхности продукта. Вертикальные колебания основания резервуара также индуцируют дополнительную нагрузку на его стенку.	
п.9.6.1.5	Сейсмостойкость резервуара следует считать обеспеченной при одновременном выполнении следующих условий: а) резервуар не опрокидывается при землетрясении (критерием опрокидывания является предельное состояние, при котором на внешнем радиусе при поднятой части днища возникает полный пластический шарнир, рис. 9.9); б) обеспечена устойчивость нижнего пояса стенки от действия продольно поперечной нагрузки; в) обеспечены условия прочности для всех несущих элементов резервуара.	С
п.9.6.2	Параметры сейсмического воздействия.	
п.9.6.2.2	Задание на проектирование должно включать следующие параметры сейсмического воздействия: - сейсмичность площадки строительства (баллы по шкале MSK-64); - категория грунта по сейсмическим свойствам (таблица 1* СНиП П-7-81); - коэффициент вертикального сейсмического ускорения A_v .	С
п.9.6.2.3	Коэффициент горизонтального сейсмического ускорения составляет $A_h = 0.1, 0.2, 0.4$ при землетрясении интенсивностью 7, 8, 9 баллов соответственно. Для грунтов категорий сейсмичности I или III параметр A_h задается по таблице 1* СНиП П-7-81.	С
п.9.6.2.4	Коэффициент вертикального сейсмического ускорения назначается на основе данных сейсмического микрорайонирования. Если данные отсутствуют, допускается принимать $A_v = 0.5A_h$.	С
п.9.6.2.5	В разделе 9.6 принята система безразмерных коэффициентов, представленная в таблицах 9.8, 9.9.	С
п.9.6.3	Расчетные нагрузки. Расчет всех компонент сейсмических нагрузок производится на основе спектрального метода с учетом коэффициентов динамичности и демпфирования, соответствующих основному тону колебаний резервуара и продукта.	
п.9.6.3.1	Опрокидывающий момент определяется по формуле: $M_s = \frac{A_h \gamma_n}{m_k} \left[K_i \beta_i (G_s^* X_s + G_r^* X_r) + GH \sqrt{[K_i K_{\psi_i} \beta_i (0.483 - 0.008 r/H - \eta_1)]^2 + (K_c K_{\psi_c} \beta_c \eta_1)^2} \right]$ Где $\eta_1 = \frac{0.247r}{H} \left\{ 1.84 \operatorname{th} \left(1.84 \frac{H}{r} \right) + \frac{r}{H} \left[\frac{1}{\operatorname{ch}(1.84H/r)} - 1 \right] \right\}$	С
п.9.6.3.3	Нагрузки от продукта, действующие на стенку и днище резервуара, определяются по формулам: $p_i(z, \varphi) = \frac{\rho g r}{10^3 m_k} \gamma_n A_n K_i K_{\psi_i} C_i(z) \cos \varphi$, $p_c(z, \varphi) = \frac{\rho g r}{10^3 m_k} \gamma_n A_n K_c K_{\psi_c} C_c(z) \cos \varphi$, $p_{vs}(z) = \frac{\rho g (H-z)}{10^3 m_k} \gamma_n A_v K_i K_{\psi_i}$, $p_0(z, \varphi) = \frac{\rho g (H-z)}{10^3} \gamma_n + 1.2 p \gamma_n + \sqrt{p_i^2 + p_c^2 + p_{vs}^2}$, Где $C_c(z) = \frac{0.837 \operatorname{ch}(1.84z/r)}{\operatorname{ch}(1.84H/r)}$, $C_i(z) = 1 - (10 H/r + 1.4)^{-2.1} - 0.1325(z/H)^6 - C_c(z)$	С
п.9.6.3.4	Период основного тона конвективных колебаний продукта определяется соотношением: $T_c = 2\pi \sqrt{\frac{r}{1.84g \operatorname{th}(1.84 H/r)}}$	С
п.9.6.3.5	Коэффициент динамичности для конвективных колебаний продукта β_c определяется в зависимости от периода T_c следующим образом: а) по формулам п.2.6* СНиП П-7-81*, если $0 \leq T_c \leq T_0 = 2$ с; б) $\beta_c = (T_0/T_c)^2 \beta_0$, если $T_c > T_0$, где $\beta_0 = \beta(T_0)$ - значение коэффициента динамичности, полученное по формулам п.2.6* СНиП П-7-81* на границе области низкочастотных сейсмических колебаний продукта при $T_0 = 2$ с.	С
п.9.6.4	Проверка сейсмостойкости резервуара.	
п.9.6.4.2	Опрокидывание резервуара не происходит, если выполняется неравенство:	С

	$J = \frac{M_s}{D^2(q_t + q_L)} \leq \frac{\pi}{2}$ <p>Где $q_t = \frac{G_s^* + G_r^*}{\pi D}$, $q_L = 0.0277(t_b - \Delta t_{cb} - \Delta t_{mb})\sqrt{R_{by}\rho g H} \leq 2 \cdot 10^{-5}\rho g H D$, $t_b, \Delta t_{cb}, \Delta t_{mb}$ - соответственно толщина, припуск на коррозию и минусовой допуск на прокат окрасочных (если предусмотрено - кольцевых) листов днища.</p>	
п.9.6.4.3	<p>Устойчивость стенки проверяется от действия продольно поперечной нагрузки, вызывающей ее изгиб и вертикальное сжатие в процессе опрокидывания резервуара с продуктом. За предельное состояние принимается фибровая текучесть стенки (с учетом коэффициентов γ_c и γ_n), проверяемая в вертикальном сечении оболочки. Несущая способность нижнего пояса стенки с расчетным сопротивлением по пределу текучести R_{1y} и номинальной толщиной нижнего пояса t_1 обеспечена, если выполняется условие:</p> $\sigma_c = \frac{q_{max}}{t_1 - \Delta t_{c1} - \Delta t_{m1}} \leq \sigma_a$ <p>в котором расчетные нагрузки по контуру стенки в основании резервуара q_{max} вычисляются в п.9.6.6.1, а допускаемые сжимающие напряжения в этом поясе определяются выражением:</p> $\sigma_a = \left[0.672 - \frac{0.142\gamma_n}{\gamma_c R_{1y}} \left(\frac{\rho g H E}{388 \sigma_0} + \sigma_0 \right) \right] \sigma_0, \text{ где } \sigma_0 = \frac{E(t_1 - \Delta t_{c1} - \Delta t_{m1})}{r}$	С
п.9.6.4.5	<p>Толщины каждого i-го пояса стенки t_i определяются из условия прочности по кольцевым усилиям цилиндрической оболочки. С учетом сейсмических нагрузок $p_0(z, \varphi)$, действующих на стенку в точке с координатами $z_i = H - H_i, \varphi = 0$, имеем:</p> $t_i = \frac{r p_0(z_i, 0)}{R_{iy} \gamma_c} + \Delta t_{ci} + \Delta t_{mi}$ <p>Где R_{iy} - расчетное сопротивление по пределу текучести i-го пояса стенки.</p>	С
п.9.6.5	Максимальные вертикальные усилия сжатия в стенке резервуара.	
п.9.6.5.2	<p>Максимальные вертикальные усилия сжатия в нижнем поясе стенки резервуара следует определять по формулам:</p> $q_s = \begin{cases} q_t + \frac{4M_s}{\pi D^2}, & \text{если } J \leq \frac{\pi}{4} \\ \frac{q_t + q_L}{0.6 - 0.18(J - 0.02)^{2.35}} - q_L, & \text{если } \frac{\pi}{4} < J \leq 1.5 \\ \frac{1.45(q_t + q_L)}{\sqrt{1 - 0.637J}} - q_L, & \text{если } 1.5 < J \leq \frac{\pi}{2} \end{cases}$	С
п.9.6.6	Нагрузки на основание и фундамент и размеры окрайки днища в условиях сейсмического воздействия.	
п.9.6.6.1	<p>Вертикальные расчетные нагрузки, действующие по контуру стенки резервуара в процессе землетрясения, вычисляются по формулам:</p> <p>а) если требуется установка анкеров</p> $q_{max} = q_t + \frac{4M_s}{\pi D^2}, q_{min} = q_t - \frac{4M_s}{\pi D^2}$ <p>б) если анкеры не требуются</p> $q_{max} = q_s, q_{min} = \begin{cases} q_t - \frac{4M_s}{\pi D^2}, & \text{если } \frac{M_s}{q_t D^2} \leq \frac{\pi}{4} \\ 0, & \text{если } \frac{M_s}{q_t D^2} > \frac{\pi}{4} \end{cases}$	С
п.9.6.6.2	<p>Максимальная и минимальная вертикальные расчетные нагрузки на основание под центральной частью днища резервуара в процессе землетрясения вычисляются по формуле:</p> $p_f = 0.001g\gamma_n(\rho H + \rho_s t_{bc}) + 1.2p\gamma_n \pm \sqrt{[p_i(0,0)]^2 + [p_c(0,0)]^2 + [p_{vs}(0,0)]^2}$ <p>где знаки плюс и минус соответствуют максимальному и минимальному значению давления в диаметрально противоположных точках днища, расположенных по оси сейсмического воздействия.</p>	С
п.9.6.6.3	<p>Горизонтальная сдвигающая сила, передаваемая от резервуара на фундамент при землетрясении, вычисляется по формуле:</p> $Q_s = \frac{A_n \gamma_n}{m_k} \left[K_i \beta_i (G_s^* + G_r^*) + G \sqrt{\{K_i K_{\psi i} \beta_i [1 - (10H/r + 1.4)^{-2.1} - \eta_2]\}^2 + (K_c K_{\psi c} \beta_c \eta_2)^2} \right],$	С

	Где $\eta_2 = 0.455(r/H) \operatorname{th}(1.84 H/r)$.	
п.9.6.6.4	<p>Минимальная требуемая ширина окрайки днища в процессе землетрясения (рис.9.9) определяется соотношением:</p> $L_e = 39.5t_b \sqrt{\frac{R_{by}}{\rho g H}} \leq 0.07r$ <p>Окончательно ширина окрайки днища назначается как большая из величин, полученных по формулам п.8.3.6 и п.9.6.6.4.</p>	С
п.9.6.7	Требования к установке анкеров.	
п.9.6.7.1	<p>Если требуется установка анкеров (см. п.9.6.4.4г), то расчетное усилие в одном анкерном болте определяется по формуле:</p> $N_a = (1.2\pi r^2 + 4M_s/D_a - G_s^* - G_r^*)/n_a$ <p>причем значения весовых характеристик G_s^*, G_r^* принимаются за вычетом веса откорродировавшего металла и без учета снеговой нагрузки.</p>	С
п.9.6.7.2	<p>Количество анкерных болтов, устанавливаемых по периметру резервуара, определяется конструктивно. При этом минимальная расчетная площадь поперечного сечения нетто анкерного болта составляет:</p> $A_{ba} = N_a/R_{ba}$ <p>где расчетное сопротивление анкерных болтов R_{ba} назначается на основе требований раздела 3 СНиП И-23-81*. Номинальный диаметр резьбы болта следует принимать в соответствии с ГОСТ 24379.0.</p>	С
п.9.6.8	Максимальный уровень наполнения резервуара.	
п.9.6.8.1	<p>Высота волны на поверхности продукта определяется по формуле:</p> $d_{max} = 0.84\beta_c r A_h$	С
п.9.6.8.2	<p>Максимальный уровень наполнения резервуара H должен назначаться с учетом высоты волны на поверхности продукта в процессе землетрясения. При этом следует обеспечить выполнение условия:</p> $H + \Delta H + d_{max} < H_s$	С
п.10	Основания и фундаменты.	
п.10.2	Расчет нагрузок на основание и фундамент резервуара.	
п.10.2.4	<p>Опрокидывающий момент, действующий на резервуар в результате ветрового воздействия, вычисляется по формуле:</p> $M_w = \gamma_n(M_{ws} + M_{wr})$ <p>Где</p> $M_{ws} = 0.575p_w D [2.5 + 0.57(H_s - 5)] \left[1 - 0.705 \left(\frac{H_s}{b_0} \right)^3 + 4.642 \left(\frac{H_s}{b_0} \right)^2 + 4.815 \frac{H_s}{b_0} \right]$ $M_{wr} = 1.4 \cdot 0.6S_r X_r p_w, b_0 = 10 \text{ м.}$	С
п.10.2.5	<p>Расчетная погонная нагрузка по контуру стенки характеризуется максимальным и минимальным значениями, соответствующими диаметрально противоположным участкам фундамента (рис.10.1). Максимальная и минимальная нагрузки определяются соответственно, как сумма и разность максимальных нагрузок первого и второго типа (с учетом знаков). Расчетная нагрузка по контуру стенки в основании резервуара определяется по формулам:</p> $q_{max} = \frac{Q_{max}}{2\pi r} + \frac{M_w}{\pi r^2}, q_{min} = \frac{Q_{max}}{2\pi r} - \frac{M_w}{\pi r^2}$	С
п.10.2.6	<p>Расчетная вертикальная нагрузка на фундамент резервуара, соответствующая 1-му расчетному сочетанию нагрузок (таблица П.4.6 Приложения П.4), составляет:</p> $Q_{max} = \gamma_n \{ 1.05(G_s + G_r) + 0.95 [1.05(G_{s0} + G_{r0}) + 1.3(G_{st} + G_{rt})] + (0.9f_s p_s + 0.95 \cdot 1.2p_v) \pi r^2 \}$	С
п.10.2.9	<p>Нагрузки на центральную часть днища определяются исходя из величины внутреннего избыточного давления, максимального проектного уровня налива и плотности продукта (эксплуатация) или воды (гидро- пневмоиспытания). Эту нагрузку следует определять по формулам:</p> $p_f = \gamma_n [0.001g(\rho H + \rho_s t_{bc}) + 1.2p]$ $p_{fg} = \gamma_n [0.001g(\rho_g H_{0g} + \rho_s t_{bc}) + 1.25p]$	С
п.10.2.10	Требования по установке анкеров	

п.10.2.10.3	<p>Требуется установка анкеров, если выполняются следующие неравенства, соответствующие условиям п. 10.2.10.1:</p> $Q_{min} < 0, (Q_{min} - F_{wvr})r \leq M_w$ <p>Левая часть второго неравенства представляет момент от удерживающих сил, а правая - опрокидывающий момент, определяемый по формуле п. 10.2.4.</p>	С
п.10.2.10.4	<p>Подъемная сила от действия ветра на крышу определяется по формуле:</p> $F_{wvr} = 1.4 \cdot 0.6 \gamma_n \pi r^2 p_w$ <p>Для конических крыш с углом наклона $\alpha_r > 5^\circ$ и сферических крыш высотой $f_r \geq 0.1D$, а также для резервуаров с плавающими крышами следует принять $F_{wvr}=0$.</p>	С
п.10.2.10.5	<p>Расчетная минимальная вертикальная нагрузка на фундамент резервуара вычисляется для 3-го расчетного сочетания нагрузок (таблица П.4.6 Приложения П.4) и составляет:</p> $Q_{min} = \gamma_n [(G_s + G_r) + 0.95(G_{s0} + G_{r0} + G_{st} + G_{rt}) - 1.2 \cdot 0.95 p \pi r^2]$	С

РД РТМ 26-01-44-78	Детали трубопроводов на давление свыше 10 до 100 МПа. Нормы и методы расчета на прочность.	
п.1	Общие положения.	
п.1.5	Допускаемые напряжения.	
п.1.5.1	Допускаемое напряжение $[\sigma]$ определяется по формуле: $[\sigma] = \eta \sigma^*$	С
п.1.5.2	Если расчетная температура не превышает для углеродистых сталей 380°C, для низколегированных сталей 420°C, для аустенитных сталей 525°C, нормативное допускаемое напряжение σ^* для всех деталей, кроме шпилек и фланцев, определяется по формуле: $\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right\}$ Нормативные допускаемые напряжения материалов шпилек $\sigma_{ш}^*$ и фланцев $\sigma_{ф}^*$ определяются по формулам: $\sigma_{ш}^* = \frac{\sigma_T}{n_T}; \sigma_{ф}^* = \frac{\sigma_T}{n_T}$	С
п.1.5.3	Если расчетная температура превышает значения, указанные в п. 1.5.2., нормативное допускаемое напряжение для всех деталей, кроме шпилек и фланцев, определяется по формуле: $\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_D}{n_D} \right\}$ Нормативные допускаемые напряжения материалов шпилек и фланцев определяются по формулам: $\sigma_{ш}^* = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_D}{n_D} \right\}$ $\sigma_{ф}^* = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_D}{n_D} \right\}$	С
п.1.5.4	При отсутствии данных по пределу длительной прочности нормативное допускаемое напряжение определяется по формуле: $\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T}; \sigma_n \right\}$ Для шпилек и фланцев - $\sigma_{ш}^* = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}; \sigma_n \right\}$ $\sigma_{ф}^* = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}; \sigma_n \right\}$	С
п.1.5.5	Коэффициенты запаса принимаются следующими: $n_B = 2,6$; $n_B = 3,0$ (для аустенитных сталей); $n_T = 1,5$; $n_D = 2,0$. - для всех деталей, кроме шпилек и фланцев. Для шпилек - коэффициент n_T принимается по табл. 1. Для фланцев - $n_T = 2,0$ при $T \leq 400$ °С; $n_T = 2,2$ при $T > 400$ °С; $n_D = 2,0$.	С
п.1.5.6	При расчетной температуре ниже 20 °С допускаемое напряжение материала принимается равным допускаемому напряжению при 20°C. Применение материала при данной температуре должно быть разрешено Правилами Госгортехнадзора СССР.	С
п.1.5.8	При пробном давлении необходимо производить проверку прочности деталей трубопроводов по формулам соответствующих разделов, подставляя в расчетные формулы $R_{пр}$ вместо R . Допускаемое напряжение при этом определяется по формуле: $[\sigma] = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}$ Величина пробного давления принимается в соответствии с ГОСТ 356 "Давления условные, пробные и рабочие для арматуры и соединительных частей, трубопроводов".	С
п.1.7	Расчетные значения физических характеристик. Расчетные значения модуля упругости материала E и коэффициента линейного расширения α принимаются по гарантированным справочным данным.	С

	При отсутствии справочных данных значения E и α рекомендуется принимать по табл. 3 и 4.	
п.1.8	Прибавка к расчетным величинам.	
п.1.8.1	К расчетным толщинам стенок деталей необходимо давать прибавку $C=C1+C2$.	С
п.7	Фланцевые соединения.	
п.7.3	Определение расчетного усилия.	
п.7.3.1	Расчетное усилие Q определяется по формуле $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$	С
п.7.3.2	Сила давления рабочей среды Q_1 определяется по формуле $Q_1 = \frac{\pi}{4} D_n^2 P$	С
п.7.3.3	Усилие уплотнения прокладки в рабочих условиях определяется по формулам: линзовая прокладка - $Q_2 = \pi D_n q$; величина q принимается по черт. 25; овальная, восьмигранная и плоская прокладки - $Q_2 = \pi D_n v_3 m$; для овальной и восьмигранной прокладок $v_3 = \frac{1}{4} v$; для плоской прокладки $v_3 = v$, если $v \leq 10$ мм; $v_3 = 10 \sqrt{\frac{v}{10}}$ если $v > 10$ мм. Коэффициент m принимается равным: Алюминий $m=4,0$; медь $m=4,8$; сталь типа 08 $m=5,5$; сталь типа 1X13 $m=6,0$; аустенитная хромоникелевая сталь типа 0X18H10T $m=6,5$.	С
п.7.3.4	Нагрузка Q_3 , учитывающая действие изгибающего момента M , определяется по формуле $Q_3 = K \frac{4M}{D_n}$ Коэффициент K принимается равным: для линзовой прокладки $K=0,5$; для овальной и восьмигранной прокладок $K=0,6$; для плоской прокладки $K=1,0$. Изгибающий момент M должен быть не более допустимого момента $M_{доп}$, определяемого по формуле $M_{доп} = \frac{\pi}{32} d^3 \frac{\beta^4 - 1}{\beta} \varphi_{и} \left([\sigma] - \frac{P}{\beta^2 - 1} \right)$ β - коэффициент толстостенности трубы; $\varphi_{и}$ - см. п. 1.6, табл. 2; $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{1,5}$ - при выполнении условий п. 1.5.2. $[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{1,5}; \frac{\sigma_d}{1,5} \right\}$ - если расчетная температура превышает значения, указанные в п. 1.5.2. При пробном давлении нагрузка $Q_3=0$.	С
п.7.3.5	Расчетный диаметр прокладки D_n принимается равным: линзовая прокладка - $D_n = D_k$; диаметр контакта D_k сферы линзы с конусом трубы принимается по ГОСТ 10493; овальная, восьмигранная и плоская прокладки - $D_n = D_{ср}$; средний диаметр прокладки $D_{ср}$ принимается равным $D_{ср} = D_0 + v$; внутренний диаметр прокладки D_0 принимается конструктивно.	С
п.7.4	Расчет шпилек.	
п.7.4.1	Расчетный диаметр d_p стержня шпильки определяется по формуле $d_p = \sqrt{\frac{4Q}{\pi z [\sigma]_{ш}}}$ Диаметр $d_{ст}$ (черт. 26) принимается по ГОСТ 10494 в зависимости от d_p ($d_{ст} \geq d_p$).	С
п.7.5	Расчет фланцев.	

<p>п.7.5.1</p>	<p>Размеры фланца принимаются конструктивно из условия размещения шпилек: Рекомендуется принимать: Наружный диаметр фланца D_ϕ $D_\phi = D_{ш} + d_\Gamma + (1 - 5)\text{мм}$ Диаметр окружности центров шпилек $D_{ш}$: резьбовой фланец - $D_{ш} \geq \max \left\{ \frac{2,2d_0}{\sin \frac{180}{2}}; d_\phi + d_\Gamma + a \right\}$; цельный фланец - $D_{ш} \geq \max \left\{ \frac{2,2d_0}{\sin \frac{180}{2}}; d_\phi + d_\Gamma + 2(S_B + r_B) \right\}$.</p>	<p>С</p>
<p>п.7.5.6</p>	<p>Размеры втулки Наибольшая толщина втулки S_B $S_B = (2 - 3)S$ меньшие значения S_B принимаются для овальных прокладок, большие значения S_B - для плоских прокладок. Наибольший диаметр втулки D_B $D_B = d_\phi + 2S_B$ Высота втулки h_B $h_B = \frac{D_B - D}{2i}$ Уклон втулки i $i = \frac{1}{3}$ Радиус закругления r_B $r_B \geq 0,4S_B$</p>	<p>С</p>
<p>п.7.5.7</p>	<p>Толщина h_ϕ тарелки фланца определяется по формуле $h_\phi = d_{ст} \sqrt{\frac{V - \chi}{W}}$ Резьбовой фланец - $V = 0,33V \frac{[\sigma]_{ш} Z}{[\sigma]_\phi \varphi}$; $\varphi = 1 - \frac{2d_0}{D_\phi - d_\phi}$; $\chi = 0$; $W = 1 + \frac{D_\phi - d_\phi}{2l_2} - \frac{D_\phi}{D_{ш}}$; $l_2 = 0,5(D_{ш} - D)$ Цельный фланец - $V = 0,372 \frac{[\sigma]_{ш}}{[\sigma]_\phi} \left[Z \frac{l_1}{l_2} + 0,7\psi \frac{P}{[\sigma]_\phi} \left(\frac{D_\Pi}{d_{ст}} \right)^2 \right]$; $\psi = \left(1 - \frac{l_1}{l_2} \right) \left[\left(\frac{D_{ш} - 2l_2}{D_\Pi} \right)^2 + 1 \right] + 0,2 \frac{l_1}{l_2}$; $l_1 = 0,5(D_{ш} - D_\Pi)$; $l_2 = 0,5(D_{ш} - d - S)$; $\chi = \frac{d_\phi S_B^2}{2l_2 d_{ст}^2}$, если $\gamma \geq 1$; $\chi = \frac{d_\phi S^2 - \gamma(S_B^2 - S^2)}{2l_2 d_{ст}^2}$, если $\gamma < 1$; $\gamma = \frac{2h_B}{\sqrt{d_\phi(S_B - S)}}$; $W = 1 + \frac{D_\phi - d_\phi}{2l_2} - \frac{D_\phi}{D_{ш}}$. Номинальное допускаемое напряжение $[\sigma]_\phi$ определяется в соответствии с подразделом 1.5.</p>	<p>С</p>

АТК 24.201.10-90	Окна смотровые стальных сосудов и аппаратов. Типы, конструкции и размеры. Технические требования.	
п.2	Конструкции и размеры.	
п.2.1	Конструкция и основные размеры окон смотровых типа 1 должны соответствовать черт. 1 и табл. 2.	С
п.2.2	Конструкция, размеры и масса окон смотровых типа 2 должны соответствовать указанным на черт. 7 и в табл. 8.	С
п.2.3	Конструкция, размеры и масса окон смотровых типа 3 должны соответствовать указанным на черт. 9 и в табл. 10.	С
Приложение 1	Рекомендации по расчету на прочность и герметичность фланцевых соединений смотровых окон.	
1.2	Типы фланцевых соединений смотровых окон приведены на черт. 1 - 2.	С
1.4	Расчетная температура элементов фланцевых соединений определяется на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний. Допускается принимать расчетную температуру: фланца, стакана - t; шпилек - 0, 97 t.	С
1.5	Допускаемое напряжение для шпилек определяется по формуле: $[\sigma]_{6j} = \frac{\sigma_m}{n_m}$ Где σ_m - минимальное значение условного предела текучести материала шпилек, МПа; n_m - коэффициент запаса прочности по пределу текучести. для затяжки и рабочих условий: для углеродистых сталей $n_m = 2,1$; для аустенитных сталей $n_m = 1,8$. Для условий испытания величина $[\sigma]_{6j}$ может быть увеличена не более, чем на 20 %.	С
2	Расчет вспомогательных величин.	
2.2	Податливость прокладки, мм/Н $y_{n1} = \frac{h_{ni}K_i}{E_{ni}\pi D_{cni}b_{ni}}$	С
2.3	Угловая жесткость прокладки, мм·Н $K_{ni} = \frac{E_{ni}D_{cni}b_{ni}^3}{24h_{ni}}$	С
2.4	Податливость шпилек, мм/Н $y_{6i} = \frac{L_{6j}}{E_{6j}f_{6j}z_j}$ Где $L_{6j} = L_j + 0,56d_j$ $L_1 = h - h_1 + h_{n1} + h_{n2} + h_{cm} - h_2$ $L_2 = h_c + h_{n3} - h_4$	С
2.5	Изгибная жесткость шпилек, мм/Н $K_{6j} = \frac{0,4d_j^4 E_{6j}z_j}{128L_j}$	С
2.6	Параметры фланца Момент инерции сечения фланца, мм ⁴ $J_\phi = J_1 + F_1y_1^2 + J_2 + F_2y_2^2 - J_3 - F_3y_3^2$ Где $F_1 = b_1h_1; b_1 = 0,5(D_2 - D_5); J_1 = \frac{b_1h_1^3}{12};$ $F_2 = b_2(h - h_1); b_2 = 0,5(D_2 - D); J_2 = \frac{b_2(h-h_1)^3}{12};$ $F_3 = 12,5; J_3 = 17,4$ $y = \frac{F_1(2h-h_1)+F_2(h-h_1)-41,67}{2(F_1+F_2-F_3)};$ $y_1 = h - \frac{h_1}{2} - y; y_2 = y - \frac{h-h_1}{2}; y_3 = y - \frac{5}{3};$ $b_c = \frac{F_1b_1+F_2b_2-F_32\left(b_2-\frac{5}{3}\right)}{2(F_1+F_2+F_3)};$	С

	$a = \frac{D_2}{2} - b_c.$ <p>Угловая жесткость фланца</p> $K_\phi = \frac{EJ_\phi}{a}$ <p>Угловая податливость системы фланец - шпильки - прокладка</p> $y_\phi = \frac{1}{2\pi(K_\phi + K_{\phi 1} + K_{n1})}$ <p>Размеры D5, D6 принимаются по табл. 4 раздела 2.</p>	
2.7	<p>Параметры стакана</p> $J_c = J_1 + F_1 y_1^2 + J_2 + F_2 y_2^2 + J_3 + F_3 y_3^2$ <p>Где</p> $F_1 = b_1 h_c; b_1 = 0,5(D_6 - D_5); J_1 = \frac{b_1 h_c^3}{12};$ $F_2 = b_2 h_3; b_2 = 0,5(D_1 - D_6); J_2 = \frac{b_2 h_3^3}{12};$ $F_3 = b_3 h_5; b_3 = 0,5(D_5 - D); h_5 = h_c - h_2; J_3 = \frac{b_3 h_5^3}{12};$ $y_c = \frac{F_1 h_c + F_2 h_3 + F_3 (2h_2 + h_5)}{2(F_1 + F_2 + F_3)};$ $b_c = \frac{F_1 (2b_2 + b_1) + F_2 b_2 + F_3 (2b_1 + 2b_2 + b_3)}{2(F_1 + F_2 + F_3)};$ $a = \frac{D_1}{2} - b_c.$ $y_1 = \frac{h_c}{2} - y_c; y_2 = y_c - \frac{h_3}{2}; y_3 = h_c - \frac{h_5}{2} - y_c;$ <p>Угловая жесткость стакана</p> $K_{\phi c} = \frac{EJ_c}{a_c}$ <p>Угловая податливость системы стакан - шпильки - прокладка</p> $y_{\phi c} = \frac{1}{2\pi(K_{\phi c} + K_{\phi 2} + K_{n3})}$	С
3	Коэффициент жесткости фланцевого соединения.	
3.1	<p>Коэффициент жесткости соединения фланец – стакан</p> $\alpha_1 = 1 - \frac{y_{n2}}{\eta_1}$ <p>где</p> $\eta_1 = y_{\phi 1} + y_{n1} + y_{n2} + y_\phi c_1^2$ $c_1 = 0,5(D_3 - D_{cn1})$	С
3.2	<p>Коэффициент жесткости соединения стакан – бобышка</p> $\alpha_2 = 1 - \frac{y_{n3} - y_{\phi c} c_2 e}{\eta_2}$ $\eta_2 = y_{\phi 2} + y_{n3} + y_{\phi c} c_2^3$ $c_2 = 0,5(D_4 - D_{cn3})$ $e = 0,5(D_{cn3} - D)$	С
4	Расчет нагрузок.	
4.1	<p>Равнодействующая внутреннего давления, Н</p> $Q_{\delta i} = 0,785 D_{cni}^2 p$ $i = 2,3$	С
4.2	<p>Реакция прокладки в рабочих условиях, Н</p> $R_{ni} = \pi D_{cni} b_{ni} m_i p$ $i = 2,3$	С
4.3	<p>Усилие, возникающее от температурных деформаций, Н, для соединения фланец – стакан</p> $Q_{t1} = \frac{1}{\eta_1} [\alpha_\phi (h - h_1)(t - t_0) - \alpha_6 L_1 (t - t_0)]$ <p>для соединения стакан – бобышка</p> $Q_{t2} = \frac{1}{\eta_2} [\alpha_c (h_c - h_4)(t - t_0) - \alpha_6 L_2 (t - t_0)]$	С
4.4	<p>Нагрузка, в шпильках в условиях монтажа принимается большей из следующих значений, Н</p> $P_{\phi i} = R_{ni} + \alpha_i Q_{\delta i} - Q_{tj}$ $P_{\phi i} = \pi D_{cni} b_{ni} q_{iобж}$	С

	$P_{6i} = 0,4[\sigma]_{6j}f_{6j}z_j \text{ при } p \leq 0,6 \text{ МПа}$ $i = 2,3 \quad j = 1,2$ При определении P_{6i} величина Q_{ti} учитывается при $Q_t < 0$.	
4.5	Приращение нагрузки в шпильках в рабочих условиях, Н $\Delta P_{6i} = (1 - \alpha_i)Q_{\delta i} + Q_{ti}$	С
5	Расчет шпилек.	
5.1	Условие прочности шпилек $\sigma_{6j} = \frac{P_{6i}}{z_j f_{6j}} \leq [\sigma]_{6j}$ $\sigma_{6j}^t = \frac{P_{6i} + \Delta P_{6i}}{z_j f_{6j}} \leq [\sigma]_{6j}^t$ где $[\sigma]_{6j}^t$ - допускаемое напряжение для шпилек при расчетной температуре, МПа.	С
6	Условие прочности прокладки. $q_t = \frac{P_{6i}}{\pi D_{cni} b_{ni}} \leq [q]_t$	С
7	Расчет фланца, стакана.	
7.1	Угол поворота фланца $\theta = (P_{61} + \Delta P_{61})c_1 y_{\phi}$ Стакана $\theta_c = (P_{62} + \Delta P_{62})c_2 y_{\phi c}$	С
7.2	Кольцевое напряжение Во фланце $\sigma_k = \frac{E\theta y}{D}$ В стакане $\sigma_c = \frac{E_c \theta_c y_c}{D}$	С
7.3	Условия прочности Фланца $\sigma_k \leq [\sigma]$ Стакана $\sigma_c \leq [\sigma]$	С
6	Условия герметичности. $\max\{\theta, \theta_c\} \leq [\theta]$ где $[\theta] = 0,013$ $q_{ni} = \frac{P_{6i} + \Delta P_{6i} - Q_{\delta i}}{\pi D_{cni} b_{ni}} \geq m_i p$ где $i=2,3$.	С

РД 24.200.08-90	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность конических, эллипсоидных и сферических переходов.	
3	Расчет элементов и узлов соединения эллипсоидных переходов.	
3.2	Расчетная схема эллипсоидных переходов приведена на чертеже 11. В этих переходах рекомендуется принимать $s_3 = s$. Чертеж 11 не определяет конструкции переходов сосудов и аппаратов, а используется только для указания необходимых размеров.	С
3.3	Толщины стенок утолщенных частей цилиндрической обечайки s_{11} и эллипсоидного днища s_{10} у малого основания эллипсоидного перехода следует принимать не менее толщины соответствующих элементов по ГОСТ 14249 или ОСТ 26-01-949.	С
3.4	Толщины элементов у малого основания эллипсоидных переходов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 24755 на укрепление центрального отверстия в днище эллипсоидных переходов.	С
3.5	Максимальное местное напряжение, возникающее у малого основания эллипсоидного перехода, следует определять по формуле $\sigma = \frac{PD}{2(s_{10} - c)} r_{\sigma_3}$ Где r_{σ_3} – расчетный коэффициент, определяемый по чертежам 13 – 20 в зависимости от отношения $\frac{s_{11}}{s_{10}}$.	С
3.6	Расчет толщины стенки у большого основания эллипсоидного перехода s_3 следует выполнять по ГОСТ 14249 как для эллипсоидного днища или по ОСТ 26-01-949.	С
3.7	Длина утолщенной части цилиндрической обечайки у малого основания эллипсоидного перехода должна быть не менее $l_0 = 1,25\sqrt{(d + 2c)(s_{11} - c)}$ Длина утолщенной части эллипсоидного элемента у малого основания должна быть $L_0 = \sqrt{D(s_{10} - c)}\sqrt{4 - 3\frac{d^2}{D^2}}$. Утолщения стенок у большого основания эллипсоидного перехода не требуется.	С

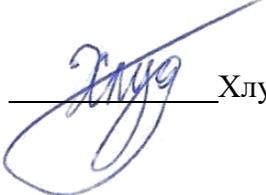
*С- соответствует нормативным требованиям

**НП – не применяется

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных испытаний продукция соответствует: ТР ТС 032/2013, ГОСТ 34233.1-2017, ГОСТ 34233.2-2017, ГОСТ 34233.3-2017, ГОСТ 34233.4-2017, ГОСТ 34233.5-2017, ГОСТ 34233.6-2017, ГОСТ 34233.7-2017, ГОСТ 34233.8-2017, ГОСТ 34233.9-2017, ГОСТ 34233.10-2017, ГОСТ 34233. 11-2017, ГОСТ 34233.12-2017, ГОСТ 34283-2017, ГОСТ 55722-2013, ГОСТ Р 54522-2011, ГОСТ 31385-2023, ГОСТ 30780-2002, ПНАЭ Г-7-002-86, СП 14.13320.2018, СП 20.13330.2016, СТО-СА-03-002-2009, РД РТМ 26-01-44-78, АТК 24.201.10-90, РД 24.200.08-90 (в части расчета эллипсоидных переходов).

Ответственный:


Хлудок С.К.