РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

Версия: 21.11.2022

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТУ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ОФШОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

НД № 2-090201-013

Санкт-Петербург
2022

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТУ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ОФШОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

«Нормативно-методические указания по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением, для хранения и перевозки опасных грузов. Расчет прочности конструкций офшорных контейнеров» (НМУ) разработаны с учетом действующих изданий Правил перевозки опасных грузов морским, железнодорожным, автомобильным и речным транспортном, стандартов Международной организации по стандартизации, Европейских стандартов и норм, а также национальных стандартов и Правил.

В НМУ учтен опыт проектирования, изготовления и эксплуатации съемных цистерн, подпадающих под требования Типовых Правил ООН для хранения и перевозки опасных грузов, определены оптимальные критерии и требования, которые следует учитывать при проектировании, изготовлении и эксплуатации съемных цистерн.

Настоящий документ может быть применен как дополнительные нормативно-методические указания к Правилам перевозки опасных грузов морским, железнодорожным, автомобильным и речным транспортном, а также Правилам изготовления контейнеров, Правилам по техническому наблюдению за изготовлением контейнеров и Правилам технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации.

В НМУ также изложены рекомендации и комментарии по применению и трактовке соответствующих положений указанных нормативных документов с указанием соответствующих номеров пунктов и глав.

Настоящее издание составлено на основе издания 2021 года с учетом изменений и дополнений, подготовленных непосредственно к моменту переиздания.

С вступлением в силу данных НМУ теряют силу НМУ издания 2021 года.

Настоящие НМУ вступают в силу с 21.11.2022 г.

© Российский морской регистр судоходства, 2022

ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕНЕНИЙ

(изменения сугубо редакционного характера в Перечень не включаются)

Изменяемые пункты/главы/разделы	Информация по изменениям	№ и дата циркулярного письма, которым внесены изменения	Дата вступления в силу
Нормативно-методические указания по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением для хранения и перевозки опасных грузов	Название заменено на «Нормативно-методические указания по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением для хранения и перевозки опасных грузов. Расчет прочности конструкций офшорных контейнеров»	382-04-1859ц от 21.11.2022	21.11.2022
Аннотация	В аннотацию внесены изменения в связи с переименованием НМУ	382-04-1859ц от 21.11.2022	21.11.2022
Часть IV	Введена новая часть IV касательно расчета прочности конструкции съемных цистерн (контейнеров-цистерн) методом конечных элементов	382-04-1859ц от 21.11.2022	21.11.2022
Часть V	Введена новая часть V касательно расчетов прочности конструкций офшорных контейнеров методом конечных элементов	382-04-1859ц от 21.11.2022	21.11.2022

ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 НМУ по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту съемных цистерн для хранения и перевозки опасных грузов содержат требования ФАУ Российский морской регистр судоходства к конструкции, материалам, проектированию и изготовлению, контролю качества, эксплуатации и ремонту съемных цистерн, предназначенных для хранения и перевозки опасных грузов, выполненных как из металлических, так и из полимерных композиционных материалов.

В НМУ учтены требования «Рекомендаций экспертов ООН по перевозке опасных грузов. Типовые Правила» (далее, Типовые Правила ООН), Международного кодекса морской перевозки опасных грузов (МК МПОГ), международных, а также национальных стандартов и правил. Перечень национальных и международных нормативных документов, применяемых при проектировании и изготовлении съемных цистерн и сосудов под давлением, приведен в Приложении.

1.2 НМУ предназначены для использования при изготовлении и техническом наблюдении за съемными цистернами с расчетными параметрами, приведенными в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Инструкции для съемных цистерн в соответствии с Типовыми правилами ООН[1]	Минимальное испытательное давление, МПа	Расчетная температура, °С	Расчетный температурный диапазон эксплуатации, °С[2]	Классы опасных грузов
Т1 – Т2	0,15	не более +150	от –40	1, 3, 4, 5, 6, 8 и 9
Т3 – Т5	0,265	–//–	до +50	–//–
Т6 – Т10	0,4	–//–	–//–	–//–
Т11 – Т14	0,6	–//–	–//–	–//–
Т15 – Т22	10,0	–//–	–//–	–//–
Т23	0,4	не более +50	–//–	4.1 и 5.2
Т50	от 0,7 до 4,3	не более +65	–//–	Неохлажденные сжиженные газы класса 2
Т75	от 0,3 до 5,0	Не менее –270	–//–	Охлажденные сжиженные газы класса 2

[1] Все съемные цистерны относятся к группе сосудов 1 по классификации Ростехнадзора (см. 2.1.7. ПБ 03-584-03) или к классу конструкции сосуда I по классификации Регистра (см. 1.3.1.2 части X «Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением» Правил классификации и постройки морских судов).
[2] Другие температурные диапазоны эксплуатации, в зависимости от установленного в проекте климатического исполнения, могут быть приняты по согласованию с Регистром.

Инструкции для съемных цистерн определены в соответствии с требованиями п. 4.2.5.2.6 Типовых правил ООН.

Требования к минимальной величине испытательного давления, минимальной толщине сосуда в мм стандартной стали, предохранительным устройствам и устройствам нижнего слива груза для съемных цистерн Т1 – Т23 изложены в таблицах Т1 – Т22 и Т23 п. 4.2.5.2.6 и разделе 6.7.2 Типовых правил ООН и МК МПОГ.

Требования к съемным цистернам Т50 изложены в таблице Т50 п. 4.2.5.2.6 и разделе 6.7.3 Типовых правил ООН и МК МПОГ.

Требования к съемным цистернам Т75 изложены в таблице Т75 п. 4.2.5.2.6 и разделе 6.7.4 Типовых правил ООН и МК МПОГ.

При выборе типа съемной цистерны по номеру ООН груза следует руководствоваться 3.2 «Перечень опасных грузов» МК МПОГ.

Дополнительно необходимо обращать внимание на выполнение специальных положений, указанных для каждого груза в графе 14 табл. 3.2.1 и с п. 4.2.5.3 Типовых правил ООН и МК МПОГ.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОЯСНЕНИЯ И АББРЕВИАТУРЫ

2.1 Определения, пояснения и аббревиатуры, приведенные в настоящем разделе, применимы только для целей настоящего документа.

2.2 Определения, применимые к съемным цистернам (контейнерам-цистернам) с сосудами из металлических материалов, изложены в 1.2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

Дополнительно для целей части II «Съемные цистерны из металлических материалов» НМУ применимы следующие определения:

Признанные международные стандарты и правила для сосудов под давлением – стандарты и правила по проектированию, изготовлению и испытаниям сосудов под давлением, принятые к применению на территории нескольких стран и признанные компетентными органами этих стран в качестве нормативного документа.

Перечень назначенных национальных компетентных органов приведен в 7.9.3 МК МПОГ.

К признанным международным стандартам и правилам для сосудов под давлением можно отнеси ГОСТ 34233.1-2017 части 1 – 12, EN 13445 части 1 – 7, ASME Code и др.

Национальные стандарты и правила для сосудов под давлением – стандарты и правила по проектированию, изготовлению и испытаниям сосудов под давлением, принятые к применению на территории одной страны в качестве нормативного документа.

2.3 Определения, применимые к съемным цистернам (контейнерам-цистернам) с сосудами из ПКМ, изложены в 1.2 части VIII «Контейнеры-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов» Правил изготовления контейнеров.

Дополнительно для целей части III «Съемные цистерны из полимерных композитных материалов» НМУ применимы следующие определения:

Вакуумная инфузия – метод изготовления ПКМ путем пропитки под вакуумным мешком сухого наполнителя, предварительного выложенного вручную или автоматизированным методом.

Контактное формование – метод изготовления ПКМ путем выкладки в форму и пропитки наполнителя. Процесс полимеризации проходит при комнатной температуре с применением катализатора или внешнем нагреванием, без дополнительного внешнего давления.

Ламинат – изделие, состоящее из соединенных вместе двух или более слоев материала или материалов.

Лента – большое количество ровингов, соединенных вместе поперечной сшивкой. Применяется в технологии филаментной намотки.

Мультимодальная перевозка (см. также интермодальные перевозки) – транспортировка грузов по одному договору, но выполненная, по меньшей мере, двумя видами транспорта; перевозчик несет ответственность за всю перевозку, даже если эта транспортировка производится разными видами транспорта (например, железнодорожным, морским и автомобильным).

Пропитка под давлением (RTM-метод) – метод изготовления ПКМ в герметичных формах с использованием избыточного давления для пропитки волокна.

Филаментная намотка – метод изготовления ПКМ путем намотки на вращающуюся оправку наполнителя (ровинга, ленты, ткани), пропитанного полимерным связующим.

2.4 ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

ASME Code	Кодекс по котлам и сосудам Американского общества инженеров-механиков
EN (стандарт)	Европейский стандарт, опубликованный Европейским комитетом по стандартизации (CEN)
ИСО/ISO (стандарт)	Международный стандарт, опубликованный Международной организацией по стандартизации
КБК/CSC	Международная конвенция по безопасным контейнерам, 1972 года с поправками/International Convention for Safe Containers, 1972, as amended
МДРД/MAWP	Максимальное допустимое рабочее давление/Maximum allowable working pressure
МК МПОГ/IMDG Code	Международный кодекс морской перевозки опасных грузов/International Maritime Dangerous Goods Code
№ ООН/UN number	Четырехзначный номер, присвоенный Организацией Объединенных Наций наиболее часто перевозимым опасным и вредным веществам, материалам и изделиям
Типовые правила ООН	«Рекомендации экспертов ООН по перевозке опасных грузов. Типовые Правила»
Регистр	ФАУ «Российский морской регистр судоходства»
НМУ	Нормативно-методические указания по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением
Съемные цистерны	Сосуды под давлением, для хранения и перевозки опасных грузов подпадающие под требования Типовых правил ООН
ПКМ	Полимерный композиционный материал
ПБ 03-584-03	Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных, Ростехнадзор
Правила классификации	Правила классификации и постройки морских судов
Правила ТН	Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов

3 ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

3.1 Общие требования к технической документации и сроках действия ее одобрения изложены в разд. 3 Общих положений по техническому наблюдению за контейнерами.

3.2 При этом необходимо обратить внимание на следующие основные положения:

3.2.1 Техническая документация на съемные цистерны, материалы и изделия, подлежащие техническому наблюдению Регистра, должна быть представлена в Регистр до начала их изготовления для рассмотрения и одобрения.

Документация представляется в электронном виде, на русском или английском языке в формате pdf.

3.2.2 Изменения, которые вносятся в одобренную Регистром техническую документацию должны быть представлены в Регистр для рассмотрения и одобрения до их реализации.

3.2.3 Изготовление съемных цистерн, материалов и изделий, подлежащих техническому наблюдению Регистра, должно производиться по одобренной Регистром технической документации.

3.2.4 По истечении срока действия одобрения технической документации (6 лет) она должна быть представлена на повторное рассмотрение и одобрение.

3.3 Проверка организаций по проектированию съемных цистерн и изделий для них.

3.3.1 Процедура проверки проектных организаций изложена в 1.6 части I «Основные требования» Правил изготовления контейнеров и осуществляется на добровольной основе.

3.3.2 По результатам проведения проверки организации с удовлетворительными результатами Регистром оформляется Свидетельство о соответствии предприятия (ССП), (форма 7.1.27).

3.4 Объем технической документации.

3.4.1 Техническая документация применительно к съемным цистернам (контейнерам-цистернам) с сосудами из металлических материалов должна быть представлена в объеме, указанном в 1.4 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

3.4.2 Техническая документация применительно к съемным цистернам (контейнерам-цистернам) с сосудами из ПКМ должна быть представлена в объеме, указанном в 1.4 части VIII «Контейнеры-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов» Правил изготовления контейнеров.

ЧАСТЬ II. СЪЕМНЫЕ ЦИСТЕРНЫ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1 СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Требования к сосудам контейнеров-цистерн изложены в разд. 2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

1.2 Дополнительно следует руководствоваться положениями настоящей части, а также 4.2.1 и 6.7.2 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типов Т1 – Т23; 4.2.2 и 6.7.3 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типа Т50; 4.2.3 и 6.7.4 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типа Т75.

1.3 Требования, напечатанные по всей ширине страницы, применяются к съемным цистернам всех типов.

1.4 Требования, изложенные только в одной колонке, применяются исключительно к определенным типам съемных цистерн:

съемные цистерны Т1 – Т23 – левая колонка;

съемные цистерны Т50 – центральная колонка;

съемные цистерны Т75 – правая колонка.

2 КОНСТРУКЦИЯ СОСУДОВ

2.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1.1 Конструкция сосудов должна быть технологичной, должна обеспечивать надежность, долговечность и безопасность эксплуатации в течение всего периода эксплуатации и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений.

2.1.2 Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотрам сосудов, должны быть, как правило, съемными. При применении приварных устройств, препятствующих наружному и внутреннему осмотрам сосудов, должна быть предусмотрена возможность их удаления (для проведения осмотров) и последующей установки на место. Порядок съема и установки этих устройств должен быть указан в инструкции по монтажу и эксплуатации сосуда.

2.1.3 Если конструкция сосуда не позволяет провести наружный и внутренний осмотры или гидравлическое испытание разработчиком проекта сосуда, в инструкции по монтажу и эксплуатации должны быть указаны методика, периодичность и объем контроля, выполнение которых обеспечит своевременное выявление и устранение дефектов.

2.1.4 Конструкции внутренних устройств должны обеспечивать удаление из сосуда воздуха при гидравлическом испытании и воды после гидравлического испытания.

2.1.5 Сосуды должны иметь штуцеры для наполнения и слива воды, а также удаления воздуха при гидравлическом испытании.

2.1.6 На каждом сосуде должен быть предусмотрен вентиль, кран или другое устройство, позволяющее осуществлять контроль отсутствия давления в сосуде перед его открыванием (при этом отвод среды должен быть направлен в безопасное место).

2.1.7 Расчеты на прочность сосудов и их элементов должны проводиться в соответствии с требованиями действующих национальных или признанных международных стандартов и правил для сосудов под давлением.

Сосуды, предназначенные для работы в условиях циклических и знакопеременных нагрузок, должны быть рассчитаны на прочность с их учетом.

При отсутствии нормативного метода расчет на прочность должен выполняться по методике, разработанной специализированной научно-исследовательской организацией и согласованной с Регистром.

Допускаемые напряжения для сталей иностранных марок следует принимать равными наименьшему из приведенных в табл. 2.1.7 значений, полученных в результате деления соответствующей расчетной характеристики прочности металла при растяжении на соответствующий запас прочности по данной характеристике:

При расчетных нагрузках применяются характеристики, полученные при расчетных температурах:

R_m – временное сопротивление металла разрыву;

R_e – для металлов с явно выраженной площадкой текучести;

для металлов с неявно выраженной площадкой текучести:

$R_{p0.2}$ – для сталей других классов условный предел текучести металла при остаточной деформации 0,2 %;

$R_{p1.0}$ – для сталей аустенитного класса условный предел текучести металла при остаточной деформации 1,0 %.

Для условий испытаний применяются характеристики, полученные при температуре 20 °С.

Таблица 2.1.7

Материал	Формула
При расчетном давлении:	
для углеродистых и низколегированных сталей	$[\sigma] = \min \{R_m/2{,}4,\ R_e$ или $R_{p0,2}/1{,}5\}$
для аустенитной хромоникелевой стали	$[\sigma] = \min \{R_m/3{,}0,\ R_{p1,0}/1{,}5\}$
При давлении гидравлического испытания:	
для углеродистых и низколегированных сталей	$[\sigma] = R_{e20}$ или $R_{p0,2}/20/1.1$
для аустенитной хромоникелевой стали	$[\sigma] = R_{p1,0}/20/1.1$
Примечание. Настоящая таблица применяется для расчетов по ГОСТ 34233–2017 или ГОСТ 14249-89.	

Значения характеристик следует принимать равными минимальным значениям, установленным в соответствующих стандартах или технических условиях для металла данной марки. В приложении 1 представлено сопоставление результатов расчетов на прочность элементов сосудов в соответствии с Кодексом по котлам и сосудам Американского общества инженеров-механиков (часть VIII, раздел 1) и ГОСТ 34233- 2017 или ГОСТ 14249-89.

Расчеты необходимо проводить как при расчетном давлении, так и при давлении гидравлического испытания.

Дополнительно необходимо учитывать требования 2.2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

2.1.8 Сосуды, предназначенные для перевозки жидкостей, газов и сыпучих грузов, должны быть жестко соединены с элементами каркаса.

Цистерна, опоры и крепления при загрузке до максимально допустимой массы брутто R должны выдерживать следующие раздельно действующие статически приложенные силы:

.1 в направлении движения – удвоенную массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g ($2R_g$).

Дополнительно проверяется прочность цистерны, опор и креплений при статически приложенных силах в продольном направлении, равных $4R_g$;

.2 горизонтально под прямыми углами к направлению движения – массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g (R_g). Если направление движения точно не установлено, то нагрузки должны быть приняты равными $2R_g$;

.3 вертикально снизу-вверх – массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g (R_g);

.4 вертикально сверху вниз – удвоенную массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g ($2R_g$).

2.1.9 При каждой из этих нагрузок должны обеспечиваться следующие коэффициенты безопасности для определения допустимых напряжений:

для металлов с явно выраженной площадкой текучести – коэффициент безопасности 1,5 по отношению к минимально гарантированному пределу текучести R_e;

для металлов с неявно выраженной площадкой текучести – коэффициент безопасности 1,5 по отношению к гарантированному условному пределу текучести $R_{p1,0}$ для сталей аустенитного класса или $R_{p0,2}$ для сталей других классов.

При нагрузке $4g$ для определения допустимых напряжений коэффициент безопасности должен приниматься равным 1 по отношению к R_m или $R_{p0,2}$, $R_{p1,0}$.

2.1.10 Минимальная толщина стенок обечайки и днищ сосудов.

2.1.10.1 При определении минимальной толщины стенок следует руководствоваться 6.7.2.4 МК МПОГ – для съемных цистерн Т1 – Т23; 6.7.3.4 МК МПОГ – для съемных цистерн Т50; 6.7.4.4 – для съемных цистерн Т75, а также положениями настоящей главы.

2.1.10.2 Толщина стенок обечайки и днищ сосуда с внутренним диаметром не более 1800 мм ($D_{вн}$ < 1800 мм) должна составлять не менее 5 мм для стандартной стали[1], или иметь эквивалентное значение для используемого металла.

Толщина стенок сосуда с $D_{вн}$ > 1800 должна составлять не менее 6 мм для стандартной стали, или иметь эквивалентное значение для используемого металла.

Дополнительно для определения минимальной расчетной толщины необходимо провести расчеты стенки обечайки и днищ сосудов в соответствии с требованиями ГОСТ 34233-2017 или ГОСТ 14249-89 или признанных международных стандартов и правил для сосудов под давлением без учета допуска на коррозию и прокат.

Требуемая величина толщины стенки сосуда определяется как максимальная толщина, определенная в соответствии с формулами 2.1.10.3 или 2.1.10.3-1 и формулами, изложенными в ГОСТ 34233-2017, ГОСТ 14249-89 или в признанных международных стандартах и правилах для сосудов под давлением.

Дополнительно к вышесказанному для конкретных типов съемных цистерн должны выполняться следующие требования.

Съемные цистерны Т1 – Т23	Съемные цистерны Т50	Съемные цистерны Т75
.1 если предусматривается дополнительная защита цистерны и давление гидроиспытаний менее 0,265 МПа, минимальная толщина стенок и днищ сосуда, из стандартной стали, может быть уменьшена, но должна быть не менее 3 мм при $D_{вн}$ < 1800 мм и 4 мм при $D_{вн}$ > 1800 мм. **.2** толщина стенок сосуда не должна составлять менее 3 мм вне зависимости от конструкционного материала. **.3** дополнительная защита может быть обеспечена посредством применения сплошной наружной многослойной защиты типа «сэндвич», посредством двустенной конструкции или путем помещения корпуса в полнонаборную раму с продольными и поперечными конструкционными элементами	**.1** при необходимости определения эквивалентной толщины для стандартной стали она определяется с использованием формулы (2.1.10.3) методом пересчета	**.1** внутренние сосуды съемных цистерн с вакуумной изоляцией с $D_{вн}$ < 1800 мм должны иметь толщину не менее 3 мм для стандартной стали, либо эквивалентное значение для используемого металла. Внутренние сосуды с $D_{вн}$ > 1800 должны иметь толщину не менее 4 мм для стандартной стали или эквивалентное значение для используемого металла. **.2** толщина стенок сосудов должна составлять не менее 3 мм вне зависимости от материала изготовления.

Механические характеристики стандартной стали используются только для расчетов по формулам (2.1.10.3) и (2.1.10.3-1).

2.1.10.3 Эквивалентное значение толщины металла иное, нежели значение, предписанное для стандартной стали в 2.1.10.2, должно определяться по следующей формуле:

[1] Стандартная сталь – сталь с пределом прочности на растяжение 370 МПа и относительным удлинением A_5, не превышающим 27 %.

$$e_1 = 21{,}4e_0 / \sqrt[3]{R_{m1}A_1}\,, \qquad (2.1.10.3)$$

где e_1 – требуемая минимальная эквивалентная толщина используемого металла, мм;
e_0 – минимальная толщина для стандартной стали, мм;
R_{m1} – минимальное гарантированное временное сопротивление используемого металла при испытании на растяжение, МПа;
A_1 – минимальное гарантированное относительное удлинение используемого металла при испытании на растяжение, в соответствии с национальными или международными стандартами, %.

Дополнительно к вышесказанному должны выполняться следующие требования.

Съемные цистерны Т1 – Т23	Съемные цистерны Т50	Съемные цистерны Т75
.1 если в соответствующей инструкции для съемной цистерны в 4.2.5.2.6 МК МПОГ указана минимальная толщина, равная 8 мм или 10 мм эквивалентное значение толщины металла иное, нежели значение, предписанное для стандартной стали в 1.1.10, должно определяться по следующей формуле: $e_1 = (21{,}4 \cdot e_0 \cdot d_1)/(1{,}8\sqrt[3]{R_{m1} \cdot A_1}$, (2.1.10.3-1) где e_1 – требуемая минимальная эквивалентная толщина используемого металла, мм; e_0 – минимальная толщина для стандартной стали, мм; d_1 – внутренний диаметр сосуда (в м), но не менее 1,8 м; R_{m1} – минимальное гарантированное временное сопротивление используемого металла при испытании на растяжение, МПа; A_1 – минимальное гарантированное относительное удлинение используемого металла при испытании на растяжение, в соответствии с национальными или международными стандартами, %.		

2.1.11 Материалы, применяемые для изготовления деталей, частей и узлов сосудов, которые соприкасаются или могут соприкасаться с грузом, должны быть стойкими к его воздействию.

2.1.12 Сосуды, не имеющие вакуумных клапанов, должны быть изготовлены таким образом, чтобы выдерживать наружное давление, превышающее внутреннее давление, по крайней мере, на 0,04 МПа.

При этом сосуд не должен иметь остаточных деформаций и неисправностей, которые могут повлечь за собой невозможность использования его в целях, для которых он предназначен.

Если сосуды, предназначенные для перевозки сжиженных неохлажденных газов, подвергаются или могут подвергаться значительному вакуумному давлению перед их наполнением или при их опорожнении, они должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать внешнее манометрическое давление, превышающее не

менее чем на 0,09 МПа внутреннее давление, и должны быть испытаны на это давление.

2.1.13 Положения по степени наполнения, а также по использованию съемных цистерн для транспортировки опасных веществ классов 1 и 3 – 9 должны соответствовать требованиям раздела 4.2.1 МК МПОГ; положения по степени наполнения, а также по использованию съемных цистерн для транспортировки неохлажденных сжиженных газов класса 2 должны соответствовать требованиям раздела 4.2.2 МК МПОГ; положения по степени наполнения, а также по использованию съемных цистерн для транспортировки охлажденных сжиженных газов класса 2 должны соответствовать требованиям раздела 4.2.3 МК МПОГ.

2.1.14 Сосуды, которые в процессе эксплуатации изменяют свое положение в пространстве, должны иметь приспособления, предотвращающие их самоопрокидывание.

2.1.15 Для проверки качества приварки колец, укрепляющих отверстия для люков, лазов и штуцеров, должно быть предусмотрено контрольное резьбовое отверстие в кольце, если оно приварено снаружи, или в стенке сосуда, если кольцо приварено с внутренней стороны. Данное требование распространяется также и на привариваемые к корпусу накладки или другие укрепляющие элементы.

2.2 ЛЮКИ, ЛЮЧКИ, КРЫШКИ

2.2.1 Сосуды должны быть снабжены необходимым числом люков и смотровых лючков, обеспечивающих осмотр, очистку и ремонт сосудов, а также монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств.

Сосуды с вакуумной изоляцией, предназначенные для транспортирования и хранения охлажденных сжиженных газов, допускается изготавливать без люков и лючков независимо от диаметра сосудов при условии выполнения требования п. 2.1.3.

2.2.2 Сосуды с внутренним диаметром более 800 мм должны иметь люки, а с внутренним диаметром 800 мм и менее – лючки.

2.2.3 Внутренний диаметр круглых люков должен быть не менее 500 мм. Размеры овальных люков по наименьшей и наибольшей осям в свету должны быть не менее 325×500 мм. Внутренний диаметр круглых или размер по наименьшей оси овальных лючков должен быть не менее 80 мм.

2.2.4 Люки, лючки необходимо располагать в местах, доступных для обслуживания.

2.2.5 Крышки люков должны быть съемными. На сосудах, изолированных методом вакуумирования, допускаются приварные крышки.

2.2.6 Конструкция шарнирно-откидных или вставных болтов, хомутов, а также зажимных приспособлений люков, крышек и их фланцев должна предотвращать их самопроизвольный сдвиг.

2.2.7 При наличии на сосудах штуцеров, фланцевых разъемов, съемных днищ или крышек, внутренний диаметр которых не менее указанных в 2.2.3 для люков, обеспечивающих возможность проведения внутреннего осмотра, допускается люки не предусматривать.

2.3 ДНИЩА СОСУДОВ

2.3.1 Сосуды могут иметь днища следующих видов: эллиптические, полусферические, торосферические, сферические не отбортованные.

2.3.2 Эллиптические днища должны иметь высоту выпуклой части, измеренную по внутренней поверхности, не менее 0,2 внутреннего диаметра днища. Допускается уменьшение этой величины по согласованию с Регистром.

2.3.3 Торосферические днища должны иметь следующие размеры:

высоту выпуклой части, измеренную по внутренней поверхности – не менее 0,2 внутреннего диаметра;

внутренний радиус отбортовки – не менее 0,1 внутреннего диаметра днища;

внутренний радиус кривизны центральной части – не более внутреннего диаметра днища.

2.3.4 Сферические неотбортованные днища могут применяться с приварными фланцами; при этом внутренний радиус сферы днища должен быть не более внутреннего диаметра сосуда, а сварное соединение фланца с днищем выполняется с полным проплавлением.

2.3.5 В сварных выпуклых днищах, за исключением полусферических, состоящих из нескольких частей с расположением сварных швов по хорде, расстояние от оси сварного шва до центра днища должно быть не более 1/5 внутреннего диаметра днища. Круговые швы выпуклых днищ должны располагаться от центра днища на расстоянии не более 1/3 внутреннего диаметра днища.

2.3.6 Для отбортованных и переходных элементов сосудов, за исключением выпуклых днищ, компенсаторов и вытянутых горловин под приварку штуцеров, расстояние l от начала закругления отбортованного элемента до отбортованной кромки в зависимости от толщины s стенки отбортованного элемента должно быть не менее указанного в табл. 2.3.6.

Таблица 2.3.6

Толщина стенки отбортованного элемента *s*, мм	Минимально допустимое расстояние до отбортованной кромки l, мм
До 5	15
От 5 до 10	2*s* + 5
От 10 до 20	*s* + 15
От 20 до 150	*s*/2 + 25
От 150	100

2.4 СВАРНЫЕ ШВЫ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

2.4.1 При сварке обечаек и труб, приварке днищ к обечайкам должны применяться стыковые швы с полным проплавлением.

Допускаются сварные соединения тавровые и угловые с полным проплавлением для приварки плоских фланцев, штуцеров, люков, рубашек.

Применение нахлесточных сварных швов допускается для приварки к корпусу укрепляющих колец, опорных элементов, подкладных листов, пластин под площадки, лестницы, кронштейны и т.п.

Типовые примеры сварных соединений приведены в приложении 2.

2.4.2 Конструктивный зазор в угловых и тавровых сварных соединениях допускается в случаях, согласованных с Регистром и предусмотренных национальными или признанными международными стандартами и правилами для сосудов под давлением, применяемыми на предприятии-изготовителе.

2.4.3 При изготовлении, монтаже и эксплуатации сосудов сварные швы должны быть доступны для контроля.

2.4.4 Продольные сварные швы смежных обечаек и швы днищ сосудов должны быть смещены относительно друг друга на величину трех кратной толщины наиболее толстого элемента, но не менее чем на 100 мм между осями швов. Указанные швы допускается не смещать относительно друг друга в сосудах, предназначенных для работы под давлением не более 1,6 МПа, при температуре стенки не выше 400 °С, с номинальной толщиной стенки не более 30 мм при условии, что эти швы выполняются автоматической или электрошлаковой сваркой, а места пересечения швов контролируются методом радиографии или ультразвуковой дефектоскопии в объеме 100 %.

2.4.5 При приварке к корпусу сосуда внутренних и внешних устройств (опорных элементов, тарелок, рубашек, перегородок и др.) допускается пересечение этих сварных швов со стыковыми швами корпуса при условии предварительной проверки перекрываемого участка шва корпуса радиографическим контролем или ультразвуковой дефектоскопией.

2.4.6 В случае приварки опор или иных элементов к корпусу сосуда расстояние между краем сварного шва сосуда и краем шва приварки элемента должно быть не менее толщины стенки корпуса сосуда, но не менее 20 мм.

Для сосудов из углеродистых и низколегированных марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей, подвергаемых после сварки термообработке, независимо от толщины стенки корпуса расстояние между краем сварного шва сосуда и краем шва приварки элемента должно быть не менее 20 мм.

2.4.7 В горизонтальных сосудах допускается местное перекрытие седловыми опорами кольцевых (поперечных) сварных швов на общей длине не более $0{,}35\pi D_{нар}$, а при наличии подкладного листа – не более $0{,}5\pi D_{нар}$ ($D_{нар}$ – наружный диаметр сосуда). При этом перекрываемые участки сварных швов по всей длине должны быть проверены методом радиографии или ультразвуковой дефектоскопии.

2.4.8 В стыковых сварных соединениях элементов сосудов с разной толщиной стенок должен быть обеспечен плавный переход от одного элемента к другому путем постепенного утонения кромки более толстого элемента. Угол наклона поверхностей перехода не должен превышать 20°.

Если разница в толщине соединяемых элементов составляет не более 30 % толщины тонкого элемента и не превышает 5 мм, то допускается применение сварных швов без предварительного утонения толстого элемента. Форма швов должна обеспечивать плавный переход от толстого элемента к тонкому.

При стыковке литой детали с деталями из труб, проката или поковок необходимо учитывать, что номинальная расчетная толщина литой детали на 25 – 40 % больше аналогичной расчетной толщины стенки элемента из труб, проката или поковок, поэтому переход от толстого элемента к тонкому должен быть выполнен таким образом, чтобы толщина конца литой детали была не менее номинальной расчетной величины.

2.5 РАСПОЛОЖЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В СТЕНКАХ СОСУДОВ

2.5.1 Отверстия для люков, лючков и штуцеров должны располагаться, как правило, вне сварных швов.

Допускается расположение отверстий:

на продольных швах цилиндрических и конических обечаек сосудов, если номинальный диаметр отверстий не более 150 мм;

на кольцевых швах цилиндрических и конических обечаек сосудов без ограничения диаметра отверстий;

на швах выпуклых днищ без ограничения диаметра отверстий при условии 100 %-ной проверки сварных швов днищ методом радиографии или ультразвуковой дефектоскопии.

2.5.2 На торосферических днищах допускается расположение отверстий только в пределах центрального сферического сегмента. При этом расстояние от центра днища до наружной кромки отверстия, измеряемое по хорде, должно быть не более $0{,}4D_{нар}$.

3 МАТЕРИАЛЫ

3.1 Требования к материалам контейнеров-цистерн изложены в главах 3.1 – 3.3 части I «Основные требования» Правил изготовления контейнеров.

Дополнительно следует руководствоваться положениями настоящей главы.

3.2 Расчетный диапазон температур сосуда должен составлять от – 40 °С до 50°С для веществ, перевозимых при температуре окружающей среды. Для других веществ, заполняемых, опорожняемых или перевозимых при температуре выше 50 °С, расчетная температура должна быть не менее максимальной температуры вещества в ходе заполнения, опорожнения или перевозки.

Для съемных цистерн, эксплуатируемых при более низких температурах, должна учитываться абсолютная минимальная температура наружного воздуха для данного климатического района.

Для внутренних сосудов съемных цистерн типа Т75 должна учитываться минимальная расчетная температура, не превышающая наиболее низкую температуру (рабочую температуру) содержимого в обычных условиях заполнения, опорожнения и перевозки.

3.3 Материалы, применяемые для изготовления сосудов, должны обеспечивать их надежную работу в течение всего периода эксплуатации с учетом заданных условий эксплуатации (расчетное давление, минимальная отрицательная и максимальная расчетная температура), состава и характера среды (коррозионная активность, взрывоопасность, токсичность и др.), влияния температуры окружающей среды, а также возможных экологических последствий при разрушении сосуда.

3.4 Для изготовления сосудов должны применяться материалы, соответствующие действующим национальным или международным стандартам для сосудов, работающих под давлением. Материалы, применяемые для изготовления сосудов, должны обладать высокой технологичностью и свариваемостью.

3.5 Для сосудов, эксплуатирующихся согласно 2.1.1, может быть применена сталь: низколегированная марганцовистая, кремнемарганцовистая микролегированная (нормализованная, термически улучшенная, термомеханически обработанная), легированная (термически улучшенная) с содержанием никеля от 0,5 до 9 %, аустенитная, а также алюминиевые сплавы.

3.6 Химический состав указанных материалов и их механические свойства должны отвечать требованиям действующих национальных или международных стандартов для сосудов, работающих под давлением.

При выборе материалов необходимо учитывать диапазон рабочих температур (температур окружающей среды).

3.7 Указанные материалы могут быть рекомендованы для использования в пределах минимальных расчетных температур, указанных в табл. 3.7.

При выборе материала дополнительно следует руководствоваться табл. 2.1- 2, 2.1- 3 и 2.1-4 части IX «Материалы и сварка» Правил классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом.

3.8 Качество и свойства материалов и полуфабрикатов должны отвечать требованиям соответствующих стандартов и технических условий и быть подтверждены сертификатами предприятий-поставщиков.

В сертификате должен быть указан также режим термообработки полуфабриката на предприятии-поставщике. Если какая-либо информация в сертификате отсутствует, должны быть проведены все необходимые испытания с оформлением их результатов протоколом, дополняющим или заменяющим сертификат поставщика материала.

При невозможности проведения испытаний на предприятии-изготовителе допускается проведение испытаний в лабораториях и испытательных центрах, признанных Регистром.

Таблица 3.7

Группа стали	Минимальная расчетная температура, °С
Низколегированная марганцовистая, кремнемарганцовистая микролегированная (нормализованная или термически улучшенная)	–45
Кремнемарганцовистая микролегированная (после термомеханической обработки или контролируемой прокатки)	–60
Низколегированная (термически улучшенная) с содержанием никеля:	
1,5 %	–60
2,5 %	–65
3,5 %	–90
5,0 %	–105
9,0 %	–165
Аустенитные стали типов[1] 304, 304L, 316, 316L, 321 и 347, обработанные на твердый раствор	–165
Алюминиевые сплавы типа[1] 5083, 1550, 1565ч	–165
Аустенитный сплав *Fe – Ni* (36 % *Ni*)	–165
[1] В соответствии с международными и национальными стандартами.	

3.9 Низколегированная марганцовистая, кремнемарганцовистая и легированная стали толщиной более 50 мм должны подвергаться полистному контролю ультразвуковым или другим равноценным методом дефектоскопии. Методы и нормы контроля должны соответствовать классу I по ГОСТ 22727-8.

3.10 Биметаллические листы толщиной более 25 мм должны подвергаться полистному контролю ультразвуковой дефектоскопией или другим равноценным методом. Методы и нормы контроля сцепления плакирующего слоя должны соответствовать классу I по ГОСТ 10885-85.

Необходимость ультразвукового контроля и класс сплошности сцепления слоев в других случаях устанавливается нормативно-технической документацией на сосуд.

3.11 Поковки из низколегированных и среднелегированных сталей, имеющие один из габаритных размеров более 200 мм и толщину более 50 мм, должны подвергаться поштучному контролю ультразвуковым или другим равноценным методом.

3.12 Стальные отливки должны применяться в термообработанном состоянии. Проверка механических свойств отливок проводится после термообработки.

4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ, РЕКОНСТРУКЦИЯ, МОНТАЖ, НАЛАДКА И РЕМОНТ

4.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Изготавливать сосуды, предназначенные для работы под давлением, и их элементы должны только те предприятия, которые располагают необходимыми техническими средствами, обеспечивающими качественное их изготовление в полном соответствии с настоящим документом, требованиями правил по сосудам, действующими стандартами и техническими условиями.

На предприятиях-изготовителях должен осуществляться входной контроль основных и сварочных материалов и полуфабрикатов на соответствие их настоящему документу, требованиям правил по сосудам, стандартов, технических условий и чертежей изготавливаемой конструкции. Порядок проведения входного контроля регламентируется стандартом предприятия или инструкцией, согласованной с Регистром в установленном порядке.

4.2 ДОПУСКИ

4.2.1 При изготовлении сосудов и их элементов должны соблюдаться допуски, указанные в настоящей главе.

4.2.2 Отклонение наружного (внутреннего) диаметра обечаек, цилиндрических отбортованных элементов днищ, сферических днищ, изготовленных из листов и поковок, не должно превышать 1 % номинального диаметра.

Относительная овальность в любом поперечном сечении не должна превышать 1 %. Величина относительной овальности определяется по формулам:

в сечении, где отсутствуют штуцера и люки:

$$\alpha = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} 100\ \% \qquad (4.2.2)$$

в сечении, где имеются штуцера и люки:

$$\alpha = \frac{2(D_{\max} - D_{\min} - 0{,}2d)}{D_{\max} + D_{\min}} 100\ \% \qquad (4.2.2)$$

где $D_{\max}, D_{\min}$ – соответственно наибольший и наименьший наружные (внутренние) диаметры сосуда, мм;

d – внутренний диаметр штуцера или люка, мм. Величину относительной овальности для сосудов с отношением толщины стенки обечайки к внутреннему диаметру 0,01 и менее допускается увеличить до 1,5 %.

4.2.3 Увод (угловатость) *f* кромок (см. рис. 4.2.3) в сварных швах определяется по формуле:

$$f = 0{,}1s + 3\ \text{мм}, \qquad (4.2.3)$$

где s – толщина свариваемых листов, но должен быть не более соответствующих величин, указанных в табл. 4.2.3 для элементов сосудов.

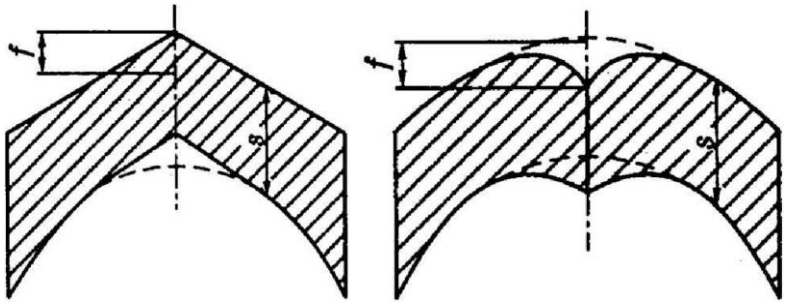


Рис. 4.2.3
Увод (угловатость) кромок в сварных швах

Таблица 4.2.3

Максимальный увод (угловатость) *f* кромок в стыковых швах, мм				
обечаек	шаровых резервуаров и днищ из лепестков		конических днищ	
Независимо от *D*[1]	*D* < 2000	*D* > 2000	*D* < 1000	*D* > 1000
5	6	8	5	7

[1] *D* – внутренний диаметр, мм.

4.2.4 Смещение кромок b листов (см. рис. 4.2.4), измеряемое по срединной поверхности, в стыковых соединениях, определяющих прочность сосуда, определяется по формуле:

$$b = 0{,}1s, \qquad (4.2.4)$$

но должно быть не более 3 мм.

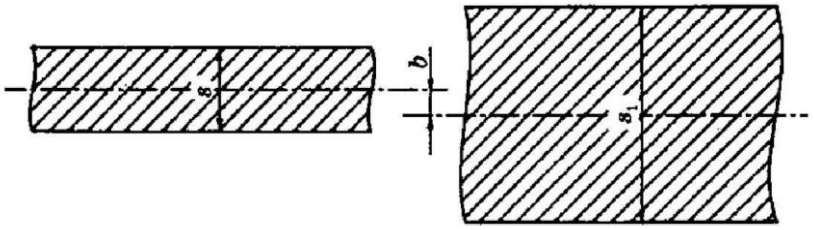


Рис. 4.2.4.
Смещение кромок листов

Смещение кромок в кольцевых швах не должно превышать величин, представленных в табл. 4.2.4.

Таблица 4.2.4

Толщина свариваемых листов s, мм	Максимально допустимые смещения стыкуемых кромок в кольцевых швах, мм	
	на монометаллических сосудах	на биметаллических сосудах со стороны коррозионного слоя
До 20	0,1s + 1	50 % толщины плакирующего слоя
Свыше 20 до 50	0,15s, но не более 5	50 % толщины плакирующего слоя
Свыше 50 до 100	0,04s + 3,5	0,04s + 3, но не более толщины плакирующего слоя

4.2.5 Допуски, не указанные в настоящей главе, не должны превышать указанных в нормативно-технической документации (технических условиях или стандартах).

4.3 СВАРКА

4.3.1 Сфера применения.

4.3.1.1 Требования к сварке контейнеров-цистерн изложены в 3.7 части I «Основные требования» Правил изготовления контейнеров.

4.3.1.2 Дополнительно следует руководствоваться требованиями части XIV «Сварка» Правил классификации и постройки морских судов (далее – Правила классификации), требованиями разд. 4 – 7 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов (далее – Правила ТН), а также положениями настоящей главы.

4.3.2 Общие требования.

4.3.2.1 Для выполнения сварных соединений могут применяться следующие способы сварки:

автоматическая сварка под флюсом;

ручная дуговая сварка покрытыми электродами;

автоматическая, полуавтоматическая и ручная аргонодуговая сварка;

автоматическая, полуавтоматическая сварка в смеси защитных газов;

электронно-лучевая сварка в вакууме;

сварка трением с перемешиванием (для алюминия и алюминиевых сплавов).

4.3.2.2 Сварочные материалы, применяемые для изготовления сосудов и их элементов, должны отвечать требованиям действующих национальных и/или международных стандартов и поставляться со Свидетельством РС об одобрении сварочных материалов (СОСМ, форма 6.5.33) или с документами иного классификационного общества или уполномоченной компетентной организации.

Допускается применение сварочных материалов без СОСМ, однако, в этом случае при проведении работ по одобрению технологических процессов сварки дополнительно должны быть выполнены требования разд. 4 части XIV «Сварка» Правил классификации.

Применение сварочных материалов с документами иного классификационного общества или уполномоченной компетентной организации допускается в случае соответствия этих документов требованиям разд. 4 части XIV «Сварка» Правил классификации.

4.3.2.3 Для сварки несущих элементов каркаса и цистерны должны применяться сварочные материалы с контролируемым содержанием диффузионного водорода согласно 4.2.3 части XIV «Сварка» Правил классификации.

4.3.2.4 Применяемая технология сварки должна быть аттестована в соответствии с требованиями действующих документов Регистра. Аттестация технологии сварки проводится в организациях, признанных Регистром.

Технологические процессы сварки должны быть одобрены Регистром с оформлением свидетельств об одобрении технологического процесса сварки (форма 7.1.33).

Для одобрения технологических процессов сварки применяются требования разд. 6 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил ТН, в части, применимой к сосудам под давлением.

Допускается применять технологические процессы сварки, одобренные иным классификационным обществом или уполномоченной компетентной организацией, однако, в этом случае должно быть подтверждено соответствие этих документов требованиям разд. 6 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил ТН.

4.3.2.5 Сварка сосудов и их элементов должна производиться в соответствии с требованиями технической документацией, одобренной Регистром.

Технологическая документация должна содержать указания по технологии сварки металлов, принятой для изготовления сосудов и их элементов, применению присадочных материалов, видам и объему контроля, а также предварительному и сопутствующему подогреву и термической обработке.

4.3.2.6 К производству сварочных работ, включая прихватку и приварку временных креплений, допускаются сварщики, удостоверенной квалификации, имеющие свидетельства Регистра о допуске сварщика установленной формы (форма 7.1.30) или свидетельства, оформленные иным классификационным обществом или уполномоченной компетентной организацией.

Сварщики, имеющие документы иного классификационного общества или компетентной организации, могут быть допущены к проведению работ в случае соответствия выданных документов требованиям разд. 4 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил ТН.

Сварщики могут производить сварочные работы тех видов, которые указаны в Свидетельстве о допуске сварщика (форма 7.1.30).

4.3.2.7 Перед началом проведения сварочных работ должно быть проверено качество сборки свариваемых элементов, а также состояние стыкуемых кромок и прилегающих к ним поверхностей. При необходимости производится их зачистка. При сборке не допускается подгонка кромок ударным способом или местным нагревом.

4.3.2.8 В процессе изготовления сосудов должны проверяться:

соответствие металла свариваемых деталей и сварочных материалов требованиям действующих стандартов и технических условий;

соответствие качества подготовки кромок и сборки под сварку требованиям действующих стандартов и чертежей;

соблюдение технологических процессов сварки и термической обработки, разработанных в соответствии с требованиями действующих стандартов и чертежей.

4.3.2.9 Прихватки должны выполняться с применением присадочных материалов, предусмотренных технической документацией на сварку данного сосуда. Прихватки при дальнейшем проведении сварочных работ должны удаляться или переплавляться основным швом.

Приварка временных креплений и удаление их после сварки основного изделия должна производиться по технологии, исключающей образование трещин и закалочных зон в металле изделия. После удаления временного крепления и зачистки этот район подвергается контролю.

4.3.2.10 Продольные и кольцевые швы сосудов должны выполняться встык с полным проплавлением.

4.3.2.11 Сварные соединения обечайки сосуда с горловинами, патрубками и днищами должны выполняться с полным проплавлением по толщине свариваемого материала.

Отступление от данного требования в отношении приварки горловин и патрубков допускается в случаях, согласованных с Регистром и предусмотренных национальными или признанными международными стандартами и правилами для сосудов под давлением, действующими на предприятии-изготовителе.

4.3.2.12 Выбор сварочных материалов для сварки сосудов производится, исходя из конкретных марок стали, применяемых для их изготовления, с учетом требований настоящей главы.

4.3.2.13 В процессе выполнения многопроходных швов после наложения каждого валика поверхности шва и кромки разделки должны быть тщательно зачищены от

шлака, брызг металла и визуально проконтролированы сварщиком на отсутствие трещин, недопустимых шлаковых (вольфрамовых) включений, пор и неровностей (подрезов, наплывов, западаний между валиками) и других дефектов. Выявленные дефекты должны быть удалены до возобновления сварки. При механизированной сварке контроль сварщиком отдельных валиков может производиться в процессе сварки.

4.3.2.14 При двусторонней сварке (в том числе с выполнением подварочного валика) допускается частичное или полное удаление корневой части выполненного шва перед началом сварки со второй стороны. При выполнении двустороннего сварного соединения (или одностороннего с подваркой корня шва) допускается проводить поочередную разделку кромок и сварку с одной стороны с последующей разделкой и сваркой – с другой стороны.

4.3.2.15 После окончания сварки поверхность шва и прилегающей к нему зоны основного металла должна быть зачищена от шлака и брызг металла на ширину, необходимую для последующего контроля.

4.3.2.16 Все сварочные работы при изготовлении сосудов и их элементов должны проводиться при положительных температурах в закрытых помещениях. При монтаже, а также ремонте сосудов, эксплуатируемых вне помещения, допускается сварка при отрицательных температурах окружающего воздуха. При этом сварщик, а также место сварки должны быть защищены от непосредственного воздействия ветра и атмосферных осадков. Сварка при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С должна проводиться в соответствии с технологической документацией, одобренной Регистром.

4.3.2.17 Все сварные швы подлежат клеймению, позволяющему определить сварщика, выполнявшего эти швы. Клеймо наносится на расстоянии 20 – 50 мм от кромки сварного шва с наружной стороны. Если шов с наружной и внутренней сторон заваривается разными сварщиками, клеймо ставится только с наружной стороны через дробь: в числителе клеймо сварщика – с наружной стороны шва, в знаменателе – с внутренней стороны. Если сварные соединения сосуда выполняются одним сварщиком, то допускается клеймо сварщика ставить около таблички или на другом открытом участке.

У продольных швов клеймо должно находиться в начале и в конце шва на расстоянии 100 мм от кольцевого шва. На обечайке с продольным швом длиной менее 400 мм допускается ставить одно клеймо.

Для кольцевого шва клеймо должно выбиваться в месте пересечения кольцевого шва с продольным и далее через каждые 2 м, но при этом их должно быть не менее двух на каждом шве. Клеймо ставится с наружной стороны. Клеймение продольных и кольцевых швов сосудов с толщиной стенки менее 4 мм допускается производить электрографом или несмываемой краской.

Место клеймения заключается в хорошо видимую рамку, выполненную несмываемой краской.

4.3.2.18 При изготовлении сосудов для проверки механических свойств сварных соединений должны быть сварены контрольные планки при изготовлении единичных изделий, серийном изготовлении – на головном образце, при изменении конструкции основных узлов и деталей изделия и применении новых материалов и способов сварки.

4.3.2.19 Контрольные планки должны «прикрепляться» к шву. Шов планок должен свариваться при тех же технологических условиях, что и шов изделия.

4.3.3 Контроль сварных соединений.

4.3.3.1 Общие требования.

4.3.3.1.1 Контроль сварочных работ и качества сварных швов при изготовлении и ремонте сосудов и их элементов должен осуществляться органами технического контроля предприятия-изготовителя.

Результаты контроля должны регистрироваться предприятием по согласованной с Регистром форме, храниться на предприятии не менее 5 лет и предъявляться, в случае необходимости, по требованию Регистра.

4.3.3.1.2 Методы и объем контроля сварных соединений должны соответствовать требованиям, предъявляемым к группе сосудов 1 (см. табл. 1.2 части I «Общие положения»).

4.3.3.1.3 Объем контроля должен соответствовать требованиям одобренной Регистром технической документации на изготовление сосуда и национальным или признанным международным стандартам и правилам для сосудов под давлением, применяемым на предприятии-изготовителе.

4.3.3.1.4 Контроль качества сварных соединений проводится следующими методами:

внешним осмотром и измерением (VT);

капиллярным, включая цветной, люминесцентный и люминесцентно-цветной методы (PT);

магнитопорошковым (MT);

радиографией, включая рентгено- и гаммаграфический методы (RT);

ультразвуковой дефектоскопией (UT);

механическими испытаниями;

металлографическим исследованием;

испытаниями на стойкость против межкристаллитной коррозии;

гидравлическими испытаниями;

испытаниями на герметичность;

Окончательный контроль качества сварных соединений сосудов, подвергающихся термообработке, должен проводиться после термообработки.

4.3.3.2 Внешний осмотр и измерения

4.3.3.2.1 Визуальный и измерительный контроль сварных соединений должен выполняться в соответствии с требованиями 3.2.2 части XIV «Сварка» Правил классификации и стандарта ИСО 17637 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.2.2 Внешнему осмотру и измерениям подлежат все сварные соединения сосудов и их элементов с целью выявления в них поверхностных дефектов (трещин, свищей и пористости наружной поверхности шва, подрезов, прожогов, незаплавленных кратеров) и отклонений размера и формы сварного соединения от заданных величин более чем регламентировано технической документацией.

4.3.3.2.3 Перед внешним осмотром поверхность сварного шва и прилегающие к нему участки основного металла шириной не менее 20 мм в обе стороны от шва должны быть очищены от шлака и других загрязнений.

4.3.3.2.4 Осмотр и измерения сварных соединений должны проводиться с наружной и внутренней сторон по всей протяженности швов. В случае невозможности осмотра и измерения сварного соединения с двух сторон, его контроль должен производиться в порядке, указанном в технической документации на изготовление данного сосуда.

4.3.3.3 Капиллярные методы контроля.

4.3.3.3.1 Капиллярные методы контроля сварных соединений, включая цветной, люминесцентный и люминесцентно-цветной методы, должны выполняться в соответствии с требованиями 3.2.3 части XIV «Сварка» Правил классификации и

стандарта ИСО 3452 (части 1 – 6) или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.4 Магнитопорошковый метод контроля.

4.3.3.4.1 Магнитопорошковый метод контроля должен выполняться в соответствии с требованиями 3.2.4 части XIV «Сварка» Правил классификации и стандарта ИСО 17638 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.5 Общие положения по применению капиллярных и магнитопорошкового методов контроля.

4.3.3.5.1 Капиллярные и магнитопорошковый методы контроля применяются для выявления поверхностных дефектов сварных швов, выполненных низколегированными сварочными материалами.

4.3.3.6 Радиографический метод контроля.

4.3.3.6.1 Радиографический метод контроля должен выполняться в соответствии с требованиями 3.2.5 части XIV «Сварка» Правил классификации и стандарта ИСО 17636 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.7 Ультразвуковой метод контроля.

4.3.3.7.1 Ультразвуковой метод контроля должен выполняться в соответствии с требованиями 3.2.6 части XIV «Сварка» Правил классификации и стандарта ИСО 17640 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.8 Общие положения по применению радиографического и ультразвукового методов контроля.

4.3.3.8.1 Ультразвуковая дефектоскопия и радиографический контроль проводятся с целью выявления в сварных соединениях внутренних дефектов (несплошностей).

4.3.3.8.2 Неразрушающий контроль сварных соединений и оценка их качества должны выполняться специалистами, прошедшими соответствующее обучение, аттестацию и имеющими опыт практической работы по конкретному методу контроля, который должен быть подтвержден документально.

Определение уровня квалификации и сертификация персонала в области неразрушающего контроля должны выполняться в соответствии с требованиями 3.1.2.2 части XIV «Сварка» Правил классификации и национальных стандартов (ГОСТ Р, ИСО 9712), унифицированных со стандартом ИСО 9712, а также других требований, признаваемых Регистром.

4.3.3.8.3 Метод контроля выбирается, исходя из возможности обеспечения более полного и точного выявления недопустимых дефектов с учетом особенностей физических свойств металла, а также освоенности данного метода контроля для конкретного вида сварных соединений.

4.3.3.8.4 Стыковые, угловые, тавровые и другие сварные соединения сосудов и их элементов (днищ, обечаек, штуцеров, люков, фланцев и др.), включая соединения люков и штуцеров с корпусом сосуда, должны подвергаться 100 %-ому неразрушающему ультразвуковому или радиографическому контролю в соответствии с требованиями 6.7.3 ПБ 03-584-03.

Если предусмотрен 100 %-ный ультразвуковой контроль, то дополнительно должен быть предусмотрен радиографический контроль в объеме не менее 10 % с обязательным контролем мест пересечений сварных соединений.

В согласованных с Регистром случаях допускается проводить неразрушающий контроль в объеме, предусмотренном национальными или признанными международными стандартами и правилами для сосудов под давлением, применяемыми на предприятии-изготовителе.

4.3.3.8.5 Перед контролем соответствующего участка сварные соединения должны быть так замаркированы, чтобы их можно было легко обнаружить на картах ультразвукового контроля и радиографических снимках.

4.3.3.8.6 При выявлении недопустимых дефектов сварных соединений, подвергаемых ультразвуковому или радиографическому методам контроля в объеме 100 %, обязательному повторному контролю тем же методом подлежат однотипные швы этого изделия, выполненные данным сварщиком, по всей длине соединения.

4.3.3.8.7 При невозможности осуществления ультразвуковой дефектоскопии и радиографического контроля из-за недоступности сварных соединений или неэффективности этих методов по согласованию с Регистром они могут быть заменены другим эффективным методом неразрушающего контроля.

4.3.3.9 Контрольные сварные соединения.

4.3.3.9.1 Контроль механических свойств, испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии и металлографическое исследование сварных соединений должны производиться на образцах, изготовленных из контрольных сварных соединений.

Контрольные сварные соединения должны быть идентичны контролируемым производственным сварным соединениям (по маркам стали, толщине листа, форме разделки кромок, методу сварки, сварочным материалам, положению шва, режимам и температуре подогрева, термообработке) и выполнены тем же сварщиком и на том же сварочном оборудовании одновременно с контролируемым производственным соединением.

4.3.3.9.2 При сварке контрольных соединений (пластин), предназначенных для проверки механических свойств, проведения испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии и металлографического исследования, пластины следует прихватывать к свариваемым элементам так, чтобы шов контрольных пластин являлся продолжением шва свариваемого изделия.

Сварка контрольных пластин для проверки соединений элементов сосудов, к которым прихватка пластин невозможна, может производиться отдельно от них, но с обязательным соблюдением всех условий сварки контролируемых стыковых соединений.

4.3.3.9.3 При автоматической сварке сосудов на каждый сосуд должно быть сварено одно контрольное соединение.

При ручной сварке сосудов несколькими сварщиками каждый из них должен сварить по одному контрольному соединению на каждый сосуд.

4.3.3.9.4 Сварка контрольных соединений во всех случаях должна осуществляться сварщиками, выполнявшими контролируемые сварные соединения на сосудах.

4.3.3.9.5 Размеры контрольных соединений должны быть достаточными для вырезки из них необходимого числа образцов для всех предусмотренных видов механических испытаний, испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии, металлографического исследования, а также для повторных испытаний.

4.3.3.9.6 Из контрольных угловых и тавровых соединений образцы (шлифы) вырезаются только для металлографического исследования.

4.3.3.9.7 Контрольные сварные соединения должны подвергаться ультразвуковой дефектоскопии или радиографическому контролю по всей длине.

Если в контрольном соединении будут обнаружены недопустимые дефекты, все производственные сварные соединения, представленные данным соединением и не подвергнутые ранее дефектоскопии, подлежат проверке неразрушающим методом контроля по всей длине.

4.3.3.10 Механические испытания.

4.3.3.10.1 Механическим испытаниям должны подвергаться контрольные стыковые сварные соединения с целью проверки соответствия их механических характеристик требованиям, одобренной технической документации и действующих Правил изготовления контейнеров.

Обязательные виды механических испытаний:

на статическое растяжение – для сосудов всех типов;

на статический изгиб – для сосудов всех типов;

на ударный изгиб – для сосудов всех типов. Испытание проводится при минимальной температуре стенки сосуда (минимальной температуре окружающей среды или минимальной температуре груза).

4.3.3.10.2 Из каждого контрольного стыкового сварного соединения должны быть вырезаны:

два образца для испытания на статическое растяжение;

два образца для испытания на статический изгиб;

три образца для испытаний на ударный изгиб.

4.3.3.10.3 Механические испытания сварных соединений должны выполняться в соответствии с требованиями национальных и/или международных стандартов.

4.3.3.10.4 Временное сопротивление разрыву металла сварных швов при 20 °С должно соответствовать значениям, установленным в нормативно-технической документации на основной металл.

4.3.3.10.5 При испытании сварных соединений на статический изгиб минимальный угол загиба образцов на оправке диаметром 4*t* (*t* – толщина испытываемого образца) должен быть не менее 120°.

4.3.3.10.6 Испытания сварных соединений на ударный изгиб проводятся на образцах с надрезом по оси шва со стороны его раскрытия, если место надреза специально не оговорено техническими условиями на изготовление или инструкцией по сварке и контролю сварных соединений.

Значение работы удара стальных сварных соединений должно быть не ниже значений для основного материала.

4.3.3.10.7 Показатели механических свойств сварных соединений должны определяться как среднеарифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов.

Общий результат испытаний считается неудовлетворительным, если хотя бы один из образцов при испытании на растяжение и статический изгиб показал результат, отличающийся от установленных норм в сторону снижения более чем на 10 %. При испытании на ударный изгиб результаты считаются неудовлетворительными, если хотя бы один образец показал результат ниже 70 % требуемого значения.

4.3.3.10.8 При получении неудовлетворительных результатов по одному из видов механических испытаний этот вид испытаний должен быть повторен на удвоенном числе образцов, вырезаемых из того же контрольного сварного соединения.

В случае невозможности вырезки образцов из указанных сварных соединений повторные механические испытания должны быть проведены на выполненных тем же сварщиком производственных сварных соединений, вырезанных из контролируемого изделия.

Если при повторном испытании хотя бы на одном из образцов получены показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, качество сварного соединения считается неудовлетворительным.

4.3.3.11 Металлографический контроль

4.3.3.11.1 Металлографическому исследованию должны подвергаться контрольные стыковые, тавровые и угловые сварные соединения сосудов и их элементов:

предназначенных для работы при давлении более 0,265 МПа или температуре ниже –40 °С, независимо от давления;

изготовленных из легированных сталей, склонных к подкалке при сварке, а также из двухслойных сталей и из сталей, склонных к образованию горячих трещин.

Металлографические исследования допускается не проводить для сосудов и их элементов толщиной до 20 мм, изготовленных из сталей аустенитного класса.

4.3.3.11.2 Образцы (шлифы) для металлографического исследования сварных соединений должны вырезаться поперек шва и изготавливаться в соответствии с требованиями национальных и/или международных стандартов.

Образцы должны включать все сечение шва, обе зоны термического влияния сварки, прилегающие к ним участки основного металла, а также подкладное кольцо, если оно применялось при сварке и не подлежит удалению.

Образцы для металлографических исследований сварных соединений элементов с толщиной стенки 30 мм и более могут включать лишь часть сечения соединения. При этом расстояние от линии сплавления до краев образца должно быть не менее 12 мм, а площадь контролируемого сечения – не менее 30×30 мм.

4.3.3.11.3 При получении неудовлетворительных результатов металлографического исследования допускается проведение повторных испытаний на двух образцах, вырезанных из того же контрольного соединения.

В случае получения неудовлетворительных результатов при повторных металлографических исследованиях качество сварного соединения считается неудовлетворительным.

4.3.3.11.4 Если при металлографическом исследовании в контрольном сварном соединении, проверенном ультразвуковой дефектоскопией или радиографическим методом и признанным годным, будут обнаружены недопустимые внутренние дефекты, которые должны были быть выявлены данным методом неразрушающего контроля, все производственные сварные соединения, проконтролированные данным дефектоскопистом, подлежат 100 %-ной проверке тем же методом дефектоскопии. При этом новая проверка качества всех производственных сварных соединений должна осуществляться другим, более опытным и квалифицированным дефектоскопистом.

4.3.3.12 Испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии.

4.3.3.12.1 Металл шва и зона термического влияния должны быть стойкими против межкристаллитной коррозии для сосудов, изготовленных из сталей аустенитного, аустенитно-ферритного классов и двухслойной стали с коррозионно-стойким слоем из аустенитных и ферритных сталей.

Испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии должны проводиться при наличии требований в технических условиях или технической документации.

4.3.3.12.2 Форма, размеры и число образцов должны отвечать требованиям национальных и/или международных стандартов.

4.3.3.13 Оценка качества сварных соединений стальных конструкций.

4.3.3.13.1 В сварных соединениях сосудов и их элементов не допускаются следующие дефекты:

трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне основного металла, в том числе микротрещины, выявленные при микроисследовании;

непровары (несплавления) в сварных швах, расположенные в корне шва, или по сечению сварного соединения (между отдельными валиками и слоями шва и между основным металлом и металлом шва);

надрезы основного металла, поры, шлаковые и другие включения, размеры которых превышают допустимые значения, указанные в нормативно-технической документации;

наплывы (натеки);

незаплавленные кратеры и прожоги;

свищи;

смещение кромок свыше норм, предусмотренных настоящим документом.

4.3.3.13.2 Качество сварных соединений считается неудовлетворительным, если в них при любом виде контроля будут обнаружены внутренние или наружные дефекты, выходящие за пределы норм, установленных настоящим документом и техническими условиями.

4.3.3.13.3 Дефекты, обнаруженные в процессе изготовления, должны быть устранены с последующим контролем исправленных участков.

Методы и качество устранения дефектов должны обеспечивать необходимую надежность и безопасность работы сосуда.

4.3.3.13.4 Общие требования к оценке качества для всех видов неразрушающего контроля должны соответствовать требованиям 3.4.1 части XIV «Сварка» Правил классификации.

Оценка качества сварных соединений стальных конструкций для всех видов неразрушающего контроля должна выполняться на основе уровней качества, соответствующих требованиям стандарта ИСО 5817 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

Для сосудов класса конструкции I минимальный уровень качества согласно табл. 3.4.1.3 части XIV «Сварка» Правил классификации и стандарту ИСО 5817 должен соответствовать уровню «B».

Для конкретных методов неразрушающего контроля приемлемые уровни оценки дефектов в зависимости от установленных уровней качества должны удовлетворять требованиям к методике и классу контроля, соответствующих требованиям стандарта ИСО 17635 и должны назначаться в соответствии с табл. 3.4.1.4 части XIV Правил классификации.

4.3.3.13.5 Оценка качества сварных соединений по результатам контроля внешним осмотром и измерением.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.4.1.4 и 3.4.2 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 5817, уровень оценки (балл качества) «B», или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.13.6 Оценка качества сварных соединений по результатам контроля магнитопорошковым методом.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.4.1.4 и 3.4.3 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 23278, уровень оценки (балл качества) «$2^{\times 3}$».

4.3.3.13.7 Оценка качества сварных соединений по результатам контроля капиллярным методом.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.4.1.4 и 3.4.4 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 23277, уровень оценки (балл качества) «$2^{\times 3}$».

4.3.3.13.8 Оценка качества сварных соединений по результатам радиографического контроля.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.4.1.4 и 3.4.5 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 10675-1, уровень оценки (балл качества) 1.

4.3.3.13.9 Оценка качества сварных соединений по результатам ультразвукового контроля.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.4.1.4 и 3.4.6 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 11666, уровень оценки (балл качества) 2.

4.3.3.14 Оценка качества сварных соединений конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов.

4.3.3.14.1 Общие требования к оценке качества для всех видов неразрушающего контроля должны соответствовать требованиям 3.5.1 части XIV «Сварка» Правил классификации.

Оценка качества швов сварных соединений конструкций из алюминиевых сплавов должна выполняться на основе уровней качества, соответствующих требованиям стандарта ИСО 10042 или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

Для сосудов класса конструкции I минимальный уровень качества согласно стандарту ИСО 10042 должен соответствовать уровню «B»

Для конкретных методов неразрушающего контроля приемлемые уровни оценки дефектов должны назначаться в соответствии с табл. 3.5.1.3 части XIV «Сварка» Правил классификации.

4.3.3.14.2 Оценка качества сварных соединений по результатам контроля внешним осмотром и измерением.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.5.2.1 и 3.5.2 части XIV "Сварка" Правил классификации, а также стандарта ИСО 10042, уровень качества «B», или других признаваемых Регистром международных и национальных стандартов.

4.3.3.14.3 Оценка качества сварных соединений по результатам контроля капиллярным методом. Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.5.1.3 и 3.5.3 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 23277, уровень оценки (балл качества) «2×».

4.3.3.14.4 Оценка качества сварных соединений по результатам радиографического контроля.

Оценка качества должна выполняться в соответствии с требованиями табл. 3.5.1.3 и 3.5.4 части XIV «Сварка» Правил классификации, а также стандарта ИСО 10675-2, уровень оценки (балл качества) 1.

4.4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

4.4.1 Термической обработке подлежат сосуды, в стенках которых в процессе изготовления (при вальцовке, штамповке, сварке и т. п.) возможно появление недопустимых напряжений, а также сосуды, прочность которых достигается термообработкой.

4.4.2 Сосуды и их элементы из низколегированных марганцовистых, кремнемарганцовистых микролегированных, легированных сталей, изготовленные с применением сварки, штамповки или вальцовки, подлежат обязательной термообработке, в следующих случаях:

номинальная толщина стенки цилиндрической или конической части, элемента днища, фланца или патрубка сосуда в месте их сварного соединения составляет более 30 мм;

толщина стенки цилиндрических или конических элементов сосуда (патрубка), изготовленных из листовой стали вальцовкой, превышает величину, вычисленную по формулам:

$s = 0{,}009(D + 700)$ – для сосуда; (3.4.2-1)

$s = 0{,}009(D + 1200)$ – для патрубка, (3.4.2-2)

где D – минимальный внутренний диаметр, мм,
s – толщина стенки, мм;

сосуды предназначены для эксплуатации в средах, вызывающих коррозионное растрескивание;

днища, независимо от толщины, изготовлены холодной штамповкой или холодным фланжированием;

днища и другие элемента штампуются (вальцуются) горячим способом с окончанием штамповки (вальцовки) при температурах ниже 700 °С.

4.4.3 Сосуды и их элементы, изготовленные из низколегированных сталей хромомолибденового, хромоникельмолибденового и хромоникельмолибденованадиевого типа; сталей мартенситного класса и двухслойных с основным слоем из сталей этого типа и класса, изготовленные с применением сварки, должны быть термообработаны независимо от диаметра и толщины стенки.

4.4.4 Необходимость и режим термообработки сосудов и их элементов из сталей аустенитного класса и двухслойных сталей с основным слоем из сталей низколегированного марганцовистого и кремнемарганцовистого типа с коррозионностойким слоем из сталей аустенитного класса должны указываться в технической документации.

4.4.5 Допускается термическая обработка сосудов по частям с последующей местной термообработкой замыкающего шва. При местной термообработке должны быть обеспечены равномерный нагрев и охлаждение в соответствии с технологией, согласованной со специализированной научно-исследовательской организацией.

При наличии требования по стойкости к коррозионному растрескиванию возможность применения местной термообработки сосуда должна быть согласована со специализированной научно-исследовательской организацией.

4.4.6 В процессе термообработки в печи температура нагрева в любой точке сосуда (элемента) не должна выходить за пределы максимальной и минимальной

температур, предусмотренных режимом термообработки. Среда в печи не должна оказывать вредного влияния на термообрабатываемый сосуд (элемент).

4.4.7 Свойства металла сосудов и их элементов после всех циклов термической обработки должны соответствовать требованиям технических условий или технической спецификации на изделие.

5 СЕРВИСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

5.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ ТИПОВ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН

5.1.1 Требования к сервисному оборудованию контейнеров-цистерн изложены в разд. 2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

5.1.2 Конструкция запорных и предохранительных устройств должна соответствовать требованиям национальных или признанных международных стандартов по проектированию, изготовлению и испытаниям запорных и предохранительных устройств.

5.1.3 Дополнительно следует руководствоваться положениями настоящей главы, а также 6.7.2 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типов Т1 – Т23; 6.7.3 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типа Т50; 6.7.4 МК МПОГ в отношении съемных цистерн типа Т75.

5.1.4 Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации съемные цистерны в зависимости от назначения должны быть оснащены:

запорной или запорно-регулирующей арматурой жидкой и газовой фазы;

приборами для измерения давления;

приборами для измерения температуры;

предохранительными устройствами;

указателями уровня жидкости.

5.1.5 Для изготовления запорной арматуры и предохранительных клапанов должны использоваться металлические материалы стойкие к перевозимым продуктам.

Применение неметаллических материалов является предметом специального рассмотрения Регистром и может быть допущено при предоставлении соответствующих обоснований.

5.1.6 Сервисное оборудование должно быть установлено таким образом, чтобы предотвратить его повреждение при транспортировке и грузовых операциях.

5.1.7 Каждый соединительный патрубок съемной цистерны должен иметь четкую маркировку, указывающую его назначение.

5.1.8 Манометры, применяемые на цистернах, должны иметь класс точности не ниже: 2,5 – при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа;1,5 – при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа.

Манометр должен выбираться с такой шкалой, чтобы предел измерения рабочего давления находился во второй трети шкалы.

Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой.

5.1.9 Каждый запорный клапан или иное запорное устройство должны быть сконструированы и изготовлены в расчете на номинальное давление не менее МДРД сосуда с учетом температур, ожидаемых в ходе перевозки. Все запорные клапаны со штоками с резьбой должны закрываться вращением маховика по часовой стрелке. Для других запорных клапанов их положение (открыто – закрыто) и направление закрытия должны быть четко указаны. Конструкция всех запорных клапанов должна исключать возможность их непреднамеренного открывания. На выходных патрубках должны быть установлены непроницаемые для жидкости резьбовые заглушки или глухие фланцы на болтах.

5.1.10 Маркировка запорных устройств.

Требования по маркировке запорных устройств в МК МПОГ отсутствуют в связи с чем следует руководствоваться требованиями 4.4.4 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

5.1.11 Маркировка предохранительных устройств.

Маркировка должна соответствовать требованиями 4.4.2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров.

5.2 ЗАПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН ТИПА Т1 – Т23

5.2.1 Верхние отверстия слива-налива продукта и газовой фазы должны быть оборудованы, по меньшей мере, двумя последовательно установленными и взаимно независимыми запорными устройствами – наружным запорным клапаном и резьбовой заглушкой или глухим фланцем.

5.2.2 Если допускается нижний слив в соответствии с 4.2.5.2.6 МК МПОГ, он должен быть оборудован тремя взаимно независимыми запорными устройствами – внутренним самозакрывающимся запорным клапаном, наружным запорный клапан и резьбовой заглушкой или глухим фланцем.

Внутренний самозакрывающейся запорный клапан должен иметь дистанционное управление.

Отверстия для нижнего слива съемных цистерн, предназначенных для перевозки твердых, кристаллизующихся веществ или веществ, обладающих высокой вязкостью, указанных в 3.2 МК МПОГ, должны быть оборудованы двумя последовательно установленными запорным клапаном и заглушкой.

5.3 ЗАПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН ТИПА Т50

5.3.1 Все отверстия диаметром более 1,5 мм, независимо от расположения в сосудах, кроме отверстий для устройств сброса давления, смотровых отверстий и закрытых отверстий для газоотвода, должны быть оборудованы, по меньшей мере, тремя взаимно независимыми и последовательно установленными запорными устройствами – внутренним запорным клапаном или клапаном ограничения потока (скоростной клапан), наружным запорным клапаном и резьбовой заглушкой, или глухим фланцем.

5.3.2 Верхние отверстия для заполнения и слива продукта должны быть оборудованы тремя взаимно независимыми и последовательно установленными запорными устройствами – внутренним запорным клапаном, наружным запорным клапаном и резьбовой заглушкой или глухим фланцем.

5.3.3 Если допускается нижний слив в соответствии с 4.2.5.2.6 МК МПОГ и съемные цистерны предназначены для перевозки воспламеняющихся и/или токсичных неохлажденных сжиженных газов, внутренний запорный клапан должен быть быстрозакрывающимся предохранительным устройством, которое автоматически закрывается в случае непреднамеренного перемещения съемной цистерны во время наполнения или разгрузки, а также при пожаре.

Необходимо также предусмотреть дистанционное управление.

5.4 ЗАПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН ТИПА Т75

5.4.1 На все трубопроводы, за исключением трубопроводов предохранительных устройств, должны быть установлены запорные клапаны с заглушками.

5.4.2 Отверстия для заполнения и слива и слива продукта съемных цистерн, используемых для перевозки воспламеняющихся охлажденных сжиженных газов, должны быть оборудованы тремя наружными взаимно независимыми и последовательно установленными запорными устройствами:

быстрозакрывающимся предохранительным устройством с дистанционным управлением, которое автоматически закрывается в случае непреднамеренного перемещения съемной цистерны во время наполнения или разгрузки, а также при пожаре;

запорным клапаном и заглушкой.

5.4.3 Отверстия для наполнения и опорожнения съемных цистерн, используемых для перевозки невоспламеняющихся охлажденных сжиженных газов, должны быть оборудованы запорным клапаном с ручным управлением и заглушкой.

5.5 ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВАМ

5.5.1 Предохранительные устройства для съемных цистерн типа Т1 – Т23.

5.5.1.1 Предохранительные устройства следует проектировать с учетом положений 6.7.2.8 – 6.7.2.15 МК МПОГ.

5.5.1.2 Каждая съемная цистерна должна быть оборудована одним или несколькими устройствами для сброса давления пружинного типа и, кроме того, может дополнительно оборудоваться разрывной мембраной или плавким элементом, установленными параллельно устройствам пружинного типа, за исключением случаев, когда это запрещено ссылкой на 6.7.2.8.3 в соответствующей инструкции для съемной цистерны в 4.2.5.2.6.

5.5.1.3 Давление открытия устройств пружинного типа должно соответствовать положениям 6.7.2.9 МК МПОГ.

5.5.1.4 Общая требуемая пропускная способность предохранительных устройств съемной цистерны должна определяться в соответствии с 6.7.2.12 МК МПОГ.

Номинальная пропускная способность самих пружинных устройств должна определяться в соответствии с 6.7.2.13.2 МК МПОГ и стандартов ИСО 4126-1:2004 и ИСО 4126-7:2004.

5.5.2 Предохранительные устройства для съемных цистерн типа Т50.

5.5.2.1 Предохранительные устройства следует проектировать с учетом положений 6.7.3.7 – 6.7.3.11 МК МПОГ.

5.5.2.2 Съемные цистерны должны быть оборудованы одним или несколькими устройствами для сброса давления пружинного типа. Устройства для сброса давления должны автоматически открываться при давлении не менее МДРД/MAWP и должны быть открыты полностью при давлении, составляющем 110 % МДРД/MAWP. После сброса эти устройства должны закрываться при давлении, которое не менее чем на 10 % ниже давления, при котором начинается сброс, и должны оставаться закрытыми при любом более низком давлении. Разрывные мембраны, не установленные последовательно с пружинными устройствами для сброса давления, не допускаются.

В случаях, предписанных в 4.2.5.2.6 в инструкции для съемных цистерн Т50, предохранительное устройство должно включать разрывную мембрану, устанавливаемую перед пружинным устройством.

5.5.2.3 Общая требуемая пропускная способность предохранительных устройств съемной цистерны должная определяться в соответствии с 6.7.3.8 МК МПОГ.

Номинальная пропускная способность самих пружинных устройств должна определяться в соответствии с 6.7.3.9.2 МК МПОГ и стандартов ИСО 4126-1:2004 и ИСО 4126-7:2004.

5.5.3 Предохранительные устройства для съемных цистерн типа Т75.

5.5.3.1 Предохранительные устройства следует проектировать с учетом положений 6.7.4.5 – 6.7.4.10 МК МПОГ.

5.5.3.2 Съемные цистерны должны быть оборудованы одним или несколькими устройствами для сброса давления пружинного типа. Устройства для сброса давления должны автоматически открываться при давлении не менее МДРД/MAWP и должны быть открыты полностью при давлении, составляющем 110 % МДРД/MAWP. После сброса эти устройства должны закрываться при давлении, которое не менее чем на 10 % ниже давления, при котором начинается сброс, и должны оставаться закрытыми при любом более низком давлении.

В качестве предохранительных устройств допускается применять разрывные мембраны, которые допускается устанавливать параллельно устройствам пружинного

типа. Возможность применения разрывных мембран регламентируется 6.7.4.6.2 МК МПОГ.

5.5.3.3 Общая требуемая пропускная способность предохранительных устройств съемной цистерны должна определяться в соответствии 6.7.4.7.

Номинальная пропускная способность самих пружинных устройств должна определяться в соответствии с 6.7.4.8.2 и стандартов ИСО 4126-1:2004 и ИСО 4126- 7:2004.

6 ТЕХНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

6.1 Процедура технического наблюдения за изготовлением, испытаниями и эксплуатацией съемных цистерн должна отвечать требованиям части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров, требованиям Правил технического наблюдения за изготовлением контейнеров и Правил технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ СОСУДОВ ПО НОРМАМ ASME CODE (ЧАСТЬ VIII) И ГОСТ 14249-89

Расчетная толщина стенки обечайки

по ГОСТ 14249-89: $s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p}$,

по ASME Code (часть VIII): $t = \frac{PR}{SE - 0{,}6P} = \frac{PD}{2SE - 1{,}2P}$.

Расчетная толщина стенки эллиптического днища

по ГОСТ 14249-89: $s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - 0{,}5p}$,

по ASME Code (часть VIII): $t = \frac{PD}{2SE - 0{,}2P}$

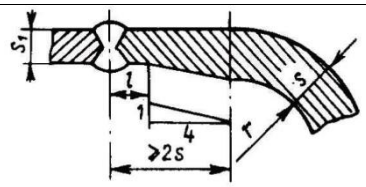
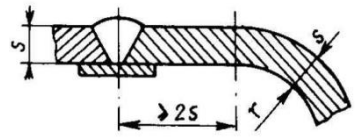
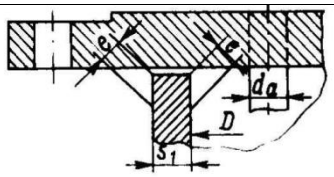
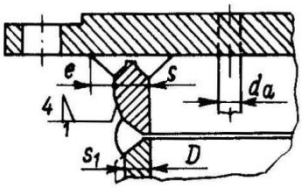
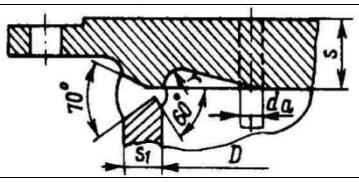
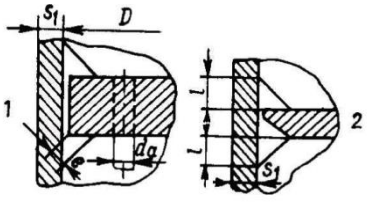
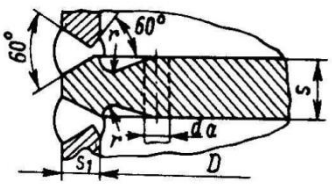
где [σ] = *S* – допускаемое напряжение, МПа;
φ_p = *E* – коэффициент прочности;
p = *P*– расчетное давление, МПа;
D – внутренний диаметр сосуда, мм.

Пример расчета толщины стенки сосуда с внутренним диаметром 2000 мм, работающего под давлением 1,0 МПа при температуре 200 °С (материал – сталь 17ГС ГОСТ 19281, допускаемое напряжение [σ] = 148 МПа; коэффициент прочности φ_p = 1).

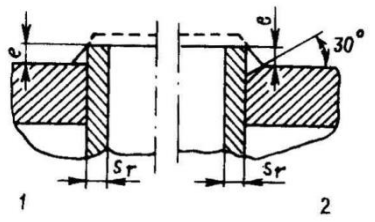
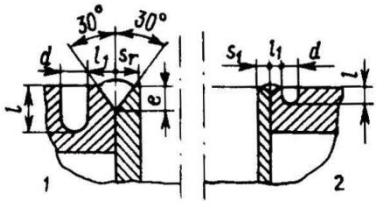
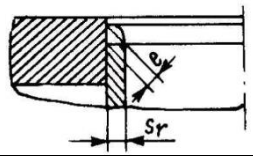
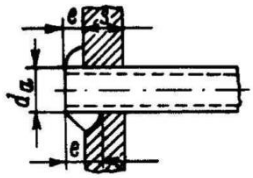
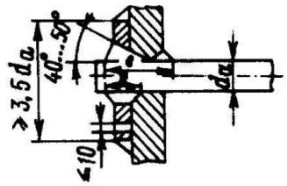
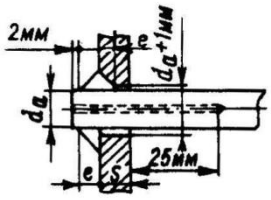
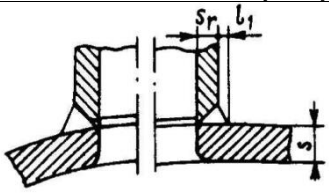
ASME Code (часть VIII)	ГОСТ 14249-89
1 Обечайка	
$t = \frac{PD}{2SE - 1{,}2P} = \frac{1{,}0 \times 2000}{2 \times 148{,}0 \times 1{,}0 - 1{,}2 \times 1{,}0} = 6{,}78$ мм	$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - p} = \frac{1{,}0 \times 2000}{2 \times 148{,}0 \times 1{,}0 - 1{,}0} = 6{,}77$ мм
2 Эллиптическое днище	
$t = \frac{PD}{2SE - 0{,}2P} = \frac{1{,}0 \times 2000}{2 \times 148{,}0 \times 1{,}0 - 0{,}2 \times 1{,}0} = 6{,}76$ мм	$s_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_p - 0.5p} = \frac{1{,}0 \times 2000}{2 \times 148{,}0 \times 1{,}0 - 0.5 \times 1{,}0} = 6{,}76$ мм

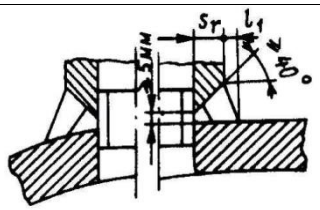
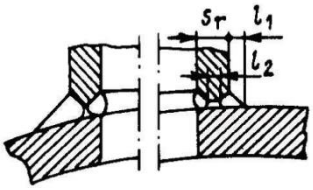
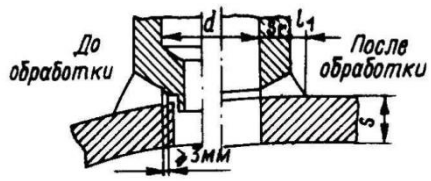
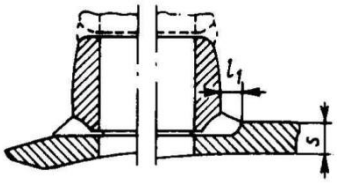
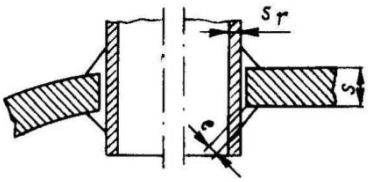
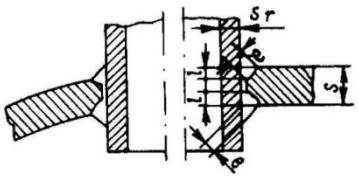
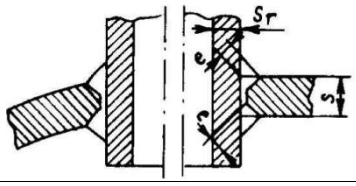
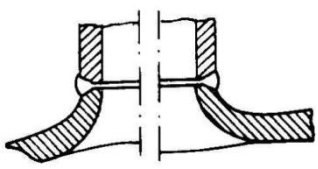
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

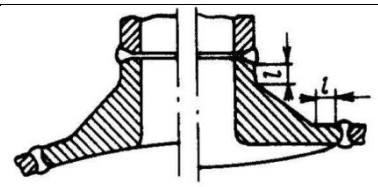
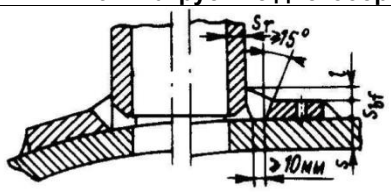
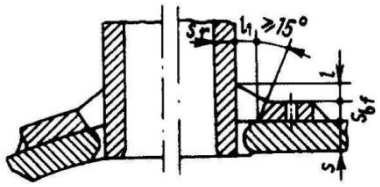
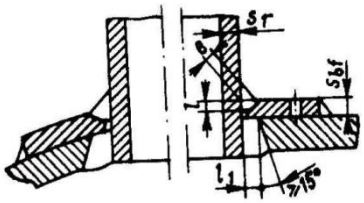
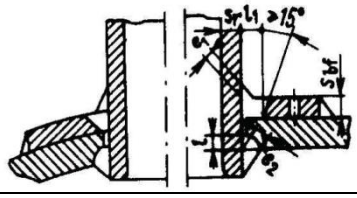
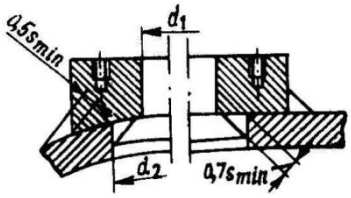
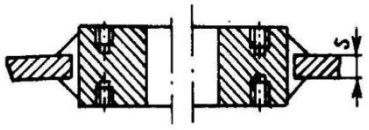
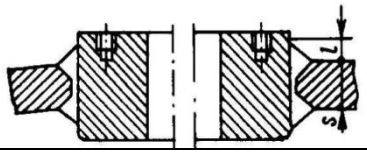
ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ ДОПУСКАЕМЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ[1]

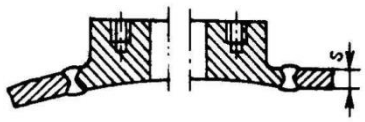
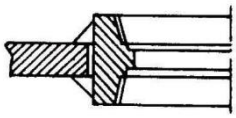
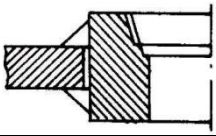
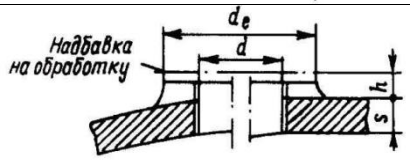
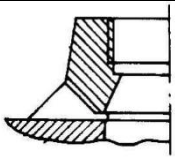
1 Выпускные днища		
1.1		Допускается для сосудов типов UN T1-T23, UN T50, UN T75. См. примечания 1, 16.
1.2		Допускается для сосудов типов UN T1-T23.
2 Трубные решетки		
2.1		$k = 0{,}45$; $e = 0{,}71\ s_1$; $s_1 \leq 16$ мм. См. примечания 2, 3.
2.2		$k = 0{,}45$; $e = s_1/3$, но не менее 6 мм; $s_1 > 16$ мм. См. примечания 4, 5.
2.3		$k = 0{,}45$; $r \geq 0{,}2\ s$, но не менее 5 мм. $k = 0{,}45$;
2.4		Вариант 1: $e \geq 0{,}71 s_1$, но при $e > 13$ мм. Предпочителен вариант 2: где $l = s_1/3$, но не менее 6 мм. См. примечание 6.
2.5		$k = 0{,}45$; $r \leq 0{,}2\ s$, но не менее 5 мм.

[1] Применение других типов сварных соединений является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром при условии обеспечения надлежащей прочности конструкции.

3 Трубы		
3.1		$e = s_r$; $e \geq 5$ мм; $s_r \geq 2{,}5$ мм. См. примечания 7, 8.
3.2		$d = s_r$; $l_1 = s_r$; $1{,}5s_r < l < 2sr$. Вариант 1: $s_r \geq 5$ мм; $l = s_r$. Вариант 2: $s_r < 5$ мм. См. примечание 10.
3.3		$e = 0{,}7s_r$; $s_r \geq 3$ мм. См. примечание 11.
4 Анкерные связи, анкерные трубы и короткие связи		
4.1		$k = 0{,}42$.
4.2		$k = 0{,}34$.
4.3		$k = 0{,}38$.
5 Патрубки, штуцеры, приварки **5.1 Приварные патрубки несквозные**		
5.1.1		$s_r \leq 16$ мм; $l_1 = s_r/3$, но не менее 6 мм.

5.1.2		$l_1 \geq s_r/3$, но не менее 6 мм. См. примечание 12.
5.1.3		$l_2 = 1{,}5 \ldots 2{,}5$ мм; $l_1 \geq s_r/3$, но не менее 6 мм. См. примечание 13.
5.1.4		$l_1 \geq s_r/3$, но не менее 6 мм. См. примечания 14, 15.
5.1.5		$l_1 = 10 \ldots 13$ мм. См. примечание 14.
5.2 Приварные патрубки сквозные		
5.2.1		Соединение применяется в основном при $s_r < s/2$; $e = s_r$.
5.2.2		Соединение применяется в основном при $s_r = s/2$; $e = 6 \ldots 13$ мм. $c + l = s_r$.
5.2.3		Соединение применяется в основном при $s_r > s/2$; $e \geq s/10$, но не менее 6 мм.
5.3 Высаженные штуцеры		
5.3.1		См. примечание 16.

5.3.2		
5.4 Патрубки с дискообразными укрепляющими накладками		
5.4.1		$l \geq s_r$, но не менее 6 мм.
5.4.2		$l \geq s_r/3$, но не менее 6 мм; $l_1 \geq 10$ мм.
5.4.3		$e + l = s_r$ или $e + l = s_{bf}$, исходя из того, что меньше; $l_1 \geq 10$ мм.
5.4.4		$e_2 + l \geq s_r,\ l_1 \geq 10$ мм; $2s_r \leq (e_2 + l)$ + наименьшая из величин $(s_{bf} + e_1)$ или l_1.
5.5 Приварыши и штуцеры под шпильки		
5.5.1		$d_2 \leq d_2 + 2s_{\min}$. См. примечание 17.
5.5.2		$s \leq 10$ мм. См. примечания 18, 19.
5.5.3		$l \geq 6$ мм; $s \geq 20$ мм.

5.5.4		$s \geq 20$ мм.
5.6 Приварыши и штуцеры для резьбовых соединений		
5.6.1		
5.6.2		
5.6.3		$d \leq s$; $d_e = 2d$; $h \leq 10$ мм; $h \leq 0{,}5s$. См. примечание 20.
5.6.4		

Примечания: 1. Уменьшение толщины обечайки или фланцевого участка днища может быть выполнено с внутренней или наружной стороны.
2. Тип сварного соединения для случаев, когда сварка доступна с обеих сторон обечайки.
3. Для обечаек толщиной 16 мм и более угловые швы выполняются с разделкой кромок обечайки согласно рис. 2.2.
4. Тип сварного соединения для случаев, когда сварка доступна только с наружной стороны обечайки.
5. Для обечаек толщиной менее 16 мм угловые швы могут выполнятся без разделки кромок обечайки. Высота кольца должна быть не менее 40 мм.
6. Зазор между внутренним диаметром обечайки и наружным диаметром трубной решетки следует уменьшать до минимально возможного.
7. Конец трубы, выступающий за пределы сварного шва, удаляется фрезеровкой или шлифованием.
8. Расстояние между трубами должно быть не менее $2{,}5s_r$, но не менее 8 мм.
9. При ручной электродуговой сварке необходимо, чтобы $s_r \geq 2{,}5$ мм.
10. Рекомендуется, когда необходимо свести до минимума деформации трубной решетки, возникающие при сварке.
11. Приварка труб производится ручной электродуговой сваркой.
12. Подкладное кольцо должно быть плотно пригнано и после сварки удалено.
13. Применяется, когда возможна сварка с внутренней стороны патрубка.
14. Применяется для патрубков малых размеров по сравнению с размерами сосуда.
15. После сварки патрубок обрабатывается до конечного размера d.
16. Цилиндрические участки 1 должны иметь размеры, позволяющие производить радиографический контроль в случае необходимости.
17. Зазор между приварышами и сосудами не должен превышать 3 мм.
18. Зазор между диаметром отверстия и наружным диаметром штуцера должен быть как можно меньше и в любом случае не должен превышать 3 мм.
19. Верхние отверстия под шпильки должны быть смещены по отношению к нижним.
20. Суммарная толщина обечайки сосуда и наплавленного металла должна быть достаточной для обеспечения необходимого числа витков нарезки.

ЧАСТЬ III. СЪЕМНЫЕ ЦИСТЕРНЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1 ПРИМЕНЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Положения настоящей части следует применять в дополнение к части VIII «Контейнеры-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов» Правил изготовления контейнеров, главе 3.10 Правил технического наблюдения за изготовлением контейнеров и главе 3.6 Правила технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации.

2 КОНСТРУКЦИЯ СОСУДОВ

2.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1.1 Конструкция сосудов должна быть технологичной, обеспечивать надежность, долговечность, безопасность эксплуатации в течение всего периода эксплуатации и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки и полного опорожнения, продувки, осмотра и ремонта.

2.1.2 Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотру судов, должны быть съемными.

2.1.3 Если конструкция сосудов не позволяет провести наружный и внутренний визуальные осмотры или гидравлическое испытание, предусмотренные НМУ, проектантом в инструкции по монтажу и эксплуатации должны быть указаны методика, периодичность и объем контроля, выполнение которых обеспечит своевременное выявлении и устранение дефектов.

2.1.4 Конструкции внутренних устройств должны обеспечивать удаление из сосуда воздуха при гидравлическом испытании и воды после гидравлического испытания.

2.1.5 На каждом сосуде должны быть предусмотрены вентиль, кран или другое устройство, позволяющее осуществить контроль за отсутствием давления в сосуде перед открыванием крышки смотрового люка или люка-лаза.

2.1.6 Для веществ класса опасности 3 сосуд должен быть сконструирован таким образом, чтобы обеспечивать снятие статического электричества с различных составных частей сосуда во избежание накопления опасных электростатических зарядов (поверхностное сопротивление сосуда на землю не должно превышать 10^7 Ом).

2.1.7 Конструкция сосудов из ПКМ должна быть устойчива к воздействию факторов пожара, обеспечивая пребывание сосуда в условиях стандартного пожара нефтепродуктов в течение 30 мин без проливания содержимого. Огнестойкость конструкции проверяется по методике, согласованной с Регистром.

2.1.8 Конструкция сосудов из ПКМ должна быть спроектирована таким образом, чтобы, по возможности, избежать возникновения отрывных усилий в любых конструктивных элементах сосуда при его нормальной эксплуатации.

2.1.9 Сосуды, предназначенные для перевозки жидкостей, газов и сыпучих грузов, должны быть жестко соединены с элементами каркаса или элементами несущей конструкции. Элементы крепления сосуда к каркасу должны выдерживать воздействие сил инерции содержащегося в нем груза, возникающие при движении транспортного средства.

Цистерна, опоры и крепления при загрузке до максимально допустимой массы брутто R должны выдерживать следующие раздельно действующие статически приложенные силы:

.1 в направлении движения – удвоенную массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g ($2R_g$).

При проектировании съемных цистерн для опасных грузов дополнительно проверяется прочность цистерны, опор и креплений при статически приложенных силах в продольном направлении, равных $4R_g$;

.2 горизонтально под прямыми углами к направлению движения – массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g (R_g). Если направление движения точно не установлено, то нагрузки должны быть приняты равными $2R_g$;

.3 вертикально снизу-вверх – массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g (R_g);

.4 вертикально сверху вниз – удвоенную массу брутто R, умноженную на ускорение свободного падения g ($2R_g$).

2.1.10 Элементы крепления, как правило, выполняются из металла и должны выдерживать прилагаемые к ним усилия при испытаниях и эксплуатации сосуда без пластических деформаций. При этом должно быть обеспечено отсутствие повреждений стенки сосуда.

2.2 РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ

2.2.1 Расчет прочности сосудов и их элементов должен производиться в соответствии с методиками, согласованными с Регистром.

2.2.2 Расчетные нагрузки должны устанавливаться, исходя из технических условий на изделие. Расчетное давление при расчетах прочности сосуда должно приниматься равным максимально допустимому рабочему давлению.

2.2.3 Расчет напряжений и деформаций, действующих в конструкционных слоях сосуда, проводится методом конечных элементов (МКЭ) на основании теории слоистых оболочек. Расчетная конечно-элементная модель должна воспроизводить схему армирования сосуда. При проведении расчетов необходимо задать значения упругих характеристик конструкционных слоев сосуда (E_1 – модуль упругости в направлении вдоль волокон, E_2 – модуль упругости в направлении поперек волокон, G_{12} – модуль сдвига в плоскости слоя, v_{12} – коэффициент Пуассона), которые определяются на основании механических испытаний, проводимых по программам и методикам, разработанным в соответствии с требованиями ИСО 527-5, ИСО 14126, ИСО 14129 или их национальных аналогов.

2.2.4 При действии внутреннего расчетного давления, внешнего расчетного давления, статически приложенных нагрузках, указанных в 2.1.9 и статических силах тяжести, вызываемых содержимым с максимальной плотностью, указанной для данного типа конструкции цистерны с сосудом из ПКМ, при максимальной степени наполнения в каждом конструкционном слое сосуда должен выполняться критерий прочности в виде соотношения:

$$F_1\sigma_{11} + F_2\sigma_{22} + F_{11}\sigma_{11}^2 + F_{22}\sigma_{22}^2 + F_{33}\sigma_{12}^2 + 2F_{12}\sigma_{11}\sigma_{22} < 1, \qquad (2.2.4\text{-}1)$$

где $F_1 = \frac{1}{\sigma_1^+} + \frac{1}{\sigma_1^-};\ F_2 = \frac{1}{\sigma_2^+} + \frac{1}{\sigma_2^-};\ F_{11} = \frac{1}{\sigma_1^+\sigma_1^-};\ F_{22} = \frac{1}{\sigma_2^+\sigma_2^-}.$

$F_{33} = \frac{1}{\sigma_{12}^{-2}}; F_{12} = -\sqrt[1/2]{F_{11}F_{22}};\ \sigma_1^+ = \sigma_{1в}^+/K; \sigma_1^- = \sigma_{1в}^-/K; \sigma_2^+ = \sigma_{2в}^+/K; \sigma_2^- = \sigma_{2в}^-/K; \sigma_{12в} = \sigma_{12в}/K;$

K – коэффициент безопасности;

σ_{11} – действующее напряжение в однонаправленном слое ПКМ в направлении вдоль волокон;

σ_{22} – действующее напряжение в однонаправленном слое ПКМ в направлении поперек волокон;

σ_{12} – действующее напряжение сдвига в однонаправленном слое ПКМ;

$\sigma_{1в}^+$ – прочность однонаправленного слоя ПКМ при растяжении вдоль волокон, определяемая по стандарту ИСО 527-5;

$\sigma_{1в}^-$ – прочность однонаправленного слоя ПКМ при сжатии вдоль волокон, определяемая по стандарту ИСО 14126;

$\sigma_{2в}^+$ – прочность однонаправленного слоя ПКМ при растяжении поперек волокон, определяемая по стандарту ИСО 527-5;

$\sigma_{2в}^-$ – прочность однонаправленного слоя ПКМ при сжатии поперек волокон, определяемая по стандарту ИСО 14126;

$\sigma_{12в}$ – прочность однонаправленного слоя ПКМ при сдвиге в плоскости слоя, определяемая по стандарту ИСО 14129.

Испытания для определения расчетных характеристик ПКМ σ_1^+, σ_1^-, σ_2^+, σ_2^-, $\sigma_{12в}$ должны проводиться в соответствии с требованиями указанных стандартов ИСО по меньшей мере на шести элементарных образцах, характерных для данного типа конструкции сосуда и технологии его изготовления.

Идентичность материала в образцах, используемых для определения расчетных характеристик материала, обеспечивается соответствием массовой доли содержания волокон значениям, указанным в технологической инструкции по изготовлению сосуда.

Расчет действующих напряжений σ_{11}, σ_{22} и σ_{12} в каждом конструкционном слое сосуда из ПКМ должен проводиться методом конечных элементов.

Допускается применение других соотношений для выражения критерия прочности по согласованию с Регистром.

Коэффициент безопасности рассчитывается по формуле:

$$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4, \qquad (2.2.4\text{-}2)$$

где K_0 – коэффициент запаса прочности.
Для цистерн обычной конструкции значение K_0 должно быть не менее 1,5. Для цистерн, предназначенных для перевозки веществ, требующих повышенной степени прочности, значение K_0 должно быть умножено на коэффициент 2, если сосуд не снабжен защитой от повреждений, состоящей из полного металлического каркаса, включающего продольные и поперечные конструкционные элементы;

K_1 – коэффициент ухудшения свойств материала вследствие ползучести или старения и в результате химического воздействия перевозимых веществ. Этот коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_1 = \frac{1}{\alpha\beta}, \qquad (2.2.4\text{-}3)$$

где α – коэффициент ползучести и β – коэффициент старения, определяемый в соответствии со стандартом EN 978 после испытания, проводимого согласно стандарту EN 977. В качестве альтернативы можно использовать консервативное значение $K_1 = 2$;

$K2$ – коэффициент, зависящий от рабочей температуры и тепловых свойств смолы, определяемый согласно следующему уравнению с минимальным значением, равным 1:

$$K_2 = 1{,}25 - 0{,}0125(\text{ТТД} - 70),$$

где ТТД – температура тепловой деформации смолы, °С;

K_3 – коэффициент усталости материала; следует использовать значение $K_3 = 1{,}75$, если компетентным органом не утверждена иная величина. При действии расчетных нагрузок применяется значение K_3, равное 1,1;

K_4 – коэффициент отверждения; K_4 = 1,1, если отверждение производится в соответствии с одобренным технологическим процессом; $K_4 = 1{,}5$ – в других случаях.

Минимальное значение коэффициента безопасности K при действии расчетных нагрузок должно быть не менее 4.

2.2.5 При любой из нагрузок, упомянутых в 2.1.9 и 2.2.4, удлинение сосуда из ПКМ в любом направлении не должно превышать наименьшую из следующих величин: 0,2 % или 0,1 относительного удлинения смолы при разрыве определяемого по стандарту ИСО 527-1.

2.2.6 При действии испытательных нагрузок, указанных в разд. 3 части VIII «Контейнеры- цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов (ПКМ)» Правил изготовления контейнеров (статические, динамические и гидравлические испытания) максимальная деформация сосуда в произвольном направлении не должна превышать величину удлинения смолы при разрыве.

2.2.7 Если по условиям эксплуатации сосуд может подвергаться воздействию избыточного внешнего давления, должен быть выполнен расчет его устойчивости.

Коэффициент запаса устойчивости при расчете должен быть не менее 5.

Величины упругих характеристик материала конструкционных слоев сосуда при расчете устойчивости принимаются согласно 2.2.3.

2.2.8 Зоны соединений конструкционных слоев сосуда из ПКМ, включая зоны конструкции, изготавливаемые по различным технологиям, должны выдерживать расчетные и испытательные нагрузки, указанные в 2.1.9 и 6.9.

2.2.8.1 Во избежание концентрации напряжений в зонах соединений конусность соединения должна быть не менее 1:6. Прочность на сдвиг в местах указанных соединений должна составлять не менее:

$$\tau = Q/l \le \tau_R/K, \qquad (2.2.8.1)$$

где τ_R – прочность соединения на сдвиг в соответствии со стандартом ИСО 14125. При отсутствии соответствующих результатов испытаний τ_R должно приниматься равным 10 Н/мм^2 (10 Мпа);
Q – нагрузка на единицу ширины соединения;
K – коэффициент безопасности, определяемый по формуле (2.2.4-2);
l – длина перехлеста слоев в соединении.

2.2.8.2 При расчетах МКЭ рекомендуется также применять критерий виртуального закрытия трещины:

$$K_{delam} = 1/\sqrt{G_{eqiuv}} \ge K, \qquad (2.2.8.2\text{-}1)$$

где K – коэффициент безопасности, определяемый по формуле (2.2.4-2);
G_{eqiuv} – эффективная скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины;

$$G_{eqiuv} = (G_I/G_{IC})^{\alpha} + (G_{II}/G_{IIC})^{\beta} + (G_{III}/G_{IIIC})^{\gamma}; \qquad (2.2.8.2\text{-}2)$$

где G_I – скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при нормальном отрыве (форма I);
G_{II} – скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при сдвиге в плоскости слоя (форма II);
G_{III} – скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при межслоевом сдвиге (форма III);
G_{IC} – критическая скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при нормальном отрыве (форма I);
G_{IIC} – критическая скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при сдвиге в плоскости слоя (форма II);
G_{IIIC} – критическая скорость высвобождения упругой энергии при страгивании трещины при межслоевом сдвиге (форма III);
α, β, γ – экспериментально определяемые константы.

Величина G_{IC} определяется в соответствии со стандартом EN 6033, величина G_{IIC}. – со стандартом EN 6034. Величина $G_{IIIC} = G_{IIC}$.

Вид соотношения (2.2.8.2-2) требует уточнения в каждом конкретном случае на основании результатов испытаний конструктивно подобных образцов, имитирующих зоны соединений конструкционных слоев сосуда.

Допускаются другие методы расчета зон соединений конструкционных слоев с учетом особенностей конструкции сосуда согласованные с Регистром.

2.2.9 Для обоснования применимости методов расчета прочности сосуда из ПКМ при действии нормативных расчетных и испытательных нагрузок рекомендуется разработка методик и проведение конструктивных испытаний подобных и

полномасштабных образцов, имитирующих как регулярные зоны конструкции сосуда из ПКМ, так и зоны, получаемые в результате совмещения различных технологий (например, филаментной намотки и вакуумной инфузии).

2.3 ТОЛЩИНА И СТРУКТУРА СТЕНКИ СОСУДА

2.3.1 При выборе материала, толщины и структуры стенки сосуда должны быть удовлетворены требования по обеспечению:

прочности, устойчивости и работоспособности;

стойкости к воздействию внешних сред, действующих на внутреннюю и внешнюю поверхности стенки сосуда;

герметичности.

2.3.2 Минимальные значения толщины конструкционной оболочки сосуда рекомендуется определять с использованием соотношений (2.3.2.1-1) или (2.3.2.1-2), а также (2.3.2.2), но в любом случае минимальная толщина должна быть не менее 6 мм.

2.3.2.1 Минимальная толщина стенки цилиндрической части конструкционной оболочки сосуда определяется как минимальное значение следующих величин:

$$t = \frac{PR_{\text{цил}}}{2(0{,}001E_{\text{вд}})} \qquad (2.3.2.1\text{-}1)$$

и

$$t_{\text{окр}} = \frac{PR_{\text{цил}}}{0{,}001E_{\text{окр}}} \qquad (2.3.2.1\text{-}2)$$

где $E_{\text{вд}}$ – модуль упругости материала цилиндрической части конструкционной оболочки сосуда в направлении вдоль оси вращения сосуда;

$E_{\text{окр}}$ – модуль упругости материала цилиндрической части конструкционной оболочки сосуда в окружном направлении;

P – расчетное внутреннее давление;

$R_{\text{цил}}$ – внутренний радиус цилиндрической части конструкционной оболочки сосуда.

2.3.2.2 Минимальная толщина конструкционной оболочки торцевых днищ сосуда определяется как:

$$t = \frac{PR_{\text{сф}}}{2(0{,}001E)}, \qquad (2.3.2.2)$$

где E – минимальное значение следующих величин:

$E_{\text{мер}}$ – модуль упругости материала конструкционной оболочки торцевых днищ сосуда в меридиональном направлении;

$E_{\text{окр}}$ – модуль упругости материала конструкционной оболочки торцевых днищ сосуда в окружном направлении;

P – расчетное внутреннее давление;

$R_{\text{сф}}$ – внутренний радиус конструкционной оболочки торцевых днищ сосуда.

Величины модулей упругости $E_{\text{вд}}$, $E_{\text{окр}}$, $E_{\text{мер}}$, $E_{\text{окр}}$ определяются на основании теории слоистых оболочек с использованием характеристик упругости конструкционных слоев сосуда, указанных в 2.2.3, с учетом схемы армирования конструкционной оболочки сосуда.

Минимальная толщина конструкционной оболочки сосуда подтверждается на основании поверочных расчетов МКЭ при действии расчетных внутреннего и внешнего давлений.

2.3.3 Если материал стенки не позволяет обеспечить выполнение требований согласно 2.3.1, должны применяться защитные покрытия, обеспечивающие герметичность и стойкость к воздействию внешних сред на все время службы сосуда.

2.3.4 Толщина защитного покрытия не должна учитываться при расчетах прочности сосуда.

2.4 ЛЮКИ, ЛЮЧКИ, КРЫШКИ

2.4.1 Сосуды должны быть снабжены необходимым числом люков и смотровых лючков, обеспечивающих осмотр, очистку и ремонт сосудов, а также монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств. При условии соблюдения требований 3.1.3 допускается выполнять сосуд без люков и лючков независимо от диаметра сосуда.

2.4.2 Сосуды с внутренним диаметром более 800 мм должны иметь люки, а с внутренним диаметром 800 мм и менее – лючки.

2.4.3 Внутренний диаметр круглых люков должен быть не менее 500 мм. Размер овальных люков по наименьшей и наибольшей осям в свету должен быть не менее 325х500 мм. Внутренний диаметр круглых лючков или размер по наименьшей оси овальных лючков должен быть не менее 80 мм.

2.4.4 Люки и лючки необходимо располагать в местах, доступных для обслуживания.

2.4.5 Крышки сосудов и люков массой более 20 кг должны быть снабжены подъемно-поворотными или другими устройствами для их открывания и закрывания.

2.4.6 При наличии на сосудах съемных днищ или крышек, внутренний диаметр которых не менее указанного для люков в 2.4.3 (что обеспечивает возможность проведения внутреннего осмотра), допускается люки не предусматривать.

2.4.7 Конструктивное оформление районов расположения люков и лючков зависит от назначения сосуда и технологии изготовления и должно рассматриваться для каждой конструкции. Некоторые принципиально возможные варианты конструктивного оформления приведены на рис. 2.4.7-1 – 2.4.7-3.

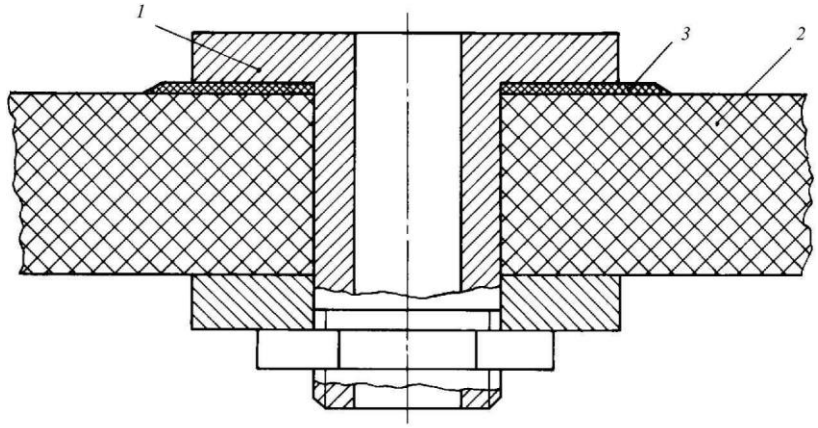


Рис. 2.4.7-1
Принципиально возможное конструктивное оформление района выхода арматуры:
1 – механический штуцер; *2* – стенка сосуда; *3* – уплотнение

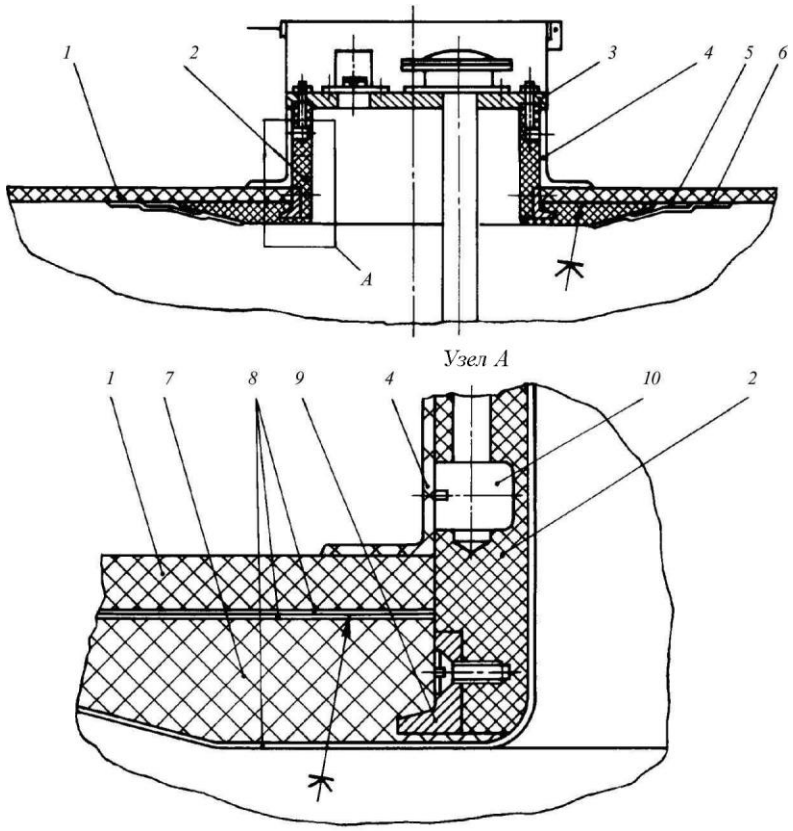


Рис. 2.4.7-2
Принципиально возможное конструктивное оформление люка с обечайкой из ПКМ:
1 – стенка цистерны; *2* – обечайка люка; *3* – крышка люка; *4* – наформовка; *5* – зона раскрепления; *6* – заформовка; *7* – опорный вкладыш; *8* – защитный коррозионностойкий и герметизирующий слой; *9* – кольцо упорное; *10* – штифт

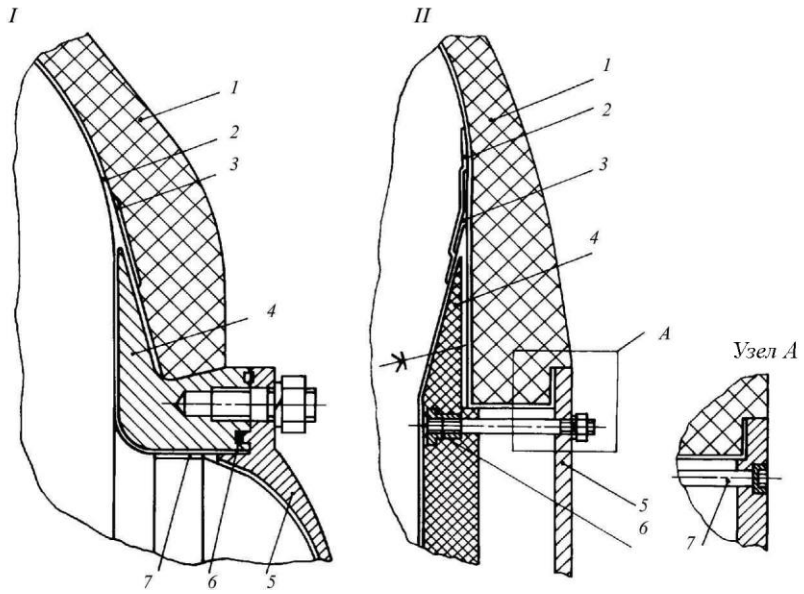


Рис. 2.4.7-3
Варианты принципиально возможного конструктивного оформления «полюсных» отверстий цистерны.
Вариант I: *1* – днище; *2* – защитный коррозионностойкий и герметизирующий слой; *3* – зона раскрепления;

4 – фланец; *5* – крышка; *6* – уплотнение; *7* – заформовка.
Вариант II: *1* – днище; *2* – заформовка; *3* – зона раскрепления; *4* – заглушка; *5* – крышка; *6* – футорка; *7* – винт

2.4.8 Число отверстий в стенке сосудов для люков, лючков и штуцеров должно быть минимальным, а район расположения отверстий должен иметь соответствующее подкрепление. В цилиндрической части сосуда рекомендуется располагать отверстия в одном усиленном кольцевом поясе. Ширина усиленного пояса должна быть не менее трех диаметров наибольшего отверстия.

2.5 ДНИЩА СОСУДОВ

2.5.1 В сосудах применяются эллиптические, полусферические и торосферические днища.

2.5.2 Выбор формы днища должен производиться из условия обеспечения необходимой прочности и надежности с учетом выбранной технологии изготовления сосуда.

2.5.3 Длина цилиндрической части днища определяется как наименьшее из значений, где *r* – внешний радиус цилиндра; *s* – толщина конструкционных слоев цилиндрической части днища или 20 s.

2.6 СОЕДИНЕНИЯ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

2.6.1 При проектировании сосудов из ПКМ число стыковых и угловых соединений должно быть сведено к минимуму. Район соединения должен быть соответственно усилен, исходя из расчета прочности.

2.6.2 При проектировании стыковых соединений, работающих на растяжение, рекомендуется применять соединения со ступенчатой разделкой кромок (см. рис. 2.6.2- 1). Глубина ступени принимается равной 1 – 2 мм, ширина – 20 – 25 мм, толщина наружных (перекрывающих) накладок должна быть не менее 2 мм, а величина перекроя – 40 – 60 мм. Допускаются и иные варианты конструктивного оформления стыковых соединений (см. рис. 2.6.2-2 и 2.6.2-3).

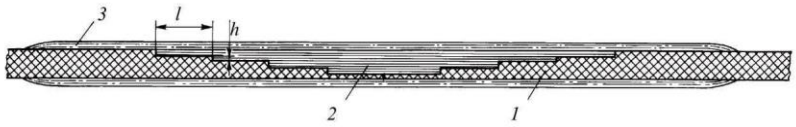


Рис. 2.6.2-1
Стыковое соединение со ступенчатой разделкой кромок:
1 – стенка сосуда; *2* – соединительные слои; *3* – расформовка; *h* – глубина ступени; *1* – ширина ступени

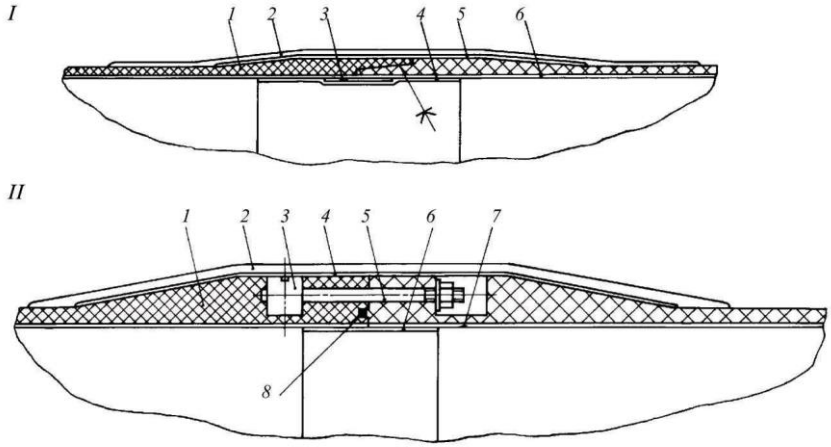


Рис. 2.6.2-2
Варианты принципиально возможного конструктивного оформления стыковых соединений.
Вариант I: *1* – стенка оболочки; *2* – наформовка; *3* – зона раскрепления; *4* – зaформовка; *5* – эластичный подслой (резина); *6* – защитный коррозионностойкий и герметизирующий слой.
Вариант II: *1* – стенка оболочки; *2* – наформовка; *3* – штифт; *4* – эластичный подслой; *5* – шпилька; *6* – зaформовка; *7* – защитный коррозионностойкий и герметизирующий слой; *8* – уплотнение

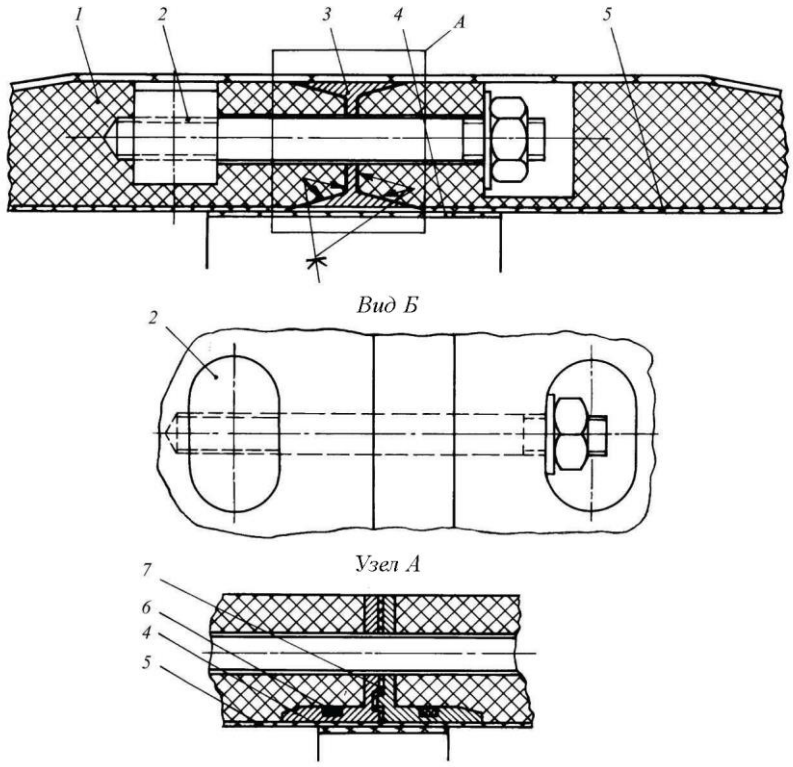


Рис. 2.6.2-3
Конструктивное оформление шпилечно-штифтовых соединений элементов силовой оболочки цистерны: *1* – оболочка цистерны; *2* – штифт; *3* – кольцо; *4* – заформовка; *5* – защитный коррозионностойкий и герметизирующий слой; *6* – уплотнение; *7* – прокладка

2.6.3 Коэффициент запаса прочности для стыковых соединений должен быть не меньше запасов прочности, принятых для других элементов сосуда.

2.6.4 Во всех случаях работоспособность и надежность соединения должны быть отработаны на основании результатов экспериментальных исследований.

2.6.5 Способ соединения сосуда с рамой каркаса контейнера-цистерны устанавливается проектантом сосуда.

2.6.6 Прочность соединений сосуда из ПКМ с элементами каркаса или элементами несущей конструкции должна обосновываться расчетами МКЭ и подтверждаться результатами испытаний прототипа в соответствии с требованиями главы 3.3 части VIII «Контейнеры-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов» Правил изготовления контейнеров.

3 МАТЕРИАЛЫ

3.1 Материалы, применяемые для изготовления сосудов, должны обеспечивать их надежную работу в течение расчетного срока службы с учетом заданных условий эксплуатации (расчетного давления, минимальной и максимальной расчетных температур), состава и характера среды (коррозионной активности, взрывоопасности, токсичности и др.), влияния температуры окружающего воздуха, а также возможных экологических последствий при разрушении сосуда.

3.2 При изготовлении сосудов должны применяться только допущенные Регистром материалы и компоненты, удовлетворяющие требованиям технической документации, одобренной Регистром.

3.3 При изготовлении сосудов в качестве связующего материала рекомендуется применять полиэфирные, винилэфирные, эпоксидные, эпоксифенольные и фенольные смолы с отверждающими добавками в количествах, устанавливаемых действующими технологическими инструкциями.

В обоснованных случаях по согласованию с Регистром допускается применять другие смолы, обеспечивающие изготовление сосуда с заданной прочностью и стойкостью к воздействию эксплуатационных факторов.

3.4 Армирующие компоненты на основе волокон различного происхождения (стеклянных, углеродных, органических, борных и др.) могут применяться в различных текстильных формах в виде крученых и некрученых нитей, жгутов (ровингов) тканей различного переплетения, нетканых материалов, обеспечивающих прочность сосуда и его стойкость к воздействию эксплуатационных факторов.

3.5 В качестве материалов защитных покрытий внутренней и внешней поверхностей конструкционной оболочки сосуда рекомендуется использовать либо ПКМ с большим содержанием смолы (не менее 70 % по массе), либо термопласты.

Допускается применять другие материалы, обеспечивающие надежную защиту стенки сосуда от воздействия внешних факторов на все время службы сосуда.

3.6 Арматура сосудов должна изготавливаться из металлических материалов.

Узлы соединений металлических деталей со стенкой сосуда из ПКМ должны обеспечивать прочность и герметичность соединения на все время эксплуатации сосуда.

При создании таких узлов необходимо учитывать разность между коэффициентами температурного расширения металла и ПКМ.

3.7 В уплотнительных элементах узлов должны применяться материалы, обладающие необходимой стойкостью к воздействию сред, хранящихся в сосуде. Материалы должны обеспечивать герметичность сосуда при всех эксплуатационных воздействиях.

Уплотнительные материалы должны иметь следующие свойства:

малую остаточную деформацию сжатия;

незначительную релаксацию напряжения;

стойкость к старению;

стойкость к действию среды, хранящейся в сосуде, при соответствующей температуре эксплуатации;

миграционную стойкость к материалу защитного слоя (материалу стенки).

3.8 Внешняя поверхность сосуда должна иметь огнезащитное покрытие.

3.9 При выборе материалов сосуда и его элементов следует учитывать возможность образования электрохимических пар, наличие которых может привести к ускоренному коррозионному разрушению.

3.10 Силовые оболочки сосудов, насколько это допустимо из конструктивных соображений, не должны содержать металлических элементов. Во всех случаях следует избегать прямого контакта металлического элемента с содержимым сосуда.

3.11 Качества и свойства исходных материалов и полуфабрикатов должны отвечать требованиям соответствующих стандартов и технических условий, быть подтверждены сертификатами предприятия-поставщика и результатами входного контроля в соответствии с методиками, изложенными в технических условиях.

Материалы с истекшим сроком хранения могут быть допущены к применению после подтверждения их соответствия техническим условиям.

4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ СОСУДОВ

4.1 Изготовление сосудов и их элементов должно проводиться на предприятиях, освидетельствованных Регистром.

4.2 На предприятии (изготовителе) должен осуществляться контроль качества на всех стадиях изготовления, начиная с входного контроля исходных материалов и заканчивая контролем качества изделий при проведении сдаточных испытаний.

Порядок и объем контроля устанавливаются соответствующей проектной документацией, одобренной Регистром.

4.3 При изготовлении сосудов и их элементов, выполненных из ПКМ, могут применяться следующие методы:

намотка нитями или жгутами;

намотка тканями;

контактное формование;

автоклавное формование;

вакуумная инфузия;

прессование;

другие методы, согласованные с Регистром.

4.4 При изготовлении сосудов методом контактного формования ткань в отдельном слое укладывается без перекроя. В каждом соседнем слое стыки ткани должны быть разнесены не менее чем на 100 мм.

Совмещение стыков в одном сечении допускается не менее чем через 6 слоев.

Для стеклопластиков, изготовленных методом контактного формования, весовое содержание стекла должно составлять 40 – 55 %.

4.5 В качестве армирующих материалов для сосудов, изготавливаемых методом намотки, должны использоваться однонаправленные материалы (ленты, жгуты).

4.6 При изготовлении сосудов методом намотки химстойкий слой рекомендуется наносить на оправку до изготовления конструкционной оболочки.

4.7 При наличии обоснования возможно использование оболочки, выполненной из химстойкого слоя, в качестве оправки для изготовления конструкционной оболочки сосуда.

4.8 Объем контроля при изготовлении сосуда из ПКМ указан в разд. 6.

5 АРМАТУРА, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЪНЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1 Требования к арматуре, контрольно-измерительным приборам и предохранительным устройствам сосудов из ПКМ аналогичны требованиям, предъявляемым к соответствующим устройствам для металлических сосудов, работающих под давлением, согласно разд. 4 части II «Сосуды из металлических материалов».

5.2 Арматура должна изготавливаться из металлических материалов.

6 ОБЪЕМ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СОСУДОВ ИЗ ПКМ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1 Перед запуском в производство основные исходные материалы (смолы, покрытия, отвердители, армирующие) должны быть проверены в лаборатории изготовителя сосуда по основным показателям на соответствие техническим условиям на поставку по изложенным в них методикам.

Разрывную нагрузку стеклоармирующих материалов следует определять для каждой пятой партии на 10 % рулонов (бобин) партии.

В случае нарушения упаковки или правил хранения следует проверять каждую партию.

Перед началом работ необходимо провести сверку данных анализа лаборатории изготовителя сосуда с требованиями нормативных документов.

Материал следует хранить в соответствии с требованиями технических условий, сертификатов или другой технической документации, представляемой изготовителем материала.

По истечении гарантийного срока хранения материала или нарушения условий его хранения материал должен быть проверен по всем показателям, предусмотренными нормативными документами. Если свойства материала отвечают соответствующим требованиям, материалы могут быть использованы.

Контроль условий хранения материалов должна осуществлять лаборатория изготовителя. Результаты проверки фиксируются в журнале.

6.2 Изготовление сосудов из ПКМ должно осуществляться в специальных производственных помещениях, отвечающих требованиям технологического процесса, техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности.

В производственных помещениях измерение температуры и влажности воздуха следует проводить постоянно.

6.3 Объем и номенклатура контроля качества в процессе изготовления конструкций устанавливаются инструкцией по контролю качества.

Методики и средства контроля качества на каждом этапе изготовления разрабатываются изготовителем сосуда и согласуются с Регистром и разработчиком технической документации.

Контроль за соблюдением правильности технологического процесса при изготовлении конструкций и нанесении защитных покрытий следует оформлять соответствующими техническими документами, подписываемыми представителями технического контроля, ответственными за каждую технологическую операцию.

6.4 Качество материала в готовых конструкциях следует контролировать по методикам, одобренным Регистром:

внешним осмотром готовых конструкций, замером толщины стенок конструкции;

определением числа и размеров внутренних дефектов в материале с помощью контрольной аппаратуры;

определением модулей упругости материала в осевом и окружном направлениях неразрушающими методами;

определением физико-механических характеристик материала при испытании образцов, вырезаемых из сосуда.

При этом определяются плотность материала, пределы прочности при растяжении и изгибе и, если необходимо, при сжатии, а также предел прочности материала при межслойном сдвиге.

Примечание. Если сосуд изготавливается в виде монолитной оболочки, качество компонентов ПКМ и технологии изготовления оцениваются по техническим характеристикам материала, которые определяются при контактном формовании на образцах, вырезанных из проб, а при изготовлении методом намотки – на кольцевых образцах, изготовленных из того же материала, что и конструкция, по той же технологии и в тех же климатических условиях.

6.5 Контрольные операции должны проводиться в соответствии с нормативными документами, указанными в технологической инструкции, одобренной Регистром. Контрольные операции по измерению толщины и дефектоскопии должны проводиться не ранее чем через два дня после изготовления сосуда.

Определение механических характеристик возможно только после окончательного отверждения, срок которого должен указываться в технологической инструкции по изготовлению сосуда.

6.6 Измерение толщины стенки сосуда следует проводить методами и средствами, обеспечивающими погрешность измерения не более 3 %. Число точек, в которых проводятся измерения, их расположение на сосуде и критерии принятия решения о качестве сосуда определяются методикой измерения толщины стенки сосуда, одобренной Регистром.

6.7 Методы и оборудование, применяемые при дефектоскопии, указываются в технологической инструкции по изготовлению сосуда. Дефектоскопия проводится в соответствии с методикой, одобренной Регистром, в которой должен содержаться раздел, определяющий критерии принятия решения о качестве сосуда.

6.8 Программа испытаний прототипа сосуда из ПКМ должна предусматривать гидравлическое испытание со ступенчатым возрастанием величины приложенного внутреннего давления до испытательного давления, принимаемого равным 1,5p, где p – расчетное давление.

При испытании прототипа сосуда обязательно проведение тензометрии деформаций.

6.9 Все серийные сосуды после их изготовления подлежат испытаниям на прочность. Испытания сосудов проводит предприятие (изготовитель) в соответствии с программой, одобренной Регистром.

При испытаниях сосуда на прочность испытательное давление должно приниматься равным 1,5p.

6.10 Для испытаний сосуда на прочность должна применяться вода с температурой не ниже 5 °С и не выше 25 °С, если нет других указаний в проекте. При заполнении сосуда водой воздух должен быть удален полностью.

Давление в испытываемом сосуде следует повышать плавно. Скорость подъема давления устанавливается в программе испытаний. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления при гидравлических испытаниях не допускается.

Время выдержки сосуда под давлением должно составлять не менее 30 мин. После выдержки давление должно быть снижено до рабочего значения, при котором проводят осмотр наружной поверхности сосуда и мест всех его соединений (особенно тщательно – мест соединений с закладными деталями). Сосуд считается выдержавшим испытания, если не обнаружено видимых повреждений и течи. Сосуд и его элементы, в которых при испытаниях выявлены дефекты, после их устранения подвергаются повторным гидравлическим испытаниям.

7 ТЕХНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

7.1 Применение ПКМ для изготовления проектируемого сосуда должно основываться на результатах технико-экономического анализа. При применении ПКМ в конкретном типе сосудов, предназначенных для хранения и транспортировки опасных грузов, необходимо проведение испытаний прототипа сосуда. Испытания прототипа и его опытная эксплуатация проводятся по программе, одобренной Регистром.

Техническое наблюдение Регистра за серийным изготовлением сосудов может проводиться после окончания испытаний прототипа сосуда и освидетельствования изготовителя сосудов в соответствии с 1.4 части I «Основные требования» Правил изготовления контейнеров в соответствии с 3.10 Правил технического наблюдения за изготовлением контейнеров.

7.2 Объем, методы и периодичность освидетельствований съемных цистерн с сосудами из ПКМ должны соответствовать требованиям 3.6 Правил технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации.

ЧАСТЬ IV. РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН (КОНТЕЙНЕРОВ-ЦИСТЕРН) МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1 ПРИМЕНЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Положения настоящей части следует применять в дополнение к части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОЯСНЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

2.1 Определения, пояснения и аббревиатуры, относящиеся к общей терминологии, приведены в 2.4 части I «Общие положения».

2.2 Определения, пояснения и аббревиатуры, приведенные в настоящем разделе, применимы только для целей настоящих НМУ.

2.3 Определения и пояснения, применимые к съемным цистернам (контейнерам-цистернам) с сосудами из металлических материалов, изложены в 1.2 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам.

Дополнительно для целей настоящей части применимы следующие определения:

Конечно-элементная модель — совокупность элементов достаточно простой геометрической формы и конечных размеров, на которые сплошно разбита конструкция, для которой численно моделируется напряженно-деформированное состояние.

Конечно-элементный решатель — программный модуль, реализующий тем или иным численным методом решение математических уравнений, соответствующих моделей поведения изделия.

Геометрическая модель КЦ — электронная модель КЦ, описывающая геометрическую форму, размеры и иные свойства конструкции.

Напряженно-деформированное состояние — множество действующих в каждой точке конструкции напряжений и деформаций в фиксируемый момент времени, возникающих из-за приложения к конструкции внешних воздействий (в том числе неравномерного поля температур).

Метод конечных элементов — сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой.

Поверхностная модель — трехмерная геометрическая модель изделия, представленная множеством ограниченных поверхностей, определяющих в пространстве форму изделия.

Твердотельная модель — трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам.

2.4 Перечень сокращений и аббревиатур:

КЦ — контейнер-цистерна (съемная цистерна).
ЭГМ — электронная геометрическая модель.
МКЭ — метод конечных элементов.
КЭМ — конечно-элементная модель.
КЭ — конечный элемент(ы).
ПМ — поверхностная модель.
ТМ — твердотельная модель.
НДС — напряженно-деформированное состояние.

3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1 Для построения расчетной МКЭ модели должны быть приведены общие технические характеристики КЦ, характеристики материалов конструкции и перечень ее основных элементов с характеристиками, необходимыми для построения КЭМ, и геометрическая модель КЦ.

3.2 Список характеристик КЦ, необходимых для проведения расчетов, представлен в табл. 3.2. Характеристики должны быть представлены в системе единиц СИ.

Таблица 3.2

Общие технические характеристики КЦ

№ п/п	Характеристики
1	Тип КЦ по классификации ООН в соответствии с 4.2.5.2.6 МКМПОГ
2	Испытательное давление в соответствии с 4.2.5.2.6 МКМПОГ и 1.2 части I «Общие положения» настоящих НМУ, МПа
3	Объем сосуда КЦ V, м^3
4	Максимально допустимая масса брутто КЦ R, кг
5	Масса тары КЦ T, кг

3.3 Перечень характеристик материалов конструкции КЦ, требуемых для проведения расчетов приведен в табл. 3.3. Характеристики материалов указываются при температуре 20°С. Характеристики материалов должны быть приведены для каждого элемента конструкции КЦ, указанного в табл. 3.4.

Таблица 3.3

Характеристики материалов конструкции КЦ

№ п/п	Характеристики
1	Наименование материала и стандарт (ГОСТ, ИСО или иной стандарт)
2	Минимальный гарантированный предел текучести для металлов с явно выраженной площадкой текучести R_e, МПа
3	Гарантированный условный предел текучести для металлов с неявно выраженной площадкой текучести $R_{p0,2}$, МПа
4	Гарантированный условный предел текучести для металлов с неявно выраженной площадкой текучести (для сталей аустенитного класса) R_{p1}, МПа
5	Минимальное гарантированное временное сопротивление используемого металла при испытании на растяжение R_m, МПа
6	Модуль упругости E, МПа
7	Минимальное гарантированное относительное удлинение используемого металла при испытании на растяжение, в соответствии с национальными или международными стандартами A_5, %
8	Коэффициент запаса прочности сварного шва (по согласованию с РС)

3.4 Для построения расчетных КЭМ должны быть приведены следующие характеристики основных элементов конструкции КЦ.

Таблица 3.4

Характеристики основных элементов конструкции КЦ

№ п/п	Наименование элемента	Характеристики
1	Обечайка	1. Толщина 2. Внутренний диаметр 3. Длина 4. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
2	Торцевые днища	1. Тип в соответствии в соответствии с национальными и/или международными стандартами 2. Толщина 3. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
3	Соединительные обвязки	1. Толщина 2. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
4	Каркас	1. Габаритные размеры в соответствии с национальными и/или международными стандартами 2. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
5	Болтовые соединения	1. Тип и размеры 2. Классы прочности в соответствии с национальными и/или международными стандартами
6	Фланцы установки сервисного оборудования	1. Размеры и толщины 2. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик

3.5 Построение расчетной КЭМ выполняется на основании электронной геометрической модели (ЭГМ) КЦ. ЭГМ представляет собой совокупность геометрических элементов и атрибутов, которые совместно определяют геометрию изделия и его свойства, зависящие от формы и размеров. В ЭГМ допускается выполнять упрощенное представление частей изделия типа отверстий, резьбы, проточек, пружин и др., используя частичное определение геометрии модели, атрибуты модели или их комбинацию.

ЭГМ используется для построения конечно-элементной сетки средствами препроцессора ПО, в котором выполняется расчет.

Возможны две формы представления ЭГМ:

.1 твердотельная модель (ТМ);

.2 поверхностная модель (ПМ).

ТМ представляет форму КЦ как результат композиции множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам.

ПМ представляет форму КЦ множеством ограниченных поверхностей, определяющих в пространстве форму изделия.

В общем случае ТМ обеспечивает всю необходимую полноту данных о геометрии КЦ. ПМ могут оказаться удобными в случае использования оболочечных элементов для моделирования элементов конструкции КЦ.

Вне зависимости от формы представления, геометрическая модель КЦ должна включать детали и компоненты конструкции, существенные с точки зрения ее физико-механического поведения при действии расчетных и испытательных нагрузок. Атрибуты модели (неграфическая информация) могут содержать существенные с точки зрения моделирования данные, например, координаты центров болтов, толщины оболочек и т.д. Следует учитывать разнообразие форматов представления геометрических моделей и версий ПО для их разработки. Для проведения расчетов

должна быть согласована возможность импортирования ЭГМ в расчетный конечно-элементный комплекс для последующего построения расчетной модели.

На рис. 3.5-1, 3.5-2 и 3.5-3 показаны возможные варианты ЭГМ.

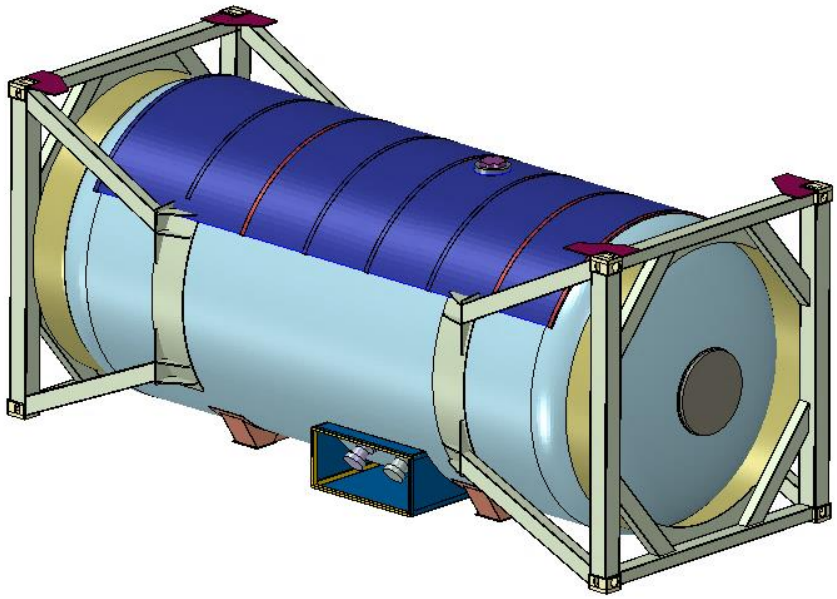


Рис. 3.5-1. Общий вид ЭГМ

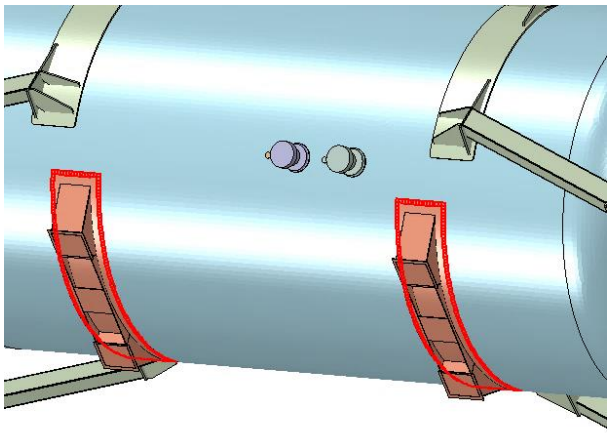


Рис. 3.5-2. Элементы конструкции КЦ, представленные твердотельными геометрическими элементами (зоны соединения емкости с каркасом, сервисное оборудование)

Рис. 3.5-3. Элементы конструкции КЦ, представленные поверхностными геометрическими элементами (сосуд)

4 РАСЧЕТНЫЕ СЛУЧАИ, НАГРУЗКИ И ДОПУСТИМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

4.1 Анализ прочности конструкции КЦ должен проводится при действии нагрузок расчетных случаев 1 — 6 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) в соответствии с требованиями 2.2.3. и 3.7.4 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам, 6.7.2.2.12, 6.7.3.2.9 и 6.7.4.2.12 МКМПОГ. Расчетные случаи 7 — 11 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) являются рекомендательными.

4.2 Нагрузки расчетных случаев 1 — 5 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) прикладываются к расчетной МКЭ модели в соответствии с требованиями 5.1.5 стандарта ИСО 1496-3, 2.2.3 и 3.7.4 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам, 6.7.2.2.12, 6.7.3.2.9 и 6.7.4.2.12 МКМПОГ. Нижние угловые фитинги должны быть закреплены по всем поступательным степеням свободы.

4.3 Испытательное давление в расчетном случае 6 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) прикладывается к внутренним поверхностям цистерны, включая внутренние поверхности фланцев и крышек сервисного оборудования. Величина испытательного давления определяется в соответствии с типом контейнера, согласно 4.2.5.2.6 МКМПОГ. Помимо испытательного давления к расчетной МКЭ модели прикладывается нагрузка от действия допустимой массы брутто R в соответствии с требованиями 5.1.6 стандарта ИСО 1496-3. Нижние угловые фитинги должны быть закреплены по всем поступательным степеням свободы.

4.4 Нагрузки расчетных случаев 7 — 11 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) и граничные условия (закрепления) прикладываются к расчетной МКЭ модели в соответствии с требованиями Приложения А стандарта ИСО 1496-3.

4.5 Величины допускаемых напряжений для расчетных случаев 1 — 5 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) определяются в соответствие с требованиями 2.2.4 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам, 6.7.2.2.13, 6.7.3.2.10 и 6.7.4.2.13 МКМПОГ. Для расчетного случая 6 (см. табл. 4.6 настоящей части НМУ) допускаемые напряжения определяются в соответствии с требованиями 3.7.7 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам.

4.6 Для определения допускаемых напряжений при действии нагрузок расчетных случаев 7 — 11 (см. табл. 4.6) величина коэффициента безопасности должна быть согласована с РС.

Таблица 4.6

Расчетные случаи нагружения конструкции КЦ и допустимые напряжения

№ п/п	Наименование расчетного случая	Допустимые напряжения $[\sigma]$
1	Действие инерционной нагрузки $2Rg$ (при проектировании контейнеров-цистерн для неопасных грузов) в направлении движения	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1{,}5$
2	Действие инерционной нагрузки $4Rg$ в направлении движения (при проектировании контейнеров-цистерн для опасных грузов)	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$
3	Действие инерционной нагрузки Rg горизонтально под прямыми углами к направлению движения ($2Rg$, если направление	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1{,}5$

№ п/п	Наименование расчетного случая	Допустимые напряжения $[\sigma]$
	движения точно не установлено)	
4	Действие инерционной нагрузки Rg вертикально снизу вверх	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1{,}5$
5	Действие инерционной нагрузки $2Rg$ вертикально сверху вниз	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1{,}5$
6	Действие испытательного давления	$0{,}75R_e(0{,}75R_{p0,2};\ 0{,}75R_{p1})$ или $0{,}5R_m$, в зависимости от того, что меньше. $0{,}375R_m$ — для металлов, характеризующихся только минимальным гарантированным временным сопротивлением
7	Подъем за верхние угловые фитинги	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$
8	Подъем за нижние угловые фитинги	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$
9	Штабелирование	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$
10	Поперечный перекос	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$
11	Продольный перекос	$R_e(R_{p0,2};\ R_{p1})/1$

5 КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ

5.1 При построении расчетной КЭМ, проведения расчетов и последующего представления их результатов должны быть выделены расчетные зоны конструкции: регулярные зоны, зоны сварных и болтовых соединений. Примеры указанных зон приведены на рис. 5.1-1 — 5.1-6.

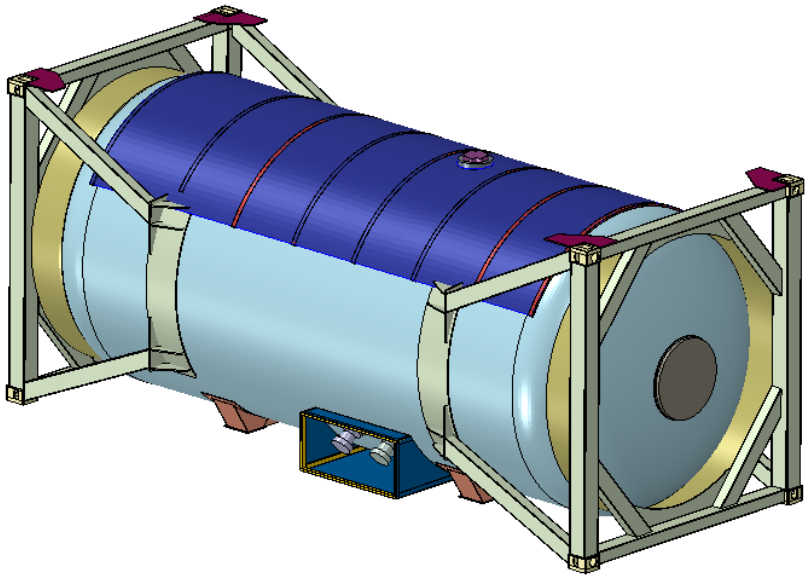


Рис. 5.1-1. Общий вид конструкции КЦ

Рис. 5.1-2. Сосуд КЦ

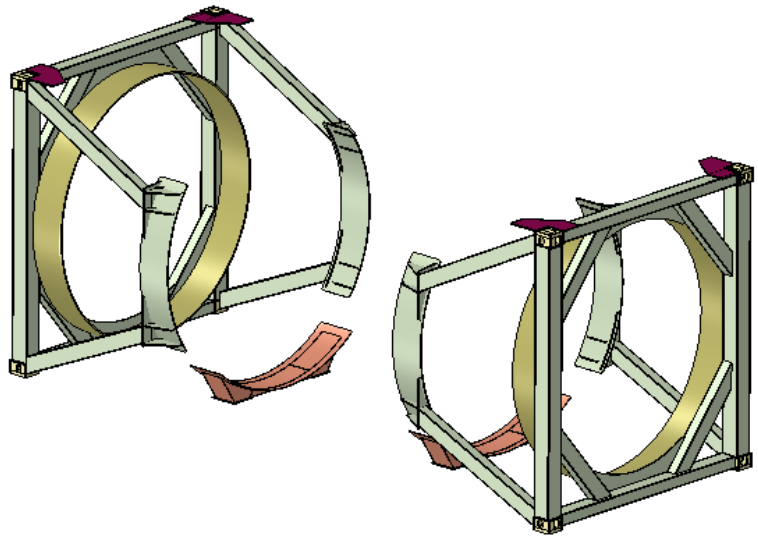


Рис. 5.1-3. Каркас КЦ

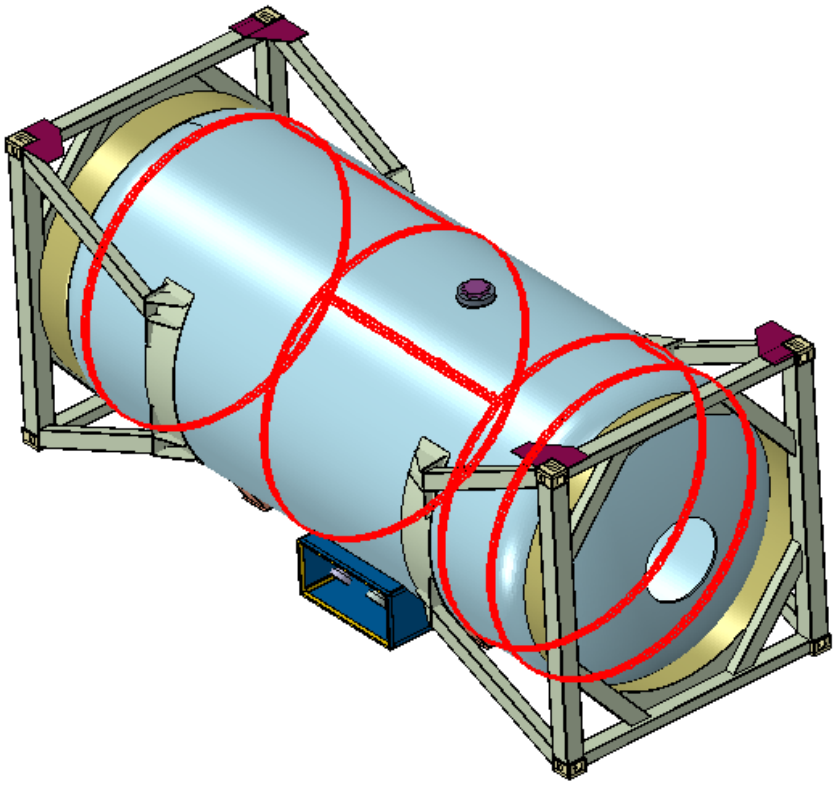


Рисунок 5.1-4. Зоны сварных швов цистерны

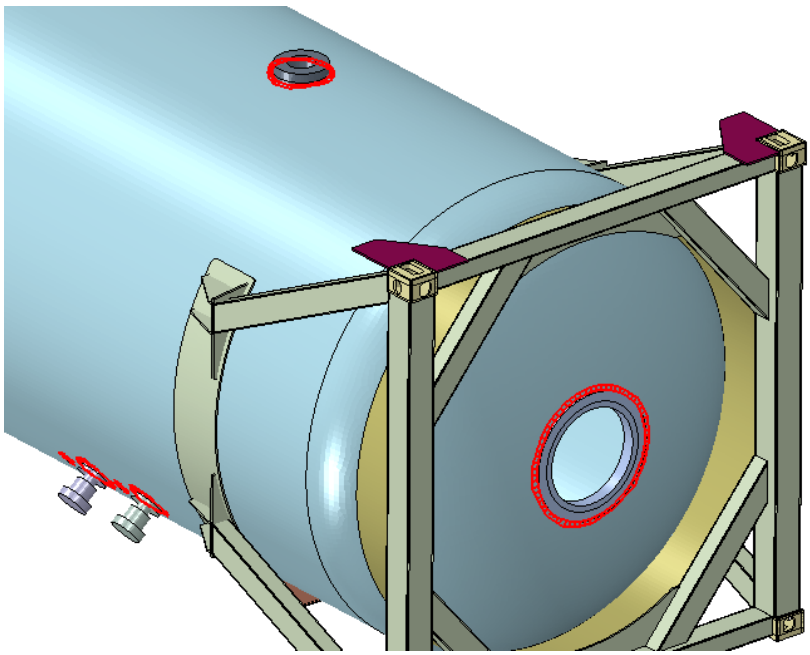


Рисунок 5.1-5. Зоны вваривания фланцев в цистерну

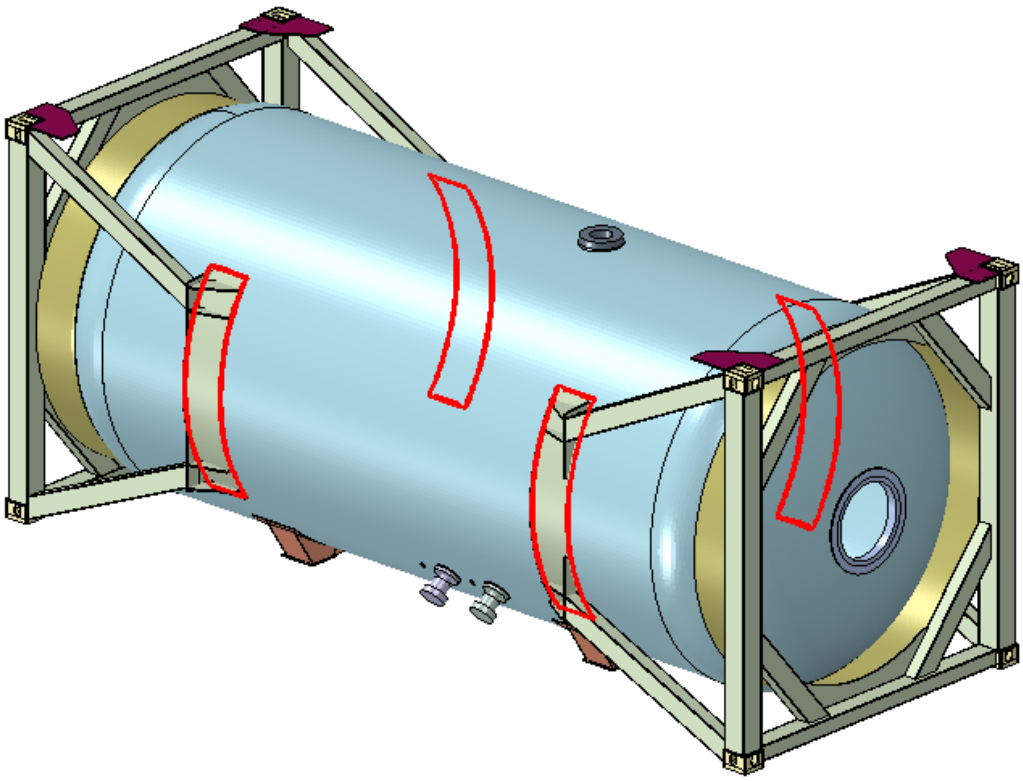


Рис. 5.1-6. Зоны сварного соединения цистерны и каркаса

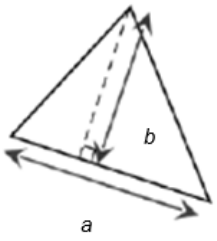
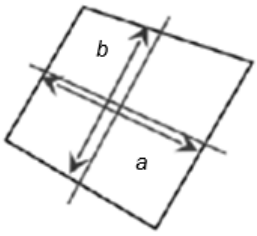
5.2 Идеализация конструкции КЦ в расчетной модели, качество конечно-элементной сетки и выбор типов конечных элементов должны обеспечивать достоверный расчет действующих напряжений. Для обеспечения качества сетки и точности расчетов должны быть выполнены критерии приведенные в табл. 5.2-1 и 5.2-2 для наиболее распространенных вариантов треугольных и четырехугольных двумерных (оболочечных) элементов, и шестигранных трехмерных (твердотельных) элементов. В дополнение к критериям, указанным в табл. 5.2-1 и 5.2-2, конечно-элементные сетки должны удовлетворять следующим требованиям:

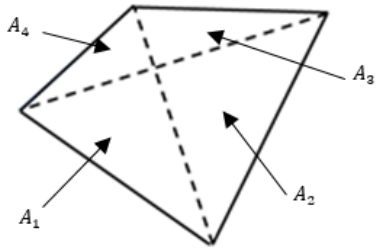
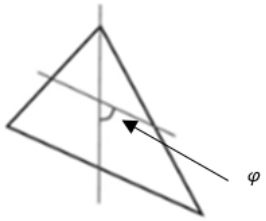
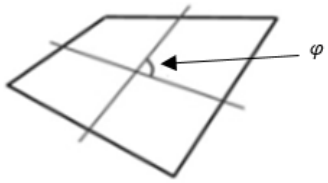
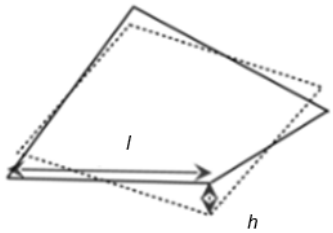
.1 число треугольных элементов в оболочечных моделях не должно превышать 5 %;

.2 не рекомендуется использование тетраэдральных элементов в твердотельных моделях.

Таблица 5.2-1

Критерии формы оболочечных конечных элементов

Критерий	Определение критерия	Допустимое значение критерия
Соотношение длин сторон (*Aspect Ratio*)	Треугольные элементы: Отношение высоты треугольника к его стороне (максимальное значение)  $Aspect\ ratio = \sqrt{3}a/2b$	≤ 5,0
Соотношение длин сторон (*Aspect Ratio*)	Четырехугольные элементы: Отношение длин отрезков, соединяющих середины противоположных сторон элемента  $Aspect\ ratio = \max(a,b)/\min(a,b)$	≤ 5,0
Конусность (*Taper*)	Определяет минимальное соотношение размеров треугольников, полученных точкой пересечения диагоналей элемента, к общему размеру элемента	≤ 0,5

Критерий	Определение критерия	Допустимое значение критерия
	 $Taper = 4\ \frac{\min(A_1, A_2, A_3, A_4)}{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}$	
Перекос (*Skew*)	Треугольные элементы: Минимальный угол между медианой и средней линией 	≥ 10°
Перекос (*Skew*)	Четырехугольные элементы: Минимальный угол между линиями, соединяющими середины сторон 	≥ 10°
Искривление (*Warping*)	Отношение расстояния между вершинами рассматриваемого элемента и вершиной соответствующего «плоского элемента» к длине стороны элемента  $Warping = \max(h/l) < 5\%$	≤ 0,05
Фактор формы (*Shape factor*)	Отношение площади треугольного элемента к площади равностороннего треугольника, имеющего ту же описанную окружность	0,01

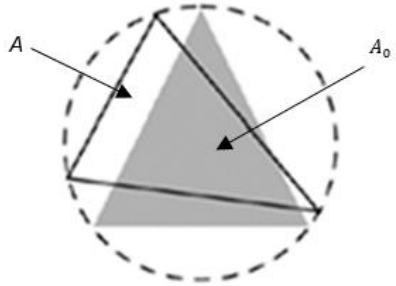
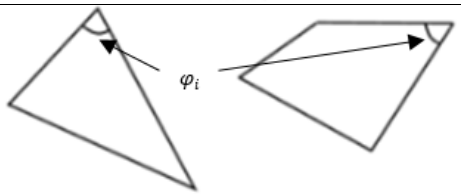
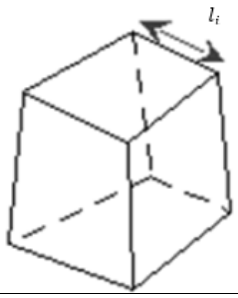
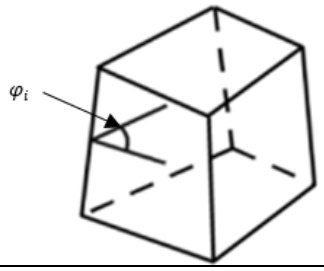
Критерий	Определение критерия	Допустимое значение критерия
		
Наименьший и наибольший внутренний угол (*Smaller and larger face corner angle*)		φ_{min} = 10° φ_{max} = 160°
Якобиан (*Jacobian*)	Определяется оператором преобразования геометрии элемента к «идеальной» форме (например, равносторонний треугольник или квадрат) и характеризует степень отклонения от этой формы	≤ 0,6

Таблица 5.2-2

Критерии формы твердотельных конечных элементов

Критерий	Определение критерия	Допустимое значение критерия
Соотношение длин сторон (*Aspect Ratio*)		≤ 10
Наименьший и наибольший внутренний угол		≤ 160°
Якобиан (*Jacobian*)	Определяется оператором преобразования геометрии элемента к «идеальной» форме и характеризует степень отклонения от этой формы	≤ 0,6

5.3 Для расчета НДС вокруг отверстий рекомендуется построение не менее 6-ти элементов по длине дуги разворотом 90° и не менее 3-х элементов в радиальном направлении (см. рис. 5.3).

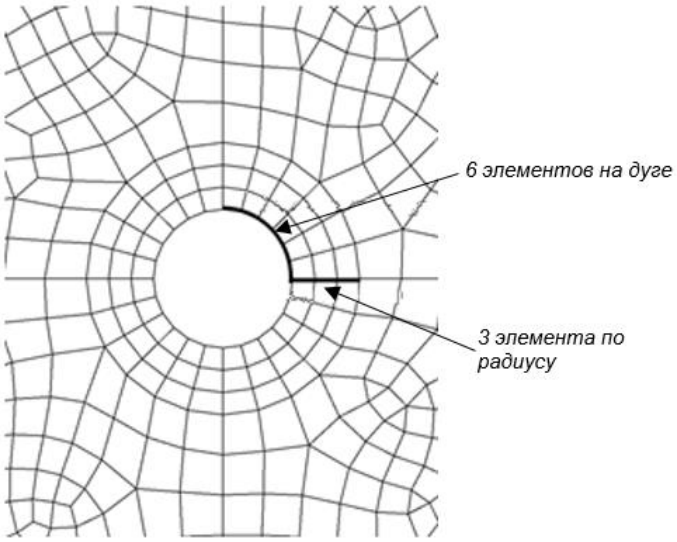


Рис. 5.3. Сетка в области отверстия

5.4 В местах скруглений поверхностей модели рекомендуется использовать не менее 4-х элементов (см. рис. 5.4).

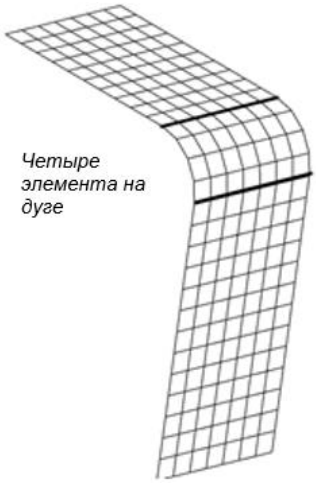


Рис. 5.4. Сетка в области скруглений поверхностей модели

5.5 Для обоснования выбора размеров и типов конечных элементов при построении сетки должна быть выполнена серия расчетов, показывающая сходимость результатов при изменении размеров и типов КЭ. Такое изменение должно асимптотически приводить к решению, относительно которого последующие изменения сетки не оказывают существенного влияния на результаты расчетов.

5.6 Моделирование сварных соединений выполняется путем задания кинематических связей между узлами соединяемых поверхностей элементов конструкции КЦ. Соединение узлов осуществляется через наложение ограничений в виде равенств поступательных (перемещения) и/или вращательных (повороты) степеней свободы узлов управляющей поверхности (*master*) степеням свободы узлов управляемой поверхности (*slave*) как показано на рис. 5.6-1 и 5.6-2. В виду того, что твердотельные КЭ не имеют вращательных степеней свободы, соединение двумерных и твердотельных поверхностей осуществляется только по поступательным степеням свободы (см. рис. 5.6-1, *б*).

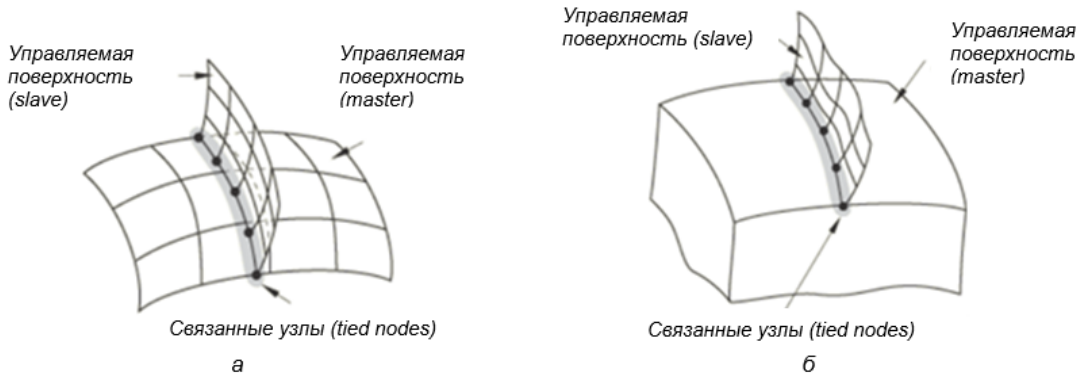


Рис. 5.6-1. Моделирование таврового сварного соединения двумерных (*а*), двумерной и твердотельной поверхностей (*б*)

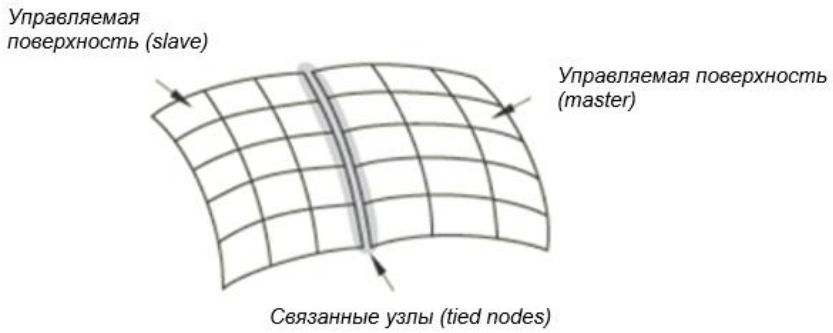


Рис. 5.6-2. Моделирование стыкового сварного соединения двумерных поверхностей

Соединение поверхностей осуществляется в пределах допуска, заданного относительно расположения узлов управляющей поверхности, см. рис. 5.6-3.

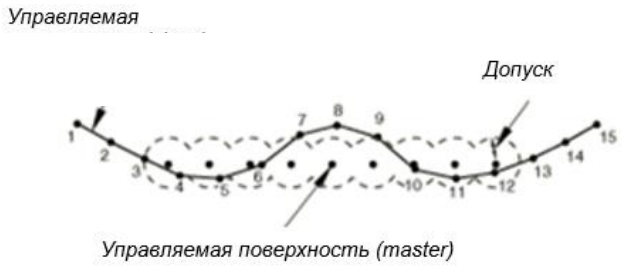


Рис. 5.6-3. Определение допуска для соединения поверхностей

При моделировании сварных соединений элементов конструкции КЦ необходимо принимать во внимание возможные концентрации напряжений в зонах соединений.

5.7 Моделирование болтовых и заклепочных соединений элементов конструкции КЦ выполняется с целью определения величин усилий и моментов, действующих на соединительные элементы (болты, заклепки). Расчет напряжений в соединительных и соединяемых элементах конструкции выполняется с использованием этих величин в соответствии с национальными или международными стандартами.

5.8 Моделирование болтовых соединений выполняется с использованием балочных КЭ или специальных коннекторов. Допускается использование жестких (недеформируемых) элементов. Данные элементы накладывают связи на перемещения узлов конечно-элементной сетки соединяемых деталей конструкции КЦ в окрестности соединения, задаваемой радиусом влияния, см. рис. 5.8. Каждая связь определяется в локальной системе координат болта (заклепки), в которой вычисляются величины усилий и моментов, действующих на соединительные элементы. Расположение соединительных элементов (например, *A*, *B* и *C* на рис. 5.8, *б*) определяется в соответствии с конструкторской документацией и не зависит от расположения узлов конечно-элементной сетки соединяемых элементов конструкции КЦ.

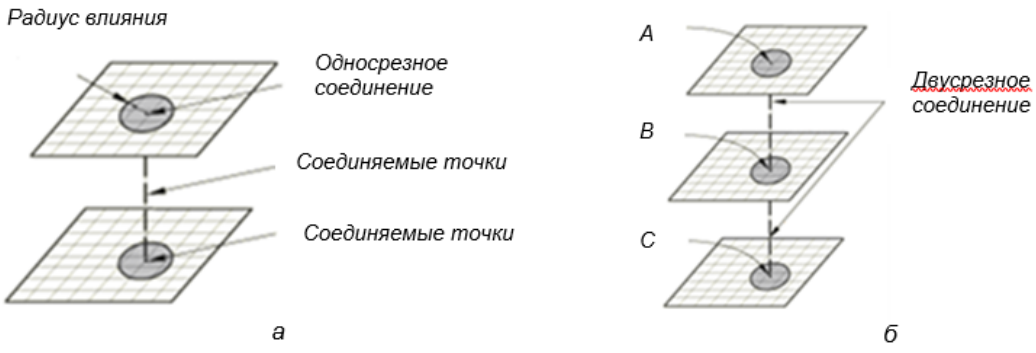


Рис. 5.8. Моделирование односрезного (*а*) и двусрезного (*б*) соединений

5.9 Расчет контактных взаимодействий должен выполняться для зон болтовых (заклепочных) соединений элементов конструкции КЦ. Среди двух взаимодействующих поверхностей должны быть выделены управляющая (*master*) и управляемая (*slave*) поверхности.

При построении конечно-элементной сетки на взаимодействующих поверхностях необходимо обеспечить отсутствие проникновения узлов (перехлестов) управляющей поверхности за управляемую поверхность (см. рис. 5.9-1) для исключения локализации

контактных напряжений. В случае, когда исключить подобные пересечения не представляется возможным, необходимо привести узлы контактных поверхностей к положению без пересечений (см. рис. 5.9-2) без генерации контактных напряжений средствами конечно-элементного решателя до начала расчета.

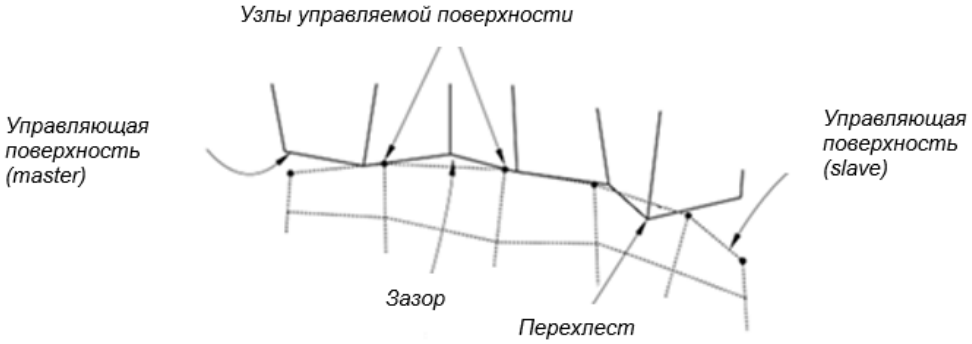


Рис. 5.9-1. Пример исходного взаимного расположения контактных поверхностей

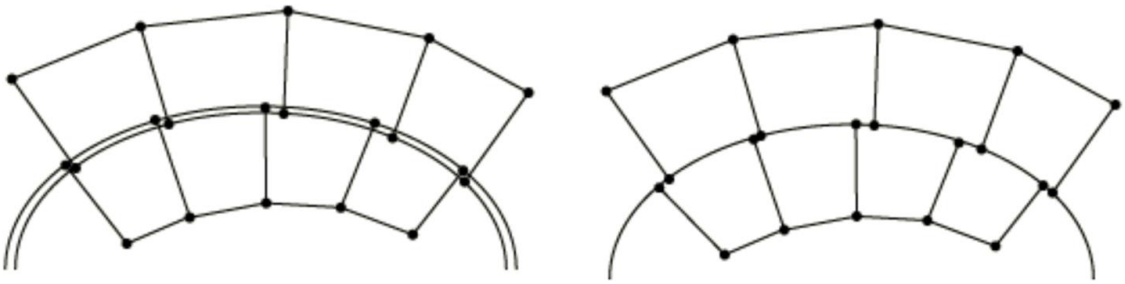


Рис. 5.9-2. Приведение узлов контактных поверхностей к положению без пересечений до начала расчета

5.10 Для детального расчета прочности зон сервисного оборудования рекомендуется использовать метод глобально-локального моделирования. Этот метод позволяет транслировать перемещения узлов глобальной оболочечной модели КЦ как граничные условия для детальной локальной модели. Схема взаимного расположения узлов глобальной и локальной моделей показаны на рис. 5.10. Локальная модель может быть представлена как оболочечными конечными элементами меньшего размера, так и твердотельными элементами.

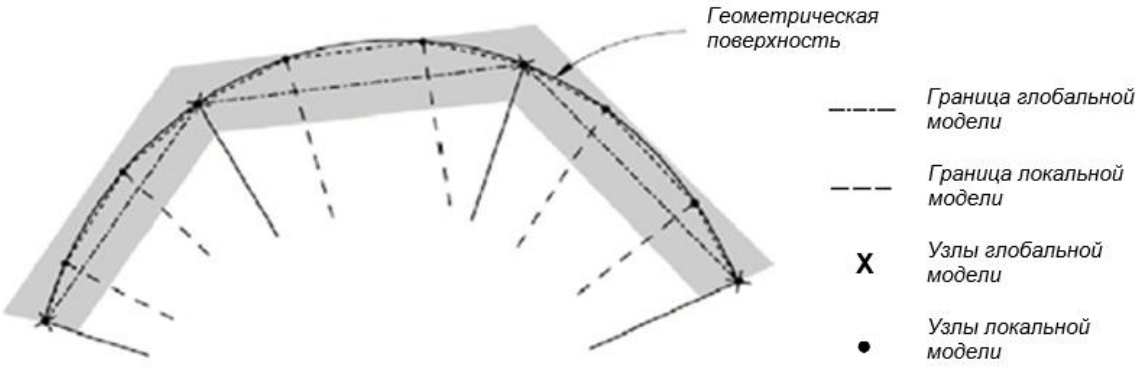


Рис. 5.10. Схематичное представление узлов локальной и глобальной моделей

6 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

6.1 В виду сложного напряженного состояния конструкции КЦ в качестве эквивалентных действующих напряжений $\sigma_{экв}$ при анализе прочности для расчетных случаев 1 — 5 и 7 — 11 (см. табл. 4.6) принимаются напряжения по Мизесу.

6.2 Для расчетного случая 6 (см. табл. 4.6 настоящих НМУ) в соответствии с требованиями 3.7.7 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам в качестве эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ принимаются максимальные мембранные (максимальные главные напряжения).

6.3 В техническом отчете о расчетах МКЭ необходимо представить детальные результаты расчетов каждой из расчетных зон, указанных в табл. 3.4 настоящей части НМУ. В результатах расчета графически представляется распределение действующих напряжений.

6.4 Необходимо представить сводку результатов расчетов в форме таблицы минимальных значений коэффициентов запасов прочности. Коэффициент запаса прочности вычисляется как отношение допустимых напряжений и действующих эквивалентных напряжений

$$K = \frac{[\sigma]}{\sigma_{экв}}. \qquad (6.4)$$

Выполнению требований прочности соответствует условие $K \geq 1$. Значения коэффициента запаса прочности представляются для всех расчетных зон конструкции КЦ.

7 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОТЧЕТА О РЕЗУЛЬТАТАХ РАСЧЕТОВ МКЭ ПРОЧНОСТИ СЪЕМНЫХ ЦИСТЕРН

7.1 Технический отчет о результатах расчетов МКЭ должен включать следующие разделы:

.1 нормативные ссылки;

.2 общие технические характеристики конструкции КЦ;

.3 характеристики материалов конструкции КЦ;

.4 характеристики основных элементов конструкции КЦ;

.5 описание электронной геометрической модели КЦ;

.6 расчетные случаи и допустимые напряжения;

.7 расчетные зоны конструкции КЦ;

.8 описание конечно-элементной модели КЦ;

.9 результаты расчетов для регламентированных (и рекомендованных) расчетных случаев;

.10 итоговая сводка расчетных значений коэффициентов запаса прочности с указанием части конструкции КЦ;

.11 библиография.

ЧАСТЬ V. РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ОФШОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1 ПРИМЕНЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Положения настоящей части следует применять в дополнение к части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОЯСНЕНИЯ И АББРЕВИАТУРЫ

2.1 Определения, пояснения и аббревиатуры, относящиеся к общей терминологии, приведены в 2.4 части I «Общие положения» и 2.2 части IV «Контейнеры-цистерны».

2.2 Определения, пояснения и аббревиатуры, приведенные в настоящем разделе, применимы только для целей настоящего документа.

2.3 Определения и пояснения, применимые к офшорным контейнерам, изложены в 1.2 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам и части IV «Расчеты прочности конструкций съемных цистерн (контейнеров-цистерн) методом конечных элементов» настоящих НМУ.

2.4 Перечень сокращений и аббревиатур:

ОК — офшорный контейнер.

3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1 Для проведения расчетной оценки прочности рамы ОК должны быть заданы общие технические характеристики, характеристики материалов рамы конструкции ОК, геометрическая модель конструкции рамы ОК, геометрические характеристики элементов крепления (рымов, вилочных карманов).

3.2 Список характеристик ОК, необходимых для проведения расчетов, представлен в табл. 3.2. Характеристики должны быть представлены в системе СИ.

Таблица 3.2

Общие технические характеристики ОК

№ п/п	Характеристики
1	Максимальная масса брутто ОК R, кг
2	Масса силового каркаса T, кг
3	Масса подъемного приспособления S, кг

3.3 Перечень характеристик материалов конструкции ОК, требуемых для проведения расчетов приведен в табл. 3.3. Характеристики материалов указываются при температуре 20°С. Характеристики материалов должны быть приведены для каждого элемента конструкции рамы ОК, указанного в табл. 3.4.

Таблица 3.3

Характеристики материалов конструкции ОК

№ п/п	Характеристики
1	Наименование материала и стандарт (ГОСТ, ИСО или иной стандарт)
2	Минимальный гарантированный предел текучести для металлов с явно выраженной площадкой текучести R_e, МПа
3	Модуль упругости E, МПа
4	Плотность материала ρ, кг/м^3

3.4 Для построения расчетных МКЭ моделей должны быть приведены следующие характеристики элементов конструкции ОК.

Таблица 3.4

Элементы основной и вспомогательной несущей конструкции ОК

№ п/п	Наименование элемента	Характеристики
1	Верхние и нижние продольные балки	1. Тип сечения балки 2. Геометрические характеристики сечения 3. Ориентация сечения балки в глобальной системе координат 4. Положение балки в пространстве (координаты точки начала и конца балки) 5. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
2	Верхние и нижние торцевые балки	1. Тип сечения балки 2. Геометрические характеристики сечения 3. Ориентация сечения балки в глобальной системе координат 4. Положение балки в пространстве (координаты точки начала и конца балки) 5. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик

№ п/п	Наименование элемента	Характеристики
3	Угловые стойки	1. Тип сечения стойки 2. Геометрические характеристики сечения 3. Ориентация сечения стойки в глобальной системе координат 4. Положение стойки в пространстве (координаты точки начала и конца балки) 5. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик
4	Подъемные рымы	1. Координаты расположения рымов в силовом каркасе. 2. Кратчайшее расстояние от центра отверстия в подъемном рыме до края подъемного рыма H, мм 3. Диаметр отверстия в подъемном рыме D_H, мм 4. Толщина подъемного рыма без учета толщины накладок t_1, мм 5. Толщина подъемного рыма с учетом накладок t_2, мм 6. Минимальное значение предела текучести материала рыма R_e, МПа 7. Угол наклона подъемных приспособлений относительно вертикали α, град
5	Карманы для вилочного погрузчика	1. Полная площадь сечения балки в месте расположения вилочного кармана A_1, мм^2 2. Площадь сечения балки над вилочным карманом в месте расположения вилочного кармана A_2, мм^2
6	Элементы вспомогательной несущей конструкции	1. Геометрические характеристики. 2. Конструкционный материал(ы) с указанием характеристик

3.5 Построение расчетной КЭМ несущей конструкции ОК выполняется на основе электронной геометрической модели (ЭГМ). ЭГМ представляет собой совокупность геометрических элементов и атрибутов, которые совместно определяю несущую конструкцию ОК. При расчете прочности несущей конструкции ОК допускается применять балочную модель, определяемую координатами узлов, задающих положение начала и конца балок и стоек, геометрическими характеристиками и ориентациями их сечений в глобальной системе координат ОК.

4 РАСЧЕТНЫЕ СЛУЧАИ И КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ

4.1 Анализ прочности несущей конструкции ОК проводится при действии нагрузок расчетных случаев, приведенных в табл. 4.1 настоящей части НМУ. Перечень расчетных случаев определяется в соответствии с требованиями стандарта ИСО 10855-1:2018 и 3.1.2 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам.

Таблица 4.1

Расчетные случаи нагружения конструкции ОК и критерии прочности

№ п/п	Наименование расчетного случая	Методы расчета прочности	Критерии прочности
1	Подъем за четыре рыма	1. Расчет МКЭ прочности элементов несущей конструкции ОК 2. Аналитические расчеты прочности подъемных рымов 3. Аналитические расчеты прочности нижних продольных балок при наличие вилочных карманов в конструкции контейнера	1. $\sigma_e \leq 0{,}85\ R_e$ 2. Напряжение на разрыв $R_e \geq \frac{3 \cdot F}{2 \cdot H \cdot t_1 - D_H \cdot t_1}$ Контактное напряжение $R_e \geq 23{,}7 \cdot \sqrt{\frac{F}{D_H \cdot t_2}}$ 3. $\tau_e \leq 0{,}58 \cdot 0{,}85 \cdot R_e$
2	Подъем за два рыма	1. Расчет МКЭ прочности элементов несущей конструкции ОК 2. Аналитические расчеты прочности подъемных рымов 3. Аналитические расчеты прочности нижних продольных балок при наличие вилочных карманов в конструкции контейнера	1. $\sigma_e \leq 0{,}85\ R_e$ 2. Напряжение на разрыв $R_e \geq \frac{3 \cdot F}{2 \cdot H \cdot t_1 - D_H \cdot t_1}$ Контактное напряжение $R_e \geq 23{,}7 \cdot \sqrt{\frac{F}{D_H \cdot t_2}}$ 3. $\tau_e \leq 0{,}58 \cdot 0{,}85 \cdot R_e$
3	Подъем за вилочные карманы	Аналитические расчеты прочности нижних продольных балок в местах установки вилочных карманов	$\tau_e \leq 0{,}58 \cdot 0{,}85 \cdot R_e$
4	Горизонтальный удар	Расчет МКЭ прочности элементов несущей конструкции ОК	$\sigma_e \leq R_e,\ d \leq \frac{l_n}{250}$
5	Вертикальный удар	Расчет МКЭ прочности элементов несущей конструкции ОК	$\sigma_e \leq R_e,\ d \leq \frac{l_n}{250}$

№ п/п	Наименование расчетного случая	Методы расчета прочности	Критерии прочности
Примечание. В таблице используются следующие обозначения: σ_e — эквивалентное напряжение по Мизесу, определенное в элементе несущей конструкции ОК расчетом МКЭ или аналитически, МПа; τ_e — касательное напряжение, определенное в элементе несущей конструкции ОК расчетом МКЭ или аналитически, МПа; R_e — минимальный гарантированный предел текучести для металлов с явно выраженной площадкой текучести, МПа; d — прогиб балки (смещение точки балки в плоскости, перпендикулярной ее центральной линии), мм; l_n — для случая подъема КЦ с помощью подъемного приспособления — длина пролета балки; для случаев ударных нагрузок — длина стойки, нижней продольной балки основания, боковой или торцевой балки или длина самого короткого участка, разделенного другим элементом контейнера (для цельного элемента — фактическая длина) для прочих балок (см. 3.1.4 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам, а также согласно 5.2.3.2 стандарта ИСО 10855-1:2018), мм; H — кратчайшее расстояние от центра отверстия в подъемном рыме под болт до края подъемного рыма, мм; t_1 — толщина подъемного рыма мм. Толщина накладных колец (при наличии) не учитывается; t_2 — толщина подъемного рыма с учетом накладных колец (при наличии), мм; D_H — диаметр отверстия в подъемном рыме, мм.			

Пояснения к геометрическим характеристикам подъемного рыма приводятся на рис. 4.1.

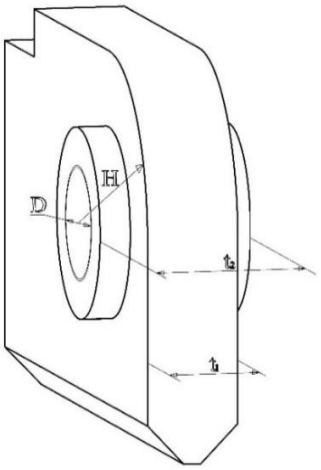


Рис. 4.1 Подъемный рым

5 МКЭ РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ

5.1 Подъем с помощью подъемного приспособления.

Исходными данными для расчета являются:

.1 геометрическая модель силового каркаса контейнера;
.2 номинальная грузоподъемность контейнера;
.3 масса силового каркаса;
.4 положения точек крепления строп к силовому каркасу;
.5 характеристики материалов балок силового контейнера;
.6 угол наклона строп α относительно вертикали ($0° < \alpha \leq 45°$).

Все подъемные приспособления закрепляются в одной точке — точке подъема. Расчетная нагрузка F_1 равномерно распределяется по балкам пола ОК (см. рис. 5.1.1 и 5.1.2). Собственная масса ОК T, задается как массовая сила, распределенная по объему конструкции

В результате расчетов определяются эффективные напряжения в силовых элементах каркаса, а также прогибы балок каркаса. Проверка выполнения условий прочности осуществляется согласно критериям, приведенным в табл. 4.1.

5.1.1 Подъем за 4 рыма.

Расчетная нагрузка на конструкцию ОК согласно 5.2.2.2 стандарта ИСО 10855-1:2018 определяется выражением:

$$F_I = (2.5 \cdot R - T) \cdot g, \qquad (5.1.1)$$

где R – максимальная масса брутто ОК, кг;
T – собственная масса ОК, кг;
g – ускорение свободного падения, 9,80665 м/с^2.

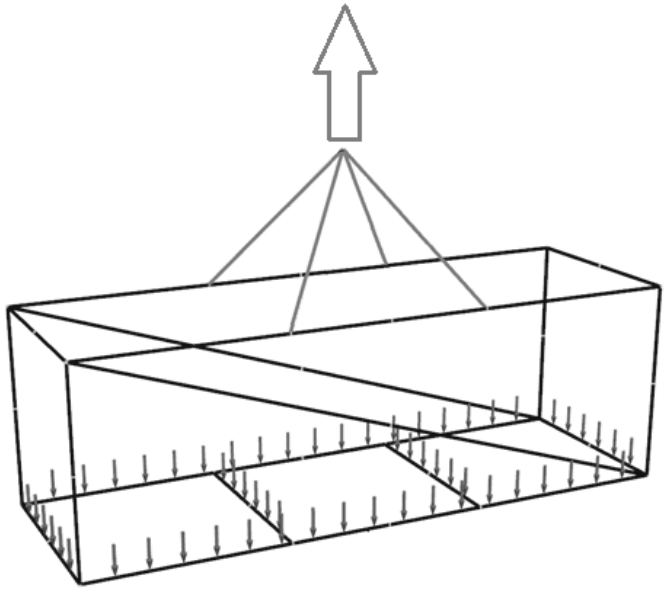


Рис. 5.1.1. Расчетная схема – поднятие за 4 рыма

5.1.2 Подъем за 2 рыма.

Согласно 7.3.3 стандарта ИСО 10855-1:2018 прочность ОК, оснащенных четырьмя

подъемными рымами, следует проверять также в случае подъема за два рыма, расположенных по диагонали, напротив друг друга (см. рис. 5.1.2 настоящих НМУ). Расчетная нагрузка F_I, согласно 7.3.3 стандарта ИСО 10855-1:2018 определяется выражением:

$$F_I = (1.5 \cdot R - T) \cdot g. \qquad (5.1.2)$$

Если конструкция рамы не является симметричной, расчет следует проводить для каждой пары противоположных подъемных рымов.

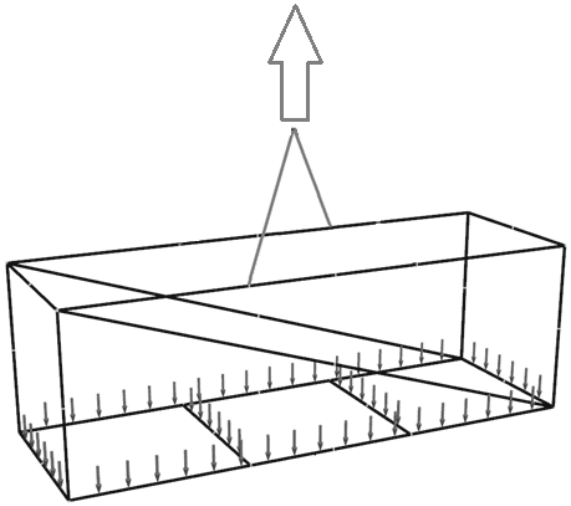


Рис. 5.1.2. Расчетная схема – поднятие за 2 рыма

5.2 Ударные нагрузки.

Согласно 5.2.3.1 стандарта ИСО 10855-1:2018 расчет прочности несущей конструкции ОК при действии ударных нагрузок может выполняться по упрощенной схеме, где расчет каждой балки рамы выполняется независимо. Рекомендуется применять расчетную схему, включающую элементы конструкции, непосредственно связанные с рассматриваемой балкой.

На рис. 5.2 настоящих НМУ синим цветом обозначена анализируемая балка, серым — смежные балки, красные параллелепипеды — точки закрепления. Задача анализа ударной прочности заменяется статически эквивалентной задачей расчета изолированной балки на упругом основании. Все узлы, не принадлежащие анализируемой балке, закрепляются по всем степеням свободы.

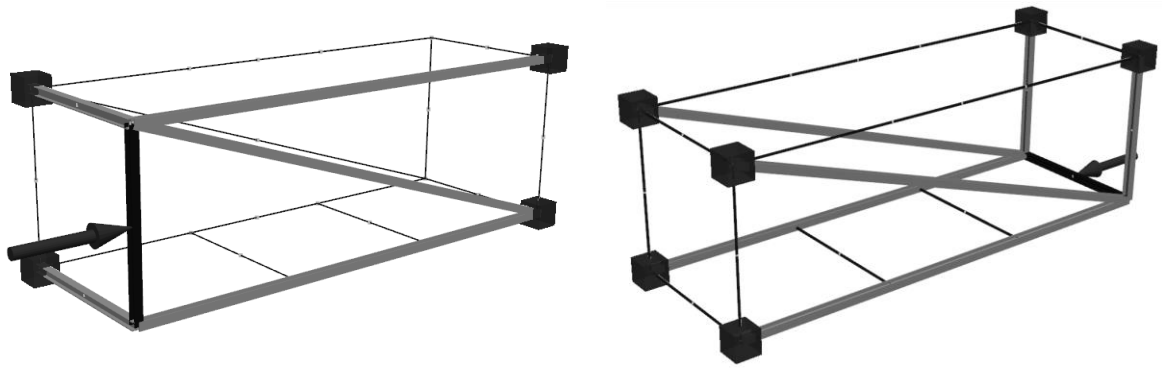


Рис. 5.2. Пример схемы расчетов на ударные нагрузки

Исходными данными для расчета являются:

геометрическая модель несущей конструкции ОК;

максимальная масса брутто ОК R;

характеристики материалов элементов несущей конструкции ОК.

В результате расчетов определяются эффективные напряжения и прогибы всех балок поочередно. Проверка условий прочности проводится по критериям табл. 4.1 настоящей части НМУ.

5.2.1 Горизонтальный удар.

Согласно 5.2.3.2 стандарта ИСО 10855-1:2018 к балкам рамы ОК прикладываются статически эквивалентные горизонтальные силы:

.1 $0{,}25R_g$ — к продольным балкам основания и стойкам;

.2 $0{,}15R_g$ — к остальным балкам.

Силы прикладываются перпендикулярно осям элементов. К угловым стойкам силы могут быть приложены в произвольном направлении. Точка приложения силы по длине элемента может быть выбрана произвольно.

5.2.2 Вертикальный удар.

Согласно 5.2.3.3 стандарта ИСО 10855-1:2018 к балкам рамы ОК прикладываются статически эквивалентные вертикальные силы:

.1 $0{,}25R_g$ — к продольным и торцевым балкам основания.

Силы прикладываются в центрах пролетов балок.

6 АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ

6.1 Расчет прочности подъемных рымов.

Результирующая сила F, действующая на подъемный рым, согласно 5.2.2 стандарта ИСО 10855-1:2018 и 2.2.2 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам, определяется выражением:

$$F = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n-1) \cdot \cos\ \alpha}, \qquad (6.1)$$

где R – максимальная масса брутто ОК,
g – ускорение свободного падения, 9,80665 м/с^2,
α – угол наклона строп относительно вертикали ($0^\circ < \alpha \leq 45^\circ$),
n – количество подъемных рымов.

Расчет производится согласно 2.2.3 и 2.2.4 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам. Оценка прочности выполняется согласно критериям, приведенным в табл. 4.1 настоящей части НМУ.

6.2 Расчет прочности нижних продольных балок при наличии вилочных карманов.

Расчет выполнятся согласно требованиям 3.1.9 части VII «Офшорные контейнеры» Правил изготовления контейнеров Сборника правил по контейнерам. Нижние продольные балки, при наличие вилочных карманов в конструкции контейнера, должны выдерживать напряжения сдвига, возникающие в вертикальных сечениях над и под вилочным карманом (см. рис. 6.2 настоящей части НМУ).

При подъеме ОК за рымы, напряжение сдвига в вертикальных сечениях балок определяются выражением:

$$\tau_e = \frac{F_p}{A_1}, \qquad (6.2)$$

где $F_p = \frac{2{,}5 \cdot R \cdot g}{2}$ – сила сдвига, возникающая в одной нижней продольной балке при подъеме контейнера за четыре подъемных рыма, H;
A_1 – площадь вертикального сечения над и под карманом для вилочного погрузчика (рис. 6.2), мм^2.

Оценка прочности выполняется согласно критериям, приведенным в табл. 4.1.

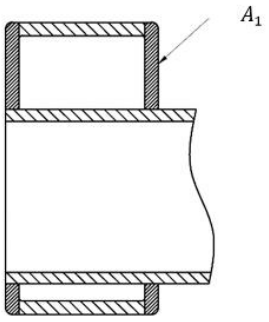


Рис. 6.2. Схема определения площади сечения в опасных вертикальных сечениях нижних продольных балок при наличии вилочных карманов

6.3 Расчет прочности нижних продольных балок при подъеме ОК за вилочные карманы.

Напряжение сдвига в вертикальных сечениях балок определяется выражением:

$$\tau_e = \frac{F_f}{A_2}, \quad (6.3\text{-}1)$$

где F_f – сила сдвига, возникающая при подъеме контейнера за вилочные карманы, Н.

Для груженого контейнера $F_f = \frac{1{,}6 \cdot (R+S) \cdot g}{2}$; (6.3-2)

для пустого контейнера $F_f = \frac{0625 \cdot (R+S) \cdot g}{2}$, (6.3-3)

где S – масса подъемного приспособления, кг;

A_2 – площадь вертикального сечения над карманом для вилочного погрузчика (см. рис. 6.3), мм^2.

Оценка прочности выполняется согласно критериям, приведенным в табл. 4.1.

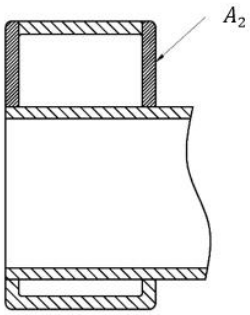


Рис. 6.3. Схема определения площади сечения над вилочным карманом

7 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОТЧЕТА О РЕЗУЛЬТАТАХ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ

7.1 Технических отчет о результатах расчетов прочности ОК включает следующие разделы:

.1 нормативные ссылки;
.2 общие технические характеристики;
.3 характеристики материалов конструкции;
.4 характеристики основных элементов конструкции;
.5 описание электронной геометрической модели;
.6 расчетные случаи и допустимые напряжения;
.7 расчетные зоны конструкции;
.8 описание конечно-элементной модели;
.9 результаты расчетов для регламентированных расчетных случаев;
.10 библиография.

ПРИЛОЖЕНИЕ
(Справочные материалы)

ПЕРЕЧЕНЬ НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ СОСУДОВ

(Нижеуказанные нормативные документы являются действующими на 2020 год. При их использовании необходимо проверить статус их действия на момент применения).

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

1. ГОСТ 12.0.004-2015. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
2. ГОСТ 12.1.001-89 ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.2.013.0-91. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытаний.
4. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
5. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
6. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение.
7. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины.
8. ГОСТ 5520-2017. Сталь листовая углеродистая низколегированная и легированная для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.
9. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
10. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
11. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
12. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
13. ГОСТ 12503-75. Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования.
14. ГОСТ 34233-2017, части 1-12 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
15. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
16. ГОСТ 16860-88. Деаэраторы термические. Типы, основные, параметры, приемка, методы контроля.
17. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
18. ГОСТ 18661-73. Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка.
19. ГОСТ 20415-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.

20. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
21. ГОСТ Р 56512-2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы.
22. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия.
23. ГОСТ 22762-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара.
24. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
25. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках.
26. ГОСТ 26202-84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
27. ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
28. ГОСТ Р 55614-2013. Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования.
29. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels, 2019.

1.2 ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

30. ISO 75-1:2013. Пластмассы. Определение температуры изгиба под нагрузкой. Часть 1. Общий метод испытания.
31. DIN EN 976-1:1997. Резервуары подземные из стеклопластиков. Горизонтальные цилиндрические резервуары для безнапорного хранения жидкого топлива на нефтяной основе. Часть 1. Требования и методы испытаний одностенных резервуаров.
32. ISO 75-3:2004. Пластмассы. Определение температуры деформации под нагрузкой. Часть 3. Высокопрочные термореактивные слоистые пластики и пластмасса, армированная длинным волокном.
33. ГОСТ 25.601-80. Расчеты и испытания на прочность методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах.
34. ГОСТ 3811-72. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей.
35. ГОСТ 27952-2017. Смолы полиэфирные ненасыщенные. Технические условия оISO 1268-5:2001. Производство пластин намоткой для изготовления образцов для испытаний.
36. ГОСТ 22181-2015. Смолы полиэфирные ненасыщенные. Методы определения желатинизации.
37. ГОСТ 6943.16-94. Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Метод определения массы на единицу площади.
38. ГОСТ 17139-2000. Стекловолокно. Ровинги. Технические условия.
39. ГОСТ 30053-2017. Стекловолокно. Маты. Метод определения массы на единицу площади.

40. ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы).
41. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
42. DIN EN 637:1994. Системы пластмассовых трубопроводов. Компоненты стеклопластиков. Определение количества составляющих гравиметрическим методом.
43. ISO 527-4:1997. Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 4. Условия испытаний для изотропных и ортотропных пластических композиционных материалов, армированных волокнами.
44. ISO 527-5:2009. Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 5. Условия испытаний пластических композиционных материалов, армированных однонаправленными волокнами.
45. ISO 14125:1998. Композиты на основе стеклопластика. Определение свойств гибкости.
46. ISO 14130:1997. Материалы композиционные полимерные армированные волокном. Определение эффективной межслойной прочности на сдвиг методом короткой балки.
47. ISO 175:2010 Пластики. Методы испытаний для определения влияния погружения в жидкие химикаты.
48. ISO 2555:2018. Пластмассы. Полимеры/смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение кажущейся вязкости по методу Брукфильда.
49. ISO 2535:2001. Пластмассы. Ненасыщенные полиэфирные смолы. Метод определения времени гелеобразования при температуре окружающей среды.
50. EN 6033:2015. Метод испытания. Определение межслойной энергии трещиностойкости – Mode I – GIC.
51. EN 6034:2015. Метод испытания. Определение энергии межламинарной трещиностойкости – Mode II – GIIC.
52. ISO 14126:1999. Материалы композиционные пластмассовые, армированные волокнами. Определение свойств при сжатии в направлении плоскости расслаивания.
53. ISO 14129:1997. Композиты полимерные. Определение механических характеристик при сдвиге в плоскости армирования методом испытания на растяжение под углом ±45 град.
54. EN 978:1997. Резервуары подземные из стекловолокна. Определение коэффициента альфа и коэффициента бета.
55. EN 977-1997. Резервуары подземные из стекловолокна. Метод испытания на одностороннее воздействие текучей среды.
56. ISO 527-1:2019. Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 1. Общие принципы.
57. ISO 9163:2005. Стекловолокно. Ровинги. Изготовление испытательных образцов и определение прочности на растяжение пропитанных ровингов.
58. ISO 3374:2000. Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Методы определения массы на единицу площади.
59. ISO 3219:1993. Пластмассы. Полимеры/смолы в жидком состоянии или в виде эмульсий или дисперсий. Определение вязкости с помощью ротационного вискозиметра при определенной скорости сдвига.
60. ISO 2114:2000. Пластмассы (полиэфирные смолы), краски и лаки (связующие вещества). Определение частичного кислотного и полного кислотного числа.

61. ISO 2811-2:2011. Краски и лаки. Определение плотности. Часть 2. Метод погруженного тела (метод отвеса).
62. ISO 1675:1985. Пластмассы. Жидкие смолы. Определение плотности с помощью пикнометра.
63. ISO 3001:1999. Пластмассы. Эпоксидные соединения. Определение эпоксидного эквивалента.
64. ISO 8975:1989. Пластмассы. Фенолоальдегидные смолы. Определение pH.
65. ISO 3251:2019. Краски, лаки и пластмассы. Определение содержания нелетучих веществ.
66. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section X Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels, 2019.
67. Сборник Правил по контейнерам, РС, 2019.
68. Рекомендации экспертов ООН по перевозке опасных грузов. Типовые правила (UN), 2019.
69. Международный кодекс морской перевозки опасных грузов (МК МПОГ/IMDG Code) с поправками 39-18.
70. Международные правила перевозки опасных грузов по железным дорогам (МПОГ/RID), 2019.
71. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ/ADR), 2018.

Российский морской регистр судоходства
Нормативно-методические указания (НМУ) по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением, для хранения и перевозки опасных грузов.
Расчет прочности конструкций офшорных контейнеров

ФАУ «Российский морской регистр судоходства»
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 8
www.rs-class.org/ru/