|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ** |  | **EN 13530-2** |
|  |  |  |
|  |  | Сентябрь 2002 |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| **Сосуды криогенные. Большие транспортируемые сосуды с вакуумной изоляцией. Часть 2. Расчет, изготовление, контроль и испытания** |
| Cryogenic vessels – Large transportable vacuum insulated vessels – Part 2: Design, fabrication, inspection and testing |
|  |  |  |
| Настоящий Европейский Стандарт утвержден Европейским Комитетом по Стандартизации (CEN) 29 мая 2002 г. |
|  |  |  |
| Члены CEN обязаны следовать внутренним предписаниям CEN/CENELEC, которые устанавливают порядок придания настоящему Европейскому Стандарту статуса национального стандарта без какой-либо альтернативы. Обновленные списки и библиографические ссылки в отношении таких национальных стандартов могут быть получены в Центре Менеджмента или у любого члена CEN. |
|  |  |  |
| Настоящий Европейский Стандарт существует в трех официальных версиях (на английском, французском и немецком языках). Перевод стандарта, осуществленный членом CEN на язык своей страны с уведомлением об этом Центра Менеджмента, имеет такой же статус, как и официальные версии. |
|  |  |  |
| Членами CEN являются национальные органы по стандартизации Австрии, Бельгии, Чехии, Дании, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Исландии, Ирландии, Италии, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Португалии, Испании, Швеции, Швейцарии и Объединенного Королевства. |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |
| ЕВРОПЕЙСКИЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Центр Менеджмента: rue de Stassasrt, 36 B-1050 Brussels |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
| © 2002 CEN | Все права на использование в любой форме или любыми средствами зарезервированы во всем мире за национальными членами CEN | Справочный номер EN 13539-2:2002 E |

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| **Предисловие** ………………………………………………………………………………… | **3** |
| **1** | **Область применения** ………………………………………………………….…… | **4** |
| **2** | **Ссылки на нормативные документы …………………………………….………** | **4** |
| **3** | **Термины, определения и символы** ………………………………………………. | **5** |
| **3.1** | **Термины и определения** …………………………………………………………… | **5** |
| **3.2** | **Символы** …………………………………………………………………………….. | **6** |
| **4** | **Расчет** ………………………………………………………………………………… | **7** |
| **4.1** | **Варианты расчета** …………………………………………………………………... | **7** |
| **4.2** | **Общие требования по расчету** ……………………………………………………. | **8** |
| **4.3** | **Расчетный метод** ……………………………………………………………………. | **13** |
| **5** | **Изготовление** ………………………………………………………………………… | **56** |
| **5.1** | **Общие положения** ………………………………………………………………….. | **56** |
| **5.2** | **Резка материала** ……………………………………………………………………. | **56** |
| **5.3** | **Холодная штамповка** ……………………………………………………………… | **56** |
| **5.4** | **Горячая штамповка** ……………………………………………………………….. | **57** |
| **5.5** | **Производственный допуск** ………………………………………………………… | **58** |
| **5.6** | **Сварка** ……………………………………………………………………………….. | **63** |
| **5.7** | **Несварные швы** ……………………………………………………………………. | **64** |
| **6** | **Контроль и испытания** ……………………………………………………………. | **65** |
| **6.1** | **План контроля качества** ………………………………………………………….. | **65** |
| **6.2** | **Пластины для изготовления образцов для испытаний** ……………………...... | **66** |
| **6.3** | **Испытания неразрушающими методами** ………………………………………... | **67** |
| **6.4** | **Устранение дефектов** ………………………………………………………………. | **70** |
| **6.5** | **Испытания давлением** …………………………………………………………….. | **71** |
| Приложение A (справочное) **Анализ упругого напряжения** …………………………… | **72** |
| Приложение B (обязательное) **Дополнительные требования к стали с 9% содержанием никеля** ……………………………………………………………………….. | **82** |
| Приложение C (обязательное) **Повышение прочности сосудов из аустенитной нержавеющей стали ………………………………………………………………………...** | **84** |
| Приложение D (справочное) **Особенности сварных швов** ……………………………… | **96** |
| Приложение E (обязательное) **Более высокое значение показателя свойства материала для аустенитной нержавеющей стали** ……………………………………… | **101** |
| Приложение F (справочное) **Предохранительные устройства на наружном кожухе** .. | **102** |
| **Библиография ……………………………………………………………………………….** | **103** |

**Предисловие**

Настоящий документ EN 13530-2:2002 подготовлен Техническим Комитетом CEN/TC 268 «Криогенные сосуды», секретариат которого возглавляет Ассоциация стандартизации Франции AFNOR.

Настоящему Европейскому Стандарту статус национального стандарта придается опубликованием в стране идентичного текста либо подписанием его в установленном порядке не позднее марта 2003 года, при этом все национальные стандарты, противоречащие настоящему стандарту, должны быть отозваны не позднее марта 2003 года.

Настоящий Европейский Стандарт был представлен для сведения в RID и в техническую службу ADR.

Поэтому стандарты, перечисленные в нормативных ссылках, и стандарты, касающиеся базовых требований RID/ADR и не упомянутые в настоящем стандарте, являются обязательными только лишь тогда, когда на эти стандарты делаются ссылки отделом RID или технической службой ADR.

Стандарт EN 13530 под общим названием «Криогенные сосуды. Большие транспортируемые сосуды с вакуумной изоляцией» состоит из следующих частей:

- Часть 1: Основные требования

- Часть 2: Расчет, изготовление, контроль и испытания

- Часть 3: Операционные требования

Приложения А, D и F являются справочными, приложения B, C и E являются обязательными.

В соответствии с внутренними предписаниями CEN/CENELEC национальные органы по стандартизации следующих стран обязаны применять настоящий Европейский Стандарт: Австрия, Бельгия, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Исландия, Ирландия, Италия, Люксембург, Мальты, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Испания, Швеция, Швейцария и Объединенное Королевство.

1. **Область применения**

Настоящий Европейский Стандарт определяет требования к расчету, изготовлению, контролю и испытаниям больших транспортируемых сосудов с вакуумной изоляцией объемом более 1 000 л, которые для передвижения по дороге постоянно (неотделимо) или постоянно (отделимо) присоединены к механическому транспортному средству. При этом они могут использоваться совместно с другими видами транспортных средств при условии соответствия применимым в этих случаях правилам и требованиям.

Настоящий Европейский Стандарт применим к большим транспортируемым криогенным сосудам с вакуумной изоляцией для перевозки жидких материалов, указанных в стандарте EN 13530-1:2002, и не применим к сосудам, предназначенным для перевозки токсичных жидких материалов.

Настоящий Европейский Стандарт не включает в себя требования к таким частям механических транспортных средств как ходовая часть, тормоза, осветительные приборы и др., которые регулируются другими соответствующими стандартами/предписаниями.

1. **Ссылки на нормативные документы**

Настоящий Европейский Стандарт составлен на базе датированных и не датированных нормативных документов и положений из других публикаций. В данном пункте перечислены нормативные документы и публикации, которые цитируются в соответствующих местах текста. Изменения и дополнения датированных ссылок применимы к настоящему Европейскому Стандарту только в том случае, если на эти изменения и дополнения делается соответствующая ссылка. Ссылка без даты означает, что следует применять только последнюю редакцию ссылочного документа (включая все исправления).

EN 287-1:1992 Квалификационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали.

EN 287-2: 1992 Квалификационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 2. Алюминий и алюминиевые сплавы.

EN 288-3: 1992 Сварка металла. Технические условия и утверждение. Часть 3. Испытания для оценки процесса дуговой сварки стали.

EN 288-4: 1992 Сварка металла. Технические условия и утверждение. Часть 4. Испытания для оценки процесса дуговой сварки алюминия и алюминиевых сплавов.

EN 288-8: 1992 Сварка металла. Технические условия и утверждение. Часть 8. Утверждение на основании испытаний опытных сварных образцов.

EN 473:2000 Неразрушающий контроль. Аттестация и выдача свидетельств персоналу, занимающемуся НК. Основные принципы.

EN 875:1995 Контроль разрушающий сварных швов на металлических материалах. Ударные испытания. Расположение испытательных образцов, ориентация надреза и контроль.

EN 895:1995 Контроль разрушающий сварных швов на металлических материалах. Поперечное испытание на растяжение.

EN 910:1996 Контроль разрушающий сварных швов на металлических материалах. Испытания на изгиб.

EN 1252-1:1998 Сосуды криогенные. Материалы. Часть 1. Требования к вязкости при температуре – 80 оС.

## EN 1252-2:2001 Сосуды криогенные. Материалы. Часть 2. Требования к ударной вязкости в интервале температур -80°C и -20°C.

EN 1418:1997 Квалификационные испытания операторов оборудования для сварки плавлением и наладчиков контактной сварки на полностью механизированных и автоматизированных установках.

EN 1435:1997 Неразрушающий контроль сварных соединений. Рентгеновский контроль.

EN 1626:1999 Сосуды криогенные. Клапаны для криогенного режима работы.

EN 1797:2001 Сосуды криогенные. Совместимость газа и материала.

EN 10028-4:1994 Прокат плоский стальной для работы под давлением. Технические условия. Часть 4. Никелевая легированная сталь с заданными свойствами при низких температурах.

EN 10028-7:2000 Прокат плоский стальной для сосудов, работающих под давлением. Часть 7. Нержавеющие стали.

EN 12300:1998 Сосуды криогенные. Чистота для криогенной услуги.

EN ISO 6520-1:1998 "Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением".

EN 13068-3:2001 Неразрушающий контроль. Рентгеноскопический контроль. Часть 3. Основные положения рентгеноскопического контроля металлических материалов рентгеновскими и гамма-лучами.

prEN 13445-3:1999 Сосуды, работающие под давлением без огневого подвода теплоты. Часть 3. Расчет.

EN 13530-1:2002 Сосуды криогенные. Большие транспортируемые сосуды с вакуумной изоляцией. Часть 1. Основные требования.

prEN 13648-3:2001 Криогенные сосуды. Устройства для защиты от избыточного давления. Часть 3. Определение необходимой производительности и размеров ограничителей давления.

## ISO 1106-1:1984 Контроль радиографический сварных соединений, полученных сваркой плавлением. Рекомендуемый метод. Часть 1. Сварные стыковые соединения, полученные сваркой плавлением в стальных плитах толщиной до 50 мм.

1. **Термины, определения и символы**

В настоящем Европейском Стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями и символы.

* 1. **Термины и определения**

В настоящем Европейском Стандарте в дополнение к части 1 настоящего стандарта применены следующие термины с соответствующими определениями.

* + 1. **большой транспортируемый сосуд с вакуумной изоляцией** **(large transportable vacuum insulated vessel)** – сосуд объемом более 1 000 л, предназначенный для перевозки криогенных жидкостей и состоящий из внутреннего сосуда, наружного кожуха, запорной и регулирующей арматуры и дополнительного обвязочного каркаса;

**3.1.2 несъемная емкость (автоцистерна) (fixed tank (tank vehicle))** – большой транспортируемый несъемный сосуд, зафиксированный на механическом транспортном средстве или его ходовой части;

**3.1.3 съемная емкость (demountable tank)** - большой транспортируемый сосуд, зафиксированный на механическом транспортном средстве с возможностью отсоединения от него. В составе с механическим транспортным средством съемный сосуд соответствует требованиям, предъявляемым к несъемному сосуду. Поднятие съемного сосуда допускается только после его опорожнения;

**3.1.4** **внутренний сосуд (inner vessel)** – сосуд, предназначенный для содержания криогенной жидкости под давлением;

**3.1.5 наружный кожух (outer jacket)** – герметический кожух, внутри которого создается вакуум и находится внутренний сосуд;

**3.1.6 автоматическая сварка (automatic welding)** – сварка, параметры которой контролируются автоматически. Для поддержания заданных условий сварки некоторые из этих параметров могут быть ограничены в процессе сварки вручную или автоматически.

**3.1.7 максимально допустимое давление (maximum allowable pressure), *ps***– максимальное давление, на которое рассчитано оборудование, указанное изготовителем, либо устанавливаемое изготовителем в зависимости от расположения точки подключения предохранительного устройства либо от расположения верхней точки оборудования;

**3.1.8 предохранительная пластина/затвор (relief plate/plug)** – пластина или затвор, удерживаемые только атмосферным давлением, позволяющие сбрасывать избыточное внутреннее давление;

**3.1.9 разрывная мембрана (bursting disc device)** – невосстанавливаемое предохранительное устройство, разрушаемое разницей давлений. Представляет собой сборочный узел, при необходимости в комплекте с держателем.

**3.2 Символы**

В настоящем Европейском Стандарте применены следующие символы.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *c* | допуск на коррозию | мм |
| *di* | диаметр отверстия | мм |
| *da* | внешний диаметр трубы или патрубка | мм |
| *f* | узкая сторона прямоугольной или овальной пластины | мм |
| $l\_{b}$$l\_{b}^{`}$ | длина продольного изгиба | мм |
| *n* | количество лепестков | - |
| *p* | расчетное давление в соответствии с п. 4.3.2.2 | бар |
| *pe* | допустимое внешнее давление, ограниченное упругим прогибом  | бар |
| *pk* | давление упрочнения | бар |
| *pp* | допустимое внешнее давление, ограниченное упругой деформацией | бар |
| *pT* | испытательное давление (см. п. 4.2.3.2) | бар |
| *r* | радиус, например угловой радиус эллипсоидного торца сосуда и конусов | мм |
| *s* | минимальная толщина | мм |
| *se* | фактическая толщина стенки | мм |
| v | индикативный индекс использования допустимой расчетной нагрузки на сварные швы или допустимый индекс ослабления | - |
| *x* | (длина зоны спада) расстояние, на котором должно действовать регулирующее напряжение | мм |
| *A* | площадь поперечного сечения элемента крепления | мм2 |
| *C, β* | расчетные параметры | - |
| *D* | диаметр корпуса | мм |
| *Da* | внешний диаметр, например диаметр цилиндрического корпуса | мм |
| *Di* | внутренний диаметр, например диаметр цилиндрического корпуса | мм |
| *E* | модуль Юнга | Н/мм2 |
| *I* | момент инерцииусиливающего элемента  | мм4 |
| *Re* | кажущийся предел текучести или условный предел текучести при остаточной деформации 0,2% (1% для аустенитной нержавеющей стали) | Н/мм2 |
| *Rm* | минимальная нагрузка на растяжение | Н/мм2 |
| *K* | свойства материала, используемые при расчете | Н/мм2 |
| *R* | радиус кривизны, например, внутренний радиус эллипсоидного торца | мм |
| *S* | коэффициент запаса прочности при расчетном давлении, в связи с Re |  |
| *Sk* | коэффициент запаса прочности под упругим прогибом при расчетном давлении |  |
| *Sp* | коэффициент запаса прочности под упругой деформацией |  |
| *Z* | вспомогательный показатель |  |
| *v* | коэффициент Пуассона |  |
| *u* | овальность |  |

1. **Расчет**
	1. **Методы расчета**
		1. **Общие положения**

Расчет должен проводиться в соответствии с одним из методов, указанных в п.п. 4.1.2, 4.1.3 или 4.1.4.

Металлы, используемые при криогенных температурах, должны соответствовать требованиям, указанным в соответствующих разделах стандартов EN 1252-1:1998 и EN 1252-2:2001.

При использовании стали с 9% содержанием Ni, следует обеспечить ее соответствие дополнительным требованиям Приложения B.

* + 1. **Расчетный метод**

Данный метод предполагает проведение расчета всех элементов, работающих под давлением и нагрузкой. Толщина стенок внутреннего сосуда и наружного кожуха в местах приложения давления не должна быть меньше, чем толщина, определяемая по методике, изложенной в п. 4.3. Для обеспечения пригодности конструкции для эксплуатации, включая динамические нагрузки, следует провести дополнительные расчеты.

* + 1. **Расчетный метод и упрочнение давлением**

Давление упрочнения, определяющее способность внутреннего сосуда, изготовленного из аустенитной нержавеющей стали, работать под прилагаемым давлением, должно рассчитываться в соответствии с Приложением С.

**4.1.4 Расчетный и экспериментальный методы**

В случае, когда невозможно обойтись одним расчетным методом в дополнение к нему может использоваться экспериментальный метод, при этом результаты должны подтвердить значения коэффициентов запаса прочности, определенные в п. 4.3. Примером является применение деформационного манометра для оценки уровня напряжения.

* 1. **Общие требования по расчету**
		1. **Общие положения**

Требования п.п. 4.2.2 и 4.2.7 применимы ко всем сосудам вне зависимости от примененного метода расчета.

В случае увеличения хотя бы одного из следующих параметров:

* максимально допустимое давление;
* удельный вес (плотность) газа с самой высокой плотностью, на которую рассчитан сосуд;
* максимальный собственный вес внутреннего сосуда;
* номинальная длина и/или номинальный диаметр внутреннего сосуда;

или в случае любого изменения, касающегося:

* типа или марки материала (например, замена нержавеющей стали на алюминиевый сплав);
* конфигурации конструкции;
* снижения минимального значения механических свойств применяемых материалов;
* изменения процесса сборки любого узла, работающего под давлением, системы опор между внутренним сосудом и наружным кожухом или опор самого внутреннего сосуда, защитного каркаса или любых других частей топливной емкости;

программу расчета следует повторно провести с начала для того, чтобы учесть эти изменения.

* + 1. **Техническое задание**

Для проведения расчета должны быть представлены следующие данные, определяющие тип разрабатываемого сосуда:

* максимально допустимое давление;
* виды жидкостей, для перевозки которых разрабатывается сосуд;
* наливной объем;
* геометрические размеры и допустимый вес с учетом характеристик механического транспортного средства;
* расположение точек крепления и допустимые в этих точках нагрузки;
* скорость заполнения и опорожнения;
* диапазон температуры окружающей среды, если эта температура отличается от температуры, определенной в п. 7.3 стандарта EN 13530-1:2002.

Следует подготовить документы по расчету и сопроводительную записку, содержащие указанную выше информацию, а также, при необходимости, следующие данные:

* описание методов расчета элементов: расчетным методом, упрочнение давлением, экспериментальным методом и на основе эксплуатационного опыта;
* чертежи с размерами и толщинами стенок элементов, несущих нагрузку;
* подробные данные о материалах, используемых для изготовления элементов, несущих нагрузку: марка, класс, легирующие материалы, проведенные испытания и т.д.;
* протоколы испытаний материалов;
* места нахождения сварных швов и других мест соединений; сварка и другие технологии, применяемые к местам соединений; наполнители, набивочные материалы и др.;
* расчеты, подтверждающие соответствие настоящему стандарту;
* программу испытаний;
* требования к испытаниям неразрушающими методами;
* требования к испытаниям давлением;
* конфигурацию обвязки, включая типы, размеры и расположение всех задвижек и предохранительных устройств;
* описание крепежных элементов.
	+ 1. **Расчетные нагрузки**
			1. **Общие положения**

Большие транспортируемые криогенные сосуды должны надежно выдерживать механические и тепловые нагрузки, возникающие во время испытаний давлением и при эксплуатации.

В расчетах статические нагрузки следует заменять суммой статических и динамических нагрузок. Статистическая нагрузка составляет:

* в направлении движения: удвоенную общую массу;
* под прямым углом к направлению движения: общую массу;
* в вертикальном направлении вверх: общую массу;
* в вертикальном направлении вниз: удвоенную общую массу.

Считается, что каждая из этих нагрузок действует изолированно и представляет собой вес рассматриваемого узла.

* + - 1. **Внутренний сосуд**

Считается, что следующие нагрузки действуют совместно за исключением нагрузки, указанной в п. а):

а) испытательное давление: значение, используемое для проверочных целей, должно составлять:

*pT* ≥ 1,3·(*ps* + 1) бар

и рассчитывается для каждого элемента сосуда, например, для корпуса, звена корпуса, головной части, и т.д.

 где, *ps* – максимально допустимое давление, бар.

1 бар добавляется для того, чтобы учесть внешний вакуум.

Внутренний сосуд должен выдерживать испытательное давление жидкостью без пластической деформации.

Минимальное испытательное давление составляет 3 бара.

b) давление во время эксплуатации pC:

 *pC = ps + pL* + 1 бар,

 где *pL* – давление, измеряемое в барах, суммирующееся с каждой статистической нагрузкой, указанной в п. 4.2.3.1 и прилагаемое весом жидкого содержимого при заполнении сосуда:

1. кипящей жидкостью при атмосферном давлении или
2. криогенной жидкостью при ее тройной точке равновесия или температуре плавления при атмосферном давлении;

с) реакция в точках опор внутреннего сосуда, возникающая в результате давления вес внутреннего сосуда и его содержимого, и суммирующееся с каждой статистической нагрузкой, указанной в п. 4.2.3.1;

d) нагрузка, прилагаемая обвязкой и возникающая в результате разницы температур между внутреннем сосудом, обвязкой и наружным кожухом.

Следует уделять внимание следующим процессам:

* охлаждение (внутренний сосуд теплый – обвязка холодная);
* заполнение и опорожнение (внутренний сосуд холодный – обвязка холодная);
* транспортирование и хранение (внутренний сосуд холодный – обвязка теплая);

е) нагрузка, прилагаемая к внутреннему сосуду в точках его опор, во время охлаждения с температуры окружающей среды до рабочей температуры и при эксплуатации.

**4.2.3.3 Наружный кожух**

Считается, что следующие нагрузки оказываются совместное воздействие:

1. внешнее давление, равное 1 бар;
2. внутреннее давление, равное давлению срабатывания предохранительного клапана наружного кожуха;
3. нагрузка, прилагаемая внутренним сосудом и его содержимым к точкам опор в наружном кожухе, и суммирующаяся с каждой статистической нагрузкой, указанной в п. 4.2.3.1;
4. нагрузка, прилагаемая обвязкой, как описано в п. 4.2.3.2 d);
5. нагрузка, прилагаемая к точкам опор внутреннего сосуда в наружном кожухе, когда внутренний сосуд охлаждается с температуры окружающей среды до рабочей температуры при эксплуатации;
6. реакции в точках крепления наружного кожуха, возникающие в результате воздействия веса транспортируемого криогенного сосуда и его содержимого, в момент заполнения и суммирующиеся с каждой динамической нагрузкой.

**4.2.3.4 Автономные сосуды**

Конструкции внутреннего сосуда и, возможно, наружного кожуха, которые являются автономными по отношению к механическому транспортному средства, должны быть рассчитаны, чтобы выдерживать дополнительные напряжения от других источников (см. п. 4.2.3.2 c) и п. 4.2.3.3 f)).

**4.2.3.5 Опоры внутреннего сосуда**

Опоры внутреннего сосуда должны выдерживать нагрузки, указанные в п. 4.2.3.2 с), а также нагрузки, создаваемые различными температурными перепадами.

**4.2.3.6 Пластины гашения волны**

Для снижения динамических нагрузок до уровня, указанного в п. 4.2.3, внутренний сосуд должен быть разделен пластинами гашения волны. Наличие пластин гашения волны не является обязательным при заполнении сосуда более чем на 80% и при пустом сосуде. Площадь пластины гашения волны должна быть не менее 70% площади поперечного сечения внутреннего сосуда.

Опыт применения пластин гашения волны подтвердил корректность этого условия для сосудов емкостью до 7 500 л.

Пластины гашения волны и элементы их крепежа к корпусу должны выдерживать напряжение, вызванное давлением, равномерно распределенным по все площади пластины гашения волны. Давление рассчитывается с учетом веса жидкости, находящейся между пластинами, ускорения торможения, равного 2 g (п. 4.2.3).

**4.2.3.7 Опоры наружного кожуха**

Опоры наружного кожуха должны выдерживать нагрузку, описанную в п. 4.2.3.3.

**4.2.3.8 Точки крепления**

Точки крепления должны обеспечивать надежную фиксацию полностью заполненных больших транспортируемые криогенных сосудов к механическому транспортному средству и быть способными выдерживать нагрузки, определенные в п. 4.2.3.

**4.2.3.9 Защита внешних фитингов**

Фитинги и арматура, установленные на верхней части сосуда, должны быть защищены, чтобы повреждения, вызванные опрокидыванием сосуда, не привели к снижению эксплуатационной целостности. Устройствами защиты могут быть усилительные кольца, защитные козырьки или поперечные и продольные элементы конструкции, расположенные таким образом, чтобы обеспечивать надежную защиту фитингов и арматуры.

**4.2.3.10 Стабильность**

Габаритная ширина на уровне земли (расстояние между наружными точками контакта с землей правой и левой шин, находящихся на одной оси) должна составлять, по крайней мере, 90% высоты центра тяжести полностью загруженного сосуда. В тягаче с полуприцепом весовая нагрузка на оси несущей части транспортного средства не должна превышать 60% номинальной весовой нагрузки полностью загруженного тягача с полуприцепом.

**4.2.3.11 Обвязка и задвижки**

Обвязка, задвижки, фитинги и опоры должны выдерживать указанные в этом пункте нагрузки. Все эти нагрузки, за исключением нагрузки, указанной в а), могут действовать одновременно.

а) испытания пневматическим давлением: не менее чем допустимое рабочее давление pS плюс 1 бар для обвязки внутри вакуумного наружного кожуха;

b) давление во время эксплуатации: не менее чем давление срабатывания предохранительного клапана;

c) тепловые нагрузки, определенные в п. 4.2.3.2 d);

d) динамические нагрузки;

e) давление срабатывания теплового предохранительного клапана;

f) нагрузки, возникающие в процессе опорожнения.

Это оборудование должно защищено или расположено таким образом, чтобы быть защищенным от риска срыва резьбы или повреждения во время транспортирования.

Следует учитывать возможность конденсации влаги на неизолированные холодные пластины при транспортировании жидкого водорода.

На случай опрокидывания транспортного средства следует предусмотреть защиту от утечки. В соответствии со стандартом EN 1797:2001 уплотнительные материалы должны быть совместимыми с перевозимыми жидкостями.

Каждый клапан заполнения или опорожнения, расположенный в нижней части конструкции, должен быть снабжен двумя независимыми включенными последовательно устройствами отключения. Первое устройство, являющееся стопорным клапаном, должно располагаться, как можно ближе к наружному кожуху и быть защищено от механического повреждения, по крайней мере, в такой же степени, как и наружный кожух.

Для того чтобы предотвратить утечку воспламеняющихся жидкостей первое устройство отключения должно представлять собой быстродействующее запорное устройство, которое в случае непреднамеренного перемещения транспортного средства или в случае возникновения огня в процессе заполнения/опорожнения закрывается автоматически. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность дистанционного управления этим запорным устройством. Все фильтры-воздушники, а также предохранительные устройства и клапаны продувки должны быть соединены с фильтром-воздушником, обеспечивающим безопасное опорожнение. В пункте управления должна быть предусмотрена вентиляция для того, чтобы предотвратить в нем скопление воспламеняющихся газов.

* + 1. **Усталость металла**

При расчетах должно быть учтено, что в процессе нормальной эксплуатации внутренний сосуд, наружный кожух и их узлы подвергаются циклическим нагрузкам.

При анализе параметров нагрузок, рассмотренных в п. 4.2.3, следует также учитывать возможность появления эффекта усталости металла.

**4.2.5 Допуск на коррозию**

Допуск на коррозию не требуется на поверхностях, контактирующих с перевозимой жидкостью. Допуск на коррозию также не требуется для других поверхностей, если они защищены от коррозии должным образом.

**4.2.6 Смотровые отверстия**

Наличие смотровых отверстий на внутреннем сосуде или на наружном кожухе не требуется при условии соблюдения требований стандарта prEN 13530-3.

Примечание 1 Комбинация материалов конструкции емкости и перевозимых жидкостей не предполагает возникновение коррозии.

Примечание 2 Внутренний сосуд находится внутри вакуумного наружного кожуха. Таким образом, внешняя коррозия внутреннего сосуда невозможна.

Примечание 3 Отсутствие смотровых отверстий также содействует поддержанию вакуума во внутреннем пространстве.

**4.2.7 Снижение давления**

Системы сброса давления должны соответствовать требованиям п.п. 4.2.7.1 и 4.2.7.3.

**4.2.7.1 Внутренний сосуд**

В конструкции внутреннего сосуда должны быть предусмотрены, по крайней мере, два независимых устройства сброса давления, из которых хотя бы один должен представлять собой сбросной клапан, открывающийся при давлении, не большем чем *ps*. Оба устройства могут быть смонтированы на общем трубопроводе.

Одно из устройств должно защищать внутренний сосуд от избыточного давления за счет нормальной тепловой утечки, а устройства, действующие одновременно должны защищать внутренний сосуд от избыточного давления за счет:

1. тепловой утечки с потерей вакуума;
2. тепловой утечки без потери вакуумы при устройстве нагнетания давления в открытом состоянии.

Избыточное давление означает 110% от максимально допустимого давления для условия а), превышение над испытательным давлением для условия b) и превышение над испытательным давлением минус 1 бар для условия с).

Для расчета размеров внутреннего сосуда его предохранительные устройства должны соответствовать стандарту prEN 13648-3:2001.

Система сброса давления должна иметь такие размеры, при которых падение давления при опорожнении не вызывало бы необходимость постоянной перенастройки клапанов.

**4.2.7.2 Наружный кожух**

Предохранительные устройства наружного кожуха должны соответствовать требованиям приложения F.

Устройство сброса давления устанавливается на наружном кожухе. Для предотвращения разрушения внутреннего сосуда устройство должно срабатывать при давлении не более 0,5 бар. Удельная площадь опорожнения предохранительного устройства не должна быть меньше чем 0,34 мм2/л и в любом случае не должна превышать 5 000 мм2.

**4.2.7.3 Обвязка**

Каждая секция трубопровода, в которой содержится криогенная жидкость, должна быть защищена сбросным клапаном или другим предохранительным устройством.

**4.2.8 Клапаны**

Клапаны должны соответствовать стандарту EN 1626:1999.

**4.2.9 Изоляция**

Все материалы (включая термоизоляцию), находящиеся между внутренним сосудом и наружным кожухом и контактирующие с кислородом и другими газами с точкой кипения ниже минус 182 оС при атмосферном давлении, должны соответствовать стандарту EN 1797:2001, поскольку может произойти обогащение кислородом.

**4.2.10 Степень заполнения**

Степень заполнения больших транспортируемых сосудов с вакуумной изоляцией, предназначенных для перевозки воспламеняющихся газов, должна быть меньше 95% от общего объема сосуда при температуре, которая вызвала бы срабатывание предохранительного клапана при полном заполнении сосуда. Большие транспортируемые сосуды с вакуумной изоляцией при транспортировании невоспламеняющихся газов могут заполняться на 98% от их общего объема при температуре и давлении загрузки.

Вопросу контроля над степенью заполнения сосуда должно уделяться должное внимание.

**4.2.11 Токопроводимость**

Все металлические элементы больших транспортируемых сосудов с вакуумной изоляцией, предназначенных для перевозки воспламеняющихся газов, должны быть непрерывно соединены при помощи электрических проводников. Большие транспортируемые сосуды с вакуумной изоляцией должны иметь устройства заземления с сопротивлением менее 5 Ом. Следует избегать контактов между металлическими частями, вызывающих электрохимическую коррозию.

**4.3 Расчетный метод**

**4.3.1 Общие положения**

Геометрические размеры внутреннего сосуда и наружного кожуха не должны быть меньше размеров, определяемых в соответствии с настоящим подпунктом.

**4.3.2 Внутренний сосуд**

**4.3.2.1 Общие положения**

Для определения толщины стенок элементов, находящихся под давлением, должны использоваться положения п.п. 4.3.2.2 и 4.3.2.6 и формулы п. 4.3.6.

Фактическая толщина стенок не должна быть меньше толщины, рассчитанной в соответствии с Табл. 1.

**Минимальная толщина стенок внутреннего сосуда**

**Таблица 1**

|  |  |
| --- | --- |
| Диаметр внутреннего сосуда *D*, мм | Минимальная толщина стенки *so*, ммдля эталонной стали1 |
| *D* ≤ 1 800*D* > 1 800 | 34 |
| 1Эталонная сталь – материал с минимальной нагрузкой на растяжение *Rm x A5* (10 000).Расчет толщины стенки для других материалов осуществляется по следующей формуле:s$=\frac{464 ×s\_{0}}{\sqrt[3]{(R\_{m} x A\_{5})^{2}}}$,где*RM* – минимальный предел прочности на растяжение выбранного металла в Н/мм2 при температуре не ниже температуры точки росы жидкости при давлении *ps*;*A5* - относительное удлинение при разрыве выбранного металла, в процентах при той же температуре.При этом при использовании других материалов, минимальная толщина не должна быть меньше, чем минимальная толщина стенки, определенная в п. 6.8 технического приложения ADR. |

При этих условиях, толщины стенки внутреннего сосуда из эталонной стали может быть определена следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  s$=$se$\frac{\sqrt[3]{(R\_{m} x A\_{5})^{2}}}{464}$, | (3) |

где

se – фактическая толщина стенки внутреннего сосуда.

Значения Rm и A5 при температуре жидкости не ниже температуры точки росы и при давлении *ps* должны определяться на основе соответствующего стандарта по этому материалу и гарантироваться изготовителем этого материала.

**4.3.2.2 Расчетное давление *p***

Внутреннее расчетное давление *p* должно быть больше *pT* в соответствии с п. 4.2.3.2 а) или *pC* в соответствии с п. 4.2.3.2 b) с корректировкой на рабочие условия (т.е. в $\frac{К\_{20}}{К\_{Т}}$ раз), учитывая свойства используемых материалов в охлажденном состоянии. Следовательно, К20 следует применять в последующих формулах, в которых определяется расчетное давление *p*.

Внутренний сосуд должен быть рассчитан на внешнее давление, равное давлению срабатывания предохранительного клапана наружного кожуха.

**4.3.2.3 Свойства К материала**

**4.3.2.3.1 Общие положения**

В расчетах следует применять следующие значения свойства К материала:

* для аустенитной нержавеющей стали *Re* составляет 1% запаса прочности;
* для углеродистой стали, алюминия и алюминиевых сплавов *Re* равняется пределу прочности при разрыве или 0,2% запаса прочности;
* для углеродистой стали может применяться верхнее значение предела прочности при разрыве.

Для расчетов свойство К материала внутреннего сосуда ограничено 2/3 *RM*, минимальное гарантированное значение предела прочности на растяжение.

**4.3.2.3.2 *К20***

Значения *Re* и*RM* должны равняться минимальным гарантированным значениям при 20 оС, взятым из соответствующих стандартов по этим материалам (см. Приложение Е).

Для сталей, применяемых в конструкции сварного сосуда, недопустимыми являются значения соотношения *Re/RM*, превышающие 0,85. При определении значения соотношения *Re/RM* должны применяться минимальные значения *Re* и *RM*, указанные в сертификатах на эти материалы.

**4.3.2.3.3 *Kt***

Допустимые значения *Re* и *RM* для материала должны быть определены при рабочей температуре не ниже температуры точки росы жидкости при давлении *ps*. Значения *Re*, *RM* и *Е* должны определяться по соответствующему стандарту по этим материалам (для аустенитной нержавеющей стали см. Приложение F к стандарту EN 10028-7:2000) или быть гарантированы изготовителем материала.

**4.3.2.3.4 Хрупкость**

Материал не должен подвергаться хрупкому излому при его минимальной рабочей температуре (см. стандарты EN12562-1:1998 и EN 1252-2:2001).

**4.3.2.3.5 Удлинение**

Для стали относительное удлинение при разрыве в % не должно быть меньше, чем

|  |  |
| --- | --- |
| $\frac{(10 000)}{установленный предел прочности на растяжение в\frac{Н}{мм^{2}} }$ при 20 оС,  | (4) |

но в любом случае относительное удлинение при разрыве не должно быть меньше 16% для мелкозернистой стали и не меньше 20% для других сталей. Для алюминия и алюминиевых сплавов относительное удлинение при разрыве должно быть не менее 12%.

Удлинение и установленный предел прочности на растяжение указываются в сертификате на материал.

**4.3.2.4 Коэффициенты запаса прочности *S, Sp* и *Sk***

Коэффициенты запаса прочности представляют собой соотношение свойства К материала к максимально допустимому напряжению.

1. внутреннее давление (давление на вогнутую поверхность):

 s = 1,33

1. внешнее давление (давление на выпуклую поверхность):
* цилиндрические части корпуса *sp* = 1,4

*sk* = 2,6

* сферическая части корпуса *sp* = 2,1

*sk* = 2,6 + 0,0018R/se

* область перелома поверхности *sp* = 1,6

**4.3.2.5 Коэффициент прочности сварного шва *v***

Во всех случаях следует использовать значение *v* = 1, включая круговые швы с подкладкой и круговые швы по выступу.

**4.3.2.6 Допуск на коррозию**

*c* = 0

Допуск на коррозию не требуется.

**4.3.3 Наружный кожух**

**4.3.3.1 Общие положения**

Для определения толщины стенок элементов, находящихся под давлением, совместно с формулами п. 4.3.6 должна использоваться следующая методика.

Толщина стенки наружного кожуха из эталонной стали определяется следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| s$=$se$\frac{\sqrt[3]{(R\_{m} x A\_{5})^{2}}}{464}$, | (5) |

где

se – фактическая толщина стенки наружного кожуха;

*RM* – минимальный предел прочности на растяжение выбранного металла, Н/мм2;

*A5* - относительное удлинение при разрыве выбранного металла при 20 оС, %.

В общем, толщина стенок внутреннего сосуда и наружного кожуха должна быть не менее 5 мм при диаметре внутреннего сосуда не более 1 800 мм, и не менее 6 мм при диаметре более 6 мм.

**4.3.3.2 Расчетное давление *p***

Внутреннее расчетное давление *p* должно быть не менее чем давление срабатывания предохранительного клапана наружного кожуха. Внешнее расчетное давление считается равным 1 бар.

**4.3.3.3 *K20***

См. п. 4.3.2.3.2

**4.3.3.4 Коэффициенты запаса прочности *S*, *Sp* и *Sk* в отношении *Re***

a) внутреннее давление (давление на вогнутую поверхность)

 *S* = 1,1

b) внешнее давление (давление на выпуклую поверхность)

* цилиндрические корпус *Sp* = 1,1

 *Sk* = 2,0

* сферическая область *Sp* = 1,6

 *Sk* = 2,0 + 0,0014 R/(se – c)

* область перелома поверхности *Sk* = 1,2

**4.3.3.5 Коэффициент прочности сварного шва *v***

Внутреннее давление (давление на выпуклую поверхность) *v* = 0,7

Внешнее давление (давление на выпуклую поверхность) *v* = 1,0

**4.3.3.6 Допуск на коррозию *с***

Аустенитная нержавеющая сталь *с* = 0

Алюминиевые сплавы *с* = 0

Углеродистая сталь *с* = 1,0 мм

Примечание. Допуск на коррозия для углеродистой *с* стали может быть снижен до 0 при условии, если внешняя поверхность защищена от коррозии должным образом.

**4.3.4 Элементы наружного крепления**

Для элементов, закрепленных на внутреннем сосуде допустимое напряжение не должно превышать нижнее значение 0,75 *Re* или 0,5 *Rm*. Элементы, закрепленные на наружном кожухе должны выдерживать нагрузки, определенные в п. 4.2.3.1, и допустимые напряжения, не превышающие 0,75 *Re*. Также см. Приложение А.

При расчете элементов, размещаемых на внутреннем сосуде, следует принимать в расчет температуру и соответствующие механические свойства этих элементов при условии, когда внутренний сосуд полностью заполнен криогенной жидкостью при температуре не ниже температуры точки росы и давлении *ps*.

**4.3.5 Обвязка и арматура**

Конструкция трубопровода с учетом требуемых коэффициентов запаса прочности должна быть рассчитана на нагрузки, определенные в п. 4.2.3.11.