ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 16111— 2024

ПЕРЕДВИЖНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ГИДРИДОВ МЕТАЛЛОВ

(ISO 16111:2018, Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью Первая Инновационная Межотраслевая Компания Водородных Технологий «Русский Водород» (ООО ПИМК ВТ «Русский Водород») и Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СФУ) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 029 «Водородные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2024 г. № 2076-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16111:2018 «Устройства для хранения газа транспортируемые. Водород, поглощаемый обратимым гидридом металла» (ISO 16111:2018 «Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride», IDT).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р 54114—2010

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2018
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Условия работы и обслуживания 4
5 Требования к проектированию 5
6 Контроль и испытания 9
7 Маркировка, наклейки и документация 22
8 Документация, прилагаемая к изделию 23
Приложение А (справочное) Совместимость материалов при работе с водородом 24
Приложение В (обязательное) Испытания, имитирующие условия эксплуатации 26
Приложение С (справочное) Сертификат о типовом одобрении 30
Приложение D (справочное) Акт приемки 32
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 34
Библиография 35

Введение

По мере того, как использование газообразного водорода переходит из химической промышленности в различные новые области применения, такие как топливо для топливных элементов и двигателей внутреннего сгорания, а также другие специальные применения водорода, новые и усовершенствованные технологии хранения становятся все более важными. В одной из таких технологий используется абсорбция водорода специальными сплавами. Такие сплавы могут храниться и транспортироваться в твердом виде, а водород впоследствии высвобождается из них и используется при определенных термодинамических условиях. Настоящий стандарт описывает условия эксплуатации, критерии проектирования, типовые испытания, серийные и плановые испытания для передвижных систем хранения водорода на основе гидридов металлов, именуемых металлогидридные контейнеры (МГ-контейнеры). МГ-контейнеры могут использоваться в качестве картриджей топливных элементов, контейнеров для хранения водородного топлива, источников высокочистого водорода, а также для других целей.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕРЕДВИЖНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ГИДРИДОВ МЕТАЛЛОВ

Transportable devices and systems for hydrogen storage based on metal hydrides

Дата введения — 2025—03—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на передвижные устройства и системы для хранения газообразного водорода на основе гидридов металлов — многоразовые накопительные металлогидридные контейнеры (далее — МГ-контейнеры) с внутренним объемом не более 150 л и максимальным разрешенным давлением не более 25 МПа, в которых водород является единственной переносимой средой, и устанавливает требования к их конструкции и проектированию, к материалам, изготовлению и эксплуатации, а также методы контроля и испытаний МГ-контейнеров. Настоящий стандарт не распространяется на накопительные МГ-контейнеры, предназначенные для использования в качестве стационарных хранилищ топлива на борту транспортных средств, работающих на водороде.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 7225, Gas cylinders — Precautionary labels (Газовые баллоны. Этикетки с предупредительными надписями)

ISO 7866, Gas cylinders — Refillable seamless aluminium alloy gas cylinders — Design, construction and testing (Газовые баллоны. Бесшовные газовые баллоны из алюминиевого сплава многоразового использования. Проектирование, конструкция и испытания)

ISO 9809-1, Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 1: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength less than 1100 MPa (Газовые баллоны. Бесшовные газовые баллоны многоразового использования. Проектирование, конструкция и испытания. Часть 1. Закаленные и отпущенные стальные баллоны с пределом прочности при растяжении менее 1100 МПа.)

ISO 9809-2, Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 2: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength greater than or equal to 1100 MPa (Газовые баллоны. Бесшовные газовые баллоны многоразового использования. Проектирование, конструкция и испытания. Часть 2. Закаленные и отпущенные стальные баллоны с пределом прочности при растяжении больше или равном 1100 МПа.)

ISO 9809-3, Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 3: Normalized steel cylinders (Газовые баллоны. Бесшовные газовые баллоны многоразового использования. Проектирование, конструкция и испытания. Часть 3. Нормализованные стальные баллоны)

ISO 10297:2014, Gas cylinders — Cylinder valves — Specification and type testing (Газовые баллоны. Вентили баллонные. Технические характеристики и типовые испытания)

Издание официальное

ISO 11114-1, Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 1: Metallic materials (Баллоны газовые. Совместимость материалов, из которых изготовлены баллоны и клапаны, с содержимым газом. Часть 1. Металлические материалы)

ISO 11114-2, Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 2: Non-metallic materials (Баллоны газовые. Совместимость материалов, из которых изготовлены баллоны и клапаны, с содержимым газом. Часть 2. Неметаллические материалы)

ISO 11114-4, Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4: Test methods for selecting steels resistant to hydrogen embrittlement (Баллоны газовые переносные. Совместимость материалов, из которых изготовлены баллоны и клапаны, с содержимым газом. Часть 4. Методы испытания для выбора металлических материалов, устойчивых к водородному охрупчиванию)

ISO 11119-1, Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing — Part 1: Hoop wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l (Баллоны газовые. Газовые композитные баллоны и трубы многократного применения. Проектирование, конструкция и методы испытаний. Часть 1. Газовые композитные баллоны и трубы с оболочкой из волокнита по цилиндрической части вместимостью до 450 л)

ISO 11119-2:2012, Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing — Part 2: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with load-sharing metal liners (Баллоны газовые. Газовые композитные баллоны и трубы многократного применения. Проектирование, конструкция и методы испытаний. Часть 2. Газовые композитные баллоны и трубы с оболочкой из волокнита по всей поверхности вместимостью до 450 л и с несущим металлическим лейнером)

ISO 11119-3, Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing — Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450L with non-load-sharing metallic or non-metallic liners (Баллоны газовые. Газовые композитные баллоны и трубы многократного применения. Проектирование, конструкция и методы испытаний. Часть 3. Газовые композитные баллоны и трубы с оболочкой из волокнита по всей поверхности не несущего металлического или неметаллического лейнера вместимостью до 450 л)

ISO 14246, Gas cylinders — Cylinder valves — Manufacturing tests and examinations (Баллоны газовые. Вентили газовых баллонов. Производственные испытания и контроль)

ISO 14687 (all parts), Hydrogen fuel — Product specification (Водородное топливо. Технические условия на продукт)

ISO 16528-1, Boilers and pressure vessels — Part 1: Performance requirements (Котлы и сосуды, работающие под давлением. Часть 1. Требования к рабочим характеристикам)

UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Model Regulations (Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов. Типовые правила)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

ИСО и МЭК используют терминологические базы данных, используемые в целях стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru .

3.1 **абсорбированный** (absorbed): Поглощенный и удерживаемый за счет образования связующих взаимодействий в объеме материала компонент.

3.2 **давление разрыва** (burst pressure): Максимальное давление, создаваемое в МГ-контейнере при испытании на разрушение.

3.3 **расчетный предел напряжений** (design stress limit): Общая нагрузка, создаваемая напряжениями, которая допустима для стенок оболочки.

Примечание — В общей нагрузке учитываются как давление газа, создаваемого в МГ-контейнере, так и другие напряжения, например связанные с расширением сплава, поглощающего водород.

3.4 **картридж для топливного элемента** (fuel cartridge): МГ-контейнер, в котором хранится водород для использования в качестве топлива, подаваемого в топливный элемент через кран(ы), регулирующий(е) подачу топлива.

3.5 **давление полной пропускной способности** (full flow capacity pressure): Давление газа, при котором устройство сброса давления полностью открыто для обеспечения максимального потока газа.

3.6 **сплав, абсорбирующий водород** (hydrogen absorbing alloy) Материал, способный соединяться с газообразным водородом с образованием обратимого металлического гидрида.

3.7 **внутренний элемент** (internal component): Структура, матрица, материал или конструкция, содержащаяся внутри оболочки (за исключением водорода, абсорбирущего водород сплава и гидрид металла).

Примечание — Внутренние элементы могут использоваться для осуществления теплопередачи, ограничения перемещения гидрида металла/абсорбирущего водород сплава и/или предотвращать чрезмерное напряжение на стенки оболочки, вызванное расширением гидрида.

3.8 **внутренний объем** (internal volume): Внутренняя вместимость оболочки.

3.9 **максимальное разрешенное давление;** МРД (maximum developed pressure, MDP): Наибольшее манометрическое давление газа, создаваемое в МГ-контейнере при номинальном объеме водорода и равновесии при нормальных условиях работы или нормальных условиях эксплуатации, максимальное из двух перечисленных.

Примечание — Термин «максимально разрешенное давление» специально предназначен для металлогидридных систем, чтобы не путать его с терминами «максимально допустимое рабочее давление (МДРД)» и «рабочее давление», используемыми в других международных стандартах ИСО.

3.10 **металлический гидрид** (metal hydride): Твердый материал, получающийся при реакции водорода с абсорбирующим водород сплавом.

3.11 **металлогидридный контейнер;** МГ-контейнер (metal hydride assembly, MH assembly): Полностью укомплектованная система хранения водорода, включающая в себя корпус, гидрид металла, регулятор давления, запорный вентиль, другие дополнительные устройства и внутренние компоненты.

Примечание 1 — МГ-контейнер содержит первичный запорный клапан.

Примечание 2 — Картридж для топливного элемента является разновидностью МГ-контейнера.

3.12 **нормальные условия эксплуатации** (normal operating conditions): Диапазон таких значений, как давление, температура внешней оболочки МГ-контейнера, расхода водорода, качества водорода и т.д., указанных для всех операций использования и наполнения.

3.13 **нормальные условия обслуживания** (normal service conditions): Диапазон значений таких параметров, как давление, температура среды, в которых устройство может находиться во время транспортирования и хранения.

3.14 **устройство сброса давления;** УСД (pressure relief device, PRD): Устройство, предназначенное для предотвращения разрыва (разрушения) МГ-контейнера в случае избыточного давления или воздействия пламени.

Примечание — Устройство сброса давления может «срабатывать от давления», то есть быть настроено на значение давления, или может «срабатывать от температуры», то есть быть настроено на температурный режим. Устройство сброса давления может быть как «срабатывающим от давления», так и «срабатывающим от температуры».

3.15 **клапан сброса давления;** КСД (pressure relief valve, PRV): Устройство, используемое для защиты системы от повреждений чрезмерным давлением (КСД).

3.16 **номинальный объем** (rated capacity): Максимальное количество водорода, выделяемое при указанных условиях.

3.17 **номинальное давление заправки;** НДЗ (rated charging pressure, RCP): Максимальное давление, которое может быть создано для заправки МГ-контейнера водородом.

Примечание — НДЗ не обязательно должно соответствовать плато равновесного давления абсорбирующего водород сплава.

3.18 **обратимый гидрид металла** (reversible metal hydride): Металлический гидрид, для которого существует равновесное состояние между абсорбирующим водород сплавом, газообразным водородом и металлическим гидридом.

Примечание — Изменения давления и температуры смещают равновесие, обеспечивающее образование или разложение металлического гидрида на сплав, абсорбирующий водород и газообразный водород.

3.19 **разрыв** (rupture): Разрушение оболочки, способствующее быстрому и интенсивному высвобождению накопленной энергии.

3.20 **оболочка** (shell): Емкость любой формы (цилиндрическая, призматическая, кубическая и др.), содержащая в себе газообразный водород, металлический гидрид и другие внутренние элементы МГ-контейнера.

Примечание — Оболочкой может быть газовый баллон, сосуд высокого давления или резервуар другого типа.

3.21 **уровень напряжений при воздействии МРД** (stress level at MDP): Суммарное воздействие всех нагрузок на стенку оболочки, вызванное металлогидридным материалом при номинальной емкости, газообразным водородом под воздействием МРД и другими механическими нагрузками.

3.22 **давление испытания** (test pressure): Избыточное давление, при котором проводится испытание МГ-контейнера и его элементов на прочность и герметичность.

4 Условия работы и обслуживания

4.1 Давление

4.1.1 Максимально разрешенное давление (МРД)

Значение МРД должно устанавливаться изготовителем с учетом значений температуры и давления для гидрида металла. Значение МРД не должно превышать более чем в 0,8 раза значение давления испытания. МРД не должно превышать 25 МПа.

4.1.2 Номинальное давление заправки (НДЗ)

Значение НДЗ должно указываться изготовителем для исключения возможности заправки при давлении, которое может привести к напряжениям в стенке оболочки, превышающим допускаемые.

4.1.3 Уровень напряжений при МРД

Уровень значений напряжений при МРД должен указываться изготовителем на основании свойств абсорбирующего водород сплава, МРД внутри МГ-контейнера и других механических нагрузок.

4.2 Номинальная вместимость

Значение номинальной вместимости МГ-контейнера должно указываться изготовителем в единицах массы водорода.

4.3 Диапазоны температур

4.3.1 Диапазон температур при эксплуатации

Значения минимальной и максимальной температуры, при которых МГ-контейнер может нормально эксплуатироваться и которые указывает изготовитель.

4.3.2 Рабочий диапазон температур

Значения минимальной и максимальной температуры оболочки при нормальных рабочих условиях должны составлять от минус 40 °С (минимальное значение) до плюс 65 °С (максимальное значение). Если максимальная и минимальная температуры корпуса отличаются от указанных, они должны быть указаны изготовителем.

4.4 Влияние внешних факторов

Предполагается, что МГ-контейнеры будут подвергаться воздействию внешних факторов, например вибрации и ударам, разным уровням влажности и коррозии на протяжении всего срока службы. Изготовитель должен указывать параметры окружающей среды, в которой может эксплуатироваться МГ-контейнер.

4.5 Срок службы

Срок службы МГ-контейнера должен указываться изготовителем для условий эксплуатации и обслуживания, определенных в настоящем стандарте. Срок службы не превышает значение, указанное в стандарте, в соответствии с которым была разработана оболочка (см. 5.3).

4.6 Качество водорода

Качество газообразного водорода, который должен использоваться для заправки МГ-контейнера, должно быть определено изготовителем в соответствии с ИСО 14687 (все части) или эквивалентным национальным стандартом.

Если качество водорода считается ключевым параметром, определяющим работоспособность МГ-контейнера, то изготовитель может включить информацию о качестве водорода в паспорт изделия.

4.7 Специальные условия эксплуатации и обслуживания

Любые дополнительные условия, которые необходимы для безопасной эксплуатации, обращения и использования МГ-контейнера, должны быть указаны изготовителем.

5 Требования к проектированию

5.1 Общие требования

МГ-контейнер должен быть спроектирован и изготовлен таким образом, чтобы предотвратить утечку водорода или вынос частиц металлического гидрида при нормальных рабочих условиях эксплуатации.

5.2 Выбор материалов

5.2.1 Общие требования

Элементы МГ-контейнера должны быть выполнены из материалов, обеспечивающих их работоспособность в течение всего срока эксплуатации. Элементы, которые находятся в контакте с газообразным водородом и/или металлическим гидридом, должны быть в достаточной мере стойкими к физико-химическому воздействию на них при нормальных условиях эксплуатации для поддержания эксплуатационной целостности и герметичности защитной оболочки.

Абсорбирующие водород сплавы и/или металлогидридные материалы, которые классифицируются как взрывчатые вещества типа I в соответствии с Рекомендациями ООН по перевозке опасных грузов, не должны использоваться в МГ-контейнерах.

5.2.2 Наружные поверхности

Оболочка МГ-контейнера, запорный клапан, УСД и другие устройства должны быть устойчивыми к внешним факторам, определенным в 4.4. Устойчивость к этим условиям может быть обеспечена за счет использования материалов, изначально устойчивых к воздействию внешних факторов, или путем нанесения стойких покрытий на компоненты. Внешняя защита может быть обеспечена обработкой поверхности, дающей необходимую защиту от коррозии (например, металлизация или анодирование) или нанесением защитных покрытий (например, органические соединения или краска). Если наружное покрытие является частью конструкции, то покрытие должно быть оценено с использованием допустимых методов испытаний, указанных в приложении В. Все покрытия, наносимые на МГ-контейнеры, должны быть такими, чтобы процесс нанесения не оказывал отрицательного влияния на механические свойства корпуса или характеристики и работу других компонентов. Покрытия должны быть такими, чтобы облегчить плановую проверку в процессе эксплуатации, а изготовитель должен предоставить рекомендации по обслуживанию покрытия во время таких проверок для обеспечения работоспособности МГ-контейнера.

5.2.3 Совместимость

Должна быть учтена совместимость материалов МГ-контейнеров с техническими жидкостями и твердыми веществами, особенно в отношении водородного охрупчивания. Описание совместимости материалов с газами представлено в ИСО 11114-1 и ИСО 11114-2. Материалы, необходимые для герметичности и обеспечения прочности конструкции МГ-контейнера и его внутренних и внешних компонентов, должны быть устойчивы к водородному охрупчиванию, высокотемпературному водородному воздействию и реакционной способности с содержащимися в них материалами и сохранять прочность в течение срока службы МГ-контейнера. Методы испытания для выбора металлов, стойких к водородному охрупчиванию, способных работать под давлением и обеспечивать прочность конструкции, определены ИСО 11114-4. Следует учитывать влияние, которое может оказывать температура на водородное охрупчивание.

Следует учитывать все химические соединения, которые могут присутствовать в полностью заполненном, частично заполненном и опорожненном состояниях МГ-контейнера, и их потенциальную реакционную способность с материалом МГ-контейнера. Комбинация использованных материалов МГ-контейнера должна обеспечить его проектную надежность и долговечность.

Примечание — Сведения о подверженности водородному охрупчиванию металлов представлены в ISO/TR 15916. Дополнительные материалы по водородному охрупчиванию и совместимости приводятся в приложении А.

5.2.4 Температура

Материалы МГ-контейнера должны обеспечивать его нормальную эксплуатацию во всем диапазоне температур, определенном в 4.3.1 и 4.3.2.

5.3 Проектирование оболочки

5.3.1 Емкости объемом более 120 мл

Оболочка МГ-контейнеров должна проектироваться и подвергаться испытаниям в соответствии с ИСО 7866, ИСО 9809-1, ИСО 9809-3, ИСО 11119-1, ИСО 11119-2, ИСО 11119-3, иначе изготовитель должен доказать работоспособность конструкции или оболочки, если они не входят в вышеупомянутые стандарты, в соответствии с ИСО 16528-1. Оболочки, разработанные и испытанные в соответствии с ИСО 9809-1, должны иметь предел прочности при растяжении меньше 950 МПа. Оболочки, разработанные и испытанные в соответствии с ИСО 11119-1 или ИСО 11119-2, для которых используются бесшовные стальные лайнеры в соответствии с ИСО 9809-2 или ИСО 9809-1, должны иметь предел прочности меньше 950 МПа. Оболочки, спроектированные с проверкой эксплуатационных характеристик в соответствии с ИСО 16528-1, считаются сосудами высокого давления.

Вместимость оболочек не должна быть более 150 л, максимальное разрешенное давление — не более 25 МПа. Максимальные пределы напряжений, указанные в 5.4, а также воздействие температур на МГ-контейнеры не должны превышать значения, предписанные стандартами на разработку оболочек.

Примечание — Эквивалентное давление газа, принятое в расчетах равным уровню напряжения при МРД, может быть использовано в качестве расчетного гидравлического испытательного давления для определения минимальной толщины стенки оболочки.

5.3.2 Емкости объемом 120 мл и менее

Конструкция оболочек МГ-контейнеров с внутренним объемом 120 мл и менее должна проектироваться в соответствии с требованиями к оболочкам 5.3.1 и удовлетворять следующим критериям:

a) давление в МГ-контейнере не должно превышать 5 МПа при температуре 55 °С в состоянии, когда МГ-контейнер заправлен водородом до номинального объема;

b) конструкция МГ-контейнера должна соответствовать требованиям 6.2.3 и выдерживать без нарушения герметичности или разрыва оболочки максимальное из перечисленных далее давлений: давление, равное двукратному давлению в МГ-контейнере при температуре 55 °С в заправленном водородом до номинального объема или 1,6-кратному давлению при максимальной рабочей температуре в заправленном водородом до номинального объема либо давление, большее на 200 кПа, чем МРД, при температуре 55 °С.

5.4 Проектная прочность

При проектировании оболочки должен учитываться предел напряжений, в 1,25 раза превышающий МРД. Учет факторов, влияющих на уровень напряжения при МРД, должен включать (но не ограничиваться этим) следующее:

- 1,25 × МРД;
- тепловые напряжения, в том числе разные нагрузки из-за термического расширения и сжатия;
- массу содержимого МГ-контейнера в любом из его возможных состояний;
- ударные и вибрационные нагрузки;
- максимальные напряжения с учетом расширения сплава, абсорбирующего водород;
- другие механические нагрузки.

Для проверки того, что предельные напряжения оболочки МГ-контейнера не превышают установленных значений, оболочка должна быть подвергнута испытанию циклической нагрузкой водородом с измерением напряжений, описанных в 6.2.6.

Примечание — Процесс поглощения и последующего выделения водорода из абсорбирующего водород сплава вызывает его расширение и сжатие. Это может приводить к большим напряжениям в частицах сплава, вызывающим его разрушение с разделением на мелкие частицы. Это явление называется декрипитацией. После нескольких циклов заправки/разрядки средний размер частиц может значительно уменьшиться. Деформации в стенках МГ-контейнера могут развиваться в результате расширения абсорбирующего водород сплава во время гидрирования и изменений в конфигурации за счет декрипитации на протяжении всего срока службы МГ-контейнера. Значение расширения/сжатия может значительно изменяться в зависимости от используемого абсорбирующего водород сплава.

5.5 Защита от повышенного давления и пламени

5.5.1 Общие требования

МГ-контейнер должен быть защищен одним или несколькими УСД саморазрушающегося типа, например термически активируемыми устройствами сброса давления, разрывными мембранами, диафрагмами или устройствами многоразового действия, например повторно-герметизируемыми пружинными УСД. МГ-контейнер и любой дополнительный компонент (например, изоляционный или защитный материал) должны совместно подвергаться испытанию на огнестойкость по методике, описанной в 6.2.2. УСД должно соответствовать требованиям 5.5.2, 5.5.3 и дополнительным требованиям уполномоченного государственного органа по техническому регулированию.

Для МГ-контейнера с внутренним объемом 120 мл или менее могут быть использованы и другие средства защиты от превышения давления, например выпуск через устройство, встроенное в оболочку. МГ-контейнеры с альтернативными средствами сброса давления должны удовлетворять критериям приемки по результатам испытания на огнестойкость, определенным в 6.2.2.

Повторно герметизируемый УСД не рекомендуется для применения с МГ-контейнерами с композитными или алюминиевыми оболочками. Для этих МГ-контейнеров изготовитель должен использовать другой тип защиты от избыточного давления и пламени.

5.5.2 Давление срабатывания устройства сброса давления

Давление срабатывания устройства сброса давления должно указываться изготовителем и превышать МРД, но менее чем в 1,25 раза. При этом значение давления срабатывания УСД никогда не должно превышать значение давления испытания оболочки. Для клапанов сброса давления также должно указываться максимальное значение давления срабатывания устройства сброса давления, и оно также не должно превышать значение давления испытания оболочки.

5.5.3 Температура срабатывания устройства сброса давления

Значение температуры, при которой срабатывает УСД, должно указываться изготовителем и соответствовать равновесному значению давления в МГ-контейнере либо быть меньше, чем МРД, в 1,25 раза. Ни в коем случае значение температуры срабатывания термоактивируемого УСД не должно создавать эквивалентное давление внутри МГ-контейнера, превышающее давление испытания оболочки. Значение номинального давления срабатывания устройства сброса давления должно быть больше максимально разрешенного давления при всех температурах, меньших или равных максимальной рабочей температуре плюс 10 °С (максимальное давление из всех вариантов). Ни при каких обстоятельствах значение температуры срабатывания УСД не должно быть ниже максимальной рабочей температуры.

В соответствии с определением МРД равновесное давление должно быть меньше МРД в 1,25 раза в соответствии с 4.1.1 и 5.4. Как следствие, давление внутри МГ-контейнера не может превышать испытательное давление оболочки при температуре срабатывания.

5.6 Загрузка сплава, поглощающего водород

Процедуры загрузки сплава и проведения проверочных испытаний должны обеспечивать последующую абсорбцию (поглощение) водорода абсорбирующим сплавом/металлогидридом, находящимся в МГ-контейнере.

5.7 Запорные клапаны

5.7.1 Общие требования

МГ-контейнер должен включать в себя запорный клапан, который закрывается, когда МГ-контейнер отключается от заправочного или газового оборудования. Запорный клапан может быть с ручным управлением либо приводиться в действие автоматически.

Все МГ-контейнеры оснащаются средствами защиты запорных клапанов, которые соответствуют требованиям 5.7.4 и 5.7.5.

При выборе запорного клапана необходимо проверять качество уплотнителя и его способность удерживать разряжение в МГ-контейнере.

Примечание — В зависимости от значений температуры и давления гидридов металлов допускается давление внутри МГ-контейнера ниже значения давления окружающей среды.

5.7.2 МГ-контейнеры с внутренним объемом свыше 120 мл

Запорные клапаны должны соответствовать ИСО 10297, или его эквиваленту, со следующими особенностями:

a) давление, превышающее МРД в три раза, используется в качестве перепада давления клапана;

b) значение давления испытания клапана p_{vt} составляет 1,5 значения МРД;

c) давление газа для испытания клапана под давлением должно составлять 0,5 значения МРД.

Кроме того, запорный клапан должен соответствовать всем требованиям и испытаниям, предписанным в настоящем стандарте.

В качестве альтернативы, если запорный клапан не соответствует полностью требованиям ИСО 10297 или его эквивалентам, конструкция и характеристики запорного клапана должны соответствовать всем требованиям и испытаниям, предписанным в настоящем стандарте, а также следующим требованиям:

- материалы должны соответствовать требованиям ИСО 10297:2014, 4.3;
- требования к испытаниям определяются ИСО 10297:2014, пункты 6.1—6.8, поскольку они применяются к испытаниям, предписанным ниже, за исключением испытательного давления клапана p_{vt}, которое должно быть в 1,5 раза больше значения МРД;
- гидравлическое испытание на воздействие давлением по ИСО 10297:2014, 6.9, за исключением того, что значение испытательного давления должно быть в три раза выше МРД;
- испытание на герметичность по ИСО 10297:2014, 6.11, где p_{vt} должно быть в 1,5 раза выше МРД;
- испытание на долговечность по ИСО 10297:2014, 6.12, с использованием давления газа, превышающего МРД в 0,5 раза. Если запорный клапан не оснащен маховиком, значения сил и крутящих моментов, используемых при испытании на долговечность, должны соответствовать тем, которые используются в процессе эксплуатации для открывания и закрывания клапана. До и после испытания на долговечность запорный клапан должен быть испытан на герметичность внутренних и внешних элементов при испытательном давлении, в 1,5 раза превышающем МРД, при минимальной и максимальной рабочей температуре. Скорость утечки, меньшая или равная 6 нормальным $см^3$/ч (нормальные условия: температура 0 °C и абсолютное давление 101,325 кПа), должна быть допустимой.

Минимальное номинальное давление запорного клапана должно составлять 1,5 МРД.

Изготовитель запорного клапана должен указывать, что запорный клапан соответствует требованиям ИСО 14246.

5.7.3 МГ-контейнеры с внутренним объемом 120 мл и менее

Для МГ-контейнеров с внутренним объемом 120 мл и менее конструкция и характеристики запорных клапанов должны удовлетворять требованиям и пройти испытания, предписанные настоящим стандартом:

- материалы должны соответствовать требованиям ИСО 10297:2014, 4.3;
- требования к испытаниям ИСО 10297:2014, пункты 6.1—6.8, поскольку они применяются к испытаниям, предписанным ниже, за исключением испытательного давления клапана p_{vt}, которое должно составлять 1,5 МРД;
- гидравлическое испытание на воздействие давлением по ИСО 10297:2014, 6.9, за исключением того, что значение испытательного давления должно соответствовать 5.3.2, перечисление b), и испытание может проводиться пневматически;
- испытание на герметичность по ИСО 10297:2014, 6.11, где p_{vt} должно быть в 1,5 раза выше значения МРД. Закрытие клапана может быть определено с помощью измерения момента сопротивления, определения сжатия или других подходящих способов, а испытательным газом должен быть гелий;
- испытание на долговечность по ИСО 10297:2014, 6.12, с использованием давления газа, превышающего МРД в 0,5 раза, и минимальным количеством циклов открытия-закрытия, равным 100. Если запорный клапан не оснащен маховиком, значения сил и моментов сопротивления, используемых при испытании на долговечность, должны соответствовать тем, которые используются в процессе экс-

плуатации для открывания и закрывания клапана. До и после испытания на долговечность запорный клапан должен быть испытан на герметичность внутренних и внешних элементов при испытательном давлении, в 1,5 раза превышающем МРД, при минимальной и максимальной рабочих температурах. Скорость утечки, меньшая или равная 3 нормальным $см^3$/ч (нормальные условия: температура 0 °С и абсолютное давление 101,325 кПа), должна быть допустимой.

Минимальное давление испытания запорного клапана должно составлять 1,5 МРД.

Минимальное номинальное давление запорного клапана должно быть по меньшей мере равно МРД.

Кроме того, изготовитель запорного клапана должен указывать, что запорный клапан соответствует требованиям ИСО 14246.

5.7.4 Встроенная защита запорного клапана

Конструкция МГ-контейнера, в котором используется встроенная защита клапана, которая не предназначена для снятия ее при эксплуатации, например использование кожуха, манжеты или углубления клапана в МГ-контейнере, должна удовлетворять требованиям испытания на падение по 6.2.4.

5.7.5 Съемная защита запорного клапана

Конструкции МГ-контейнеров, в которых используются съемные средства защиты клапана, которые могут сниматься при эксплуатации контейнера, например крышка, колпак или защита, должны удовлетворять требованиям испытания на падение, описанным в 6.2.4, с установленным защитным средством и удовлетворять требованиям ударного испытания по 6.2.7 без установленного защитного средства.

Съемные средства защиты запорного клапана, прошедшие испытания на падение согласно 6.2.4, считаются пригодными к использованию при условии, что масса заправленного МГ-контейнера равна или меньше массы МГ-контейнера, использованного при испытаниях, и при условии, что размеры запорных клапанов МГ-контейнера не превышают размеры клапанов, которые участвовали в испытаниях.

5.8 МГ-контейнеры с активным охлаждением

МГ-контейнеры с активной системой охлаждения для контроля и/или изменения температуры системы должны проектироваться с обеспечением свободного протока жидкой среды между МГ-контейнером и системой охлаждения. При проведении испытания на циклические нагрузки и измерении напряжений по 6.2.6 система охлаждения должна работать.

Некоторые охлаждающие жидкости могут вступать в реакцию с гидридами. Если используется такой хладагент, это должно быть учтено при оценке риска.

5.9 Защита от пыли

Наличие пыли не должно влиять на работу клапанов или устройств сброса давления. С этой целью могут использоваться средства защиты от пыли. МГ-контейнеры должны удовлетворять требованиям испытания на огнестойкость по 6.2.2, испытания на циклические нагрузки и измерению напряжения по 6.2.6.

6 Контроль и испытания

6.1 Общие положения

Чтобы гарантировать соответствие МГ-контейнеров настоящему стандарту, они должны быть проверены и испытаны согласно настоящему разделу.

6.2 Типовые/квалификационные испытания

6.2.1 Общие требования

Типовые испытания должны проводиться для проверки соответствия конструкции МГ-контейнера техническим требованиям. МГ-контейнер, подвергаемый типовым испытаниям, должен представлять образец произведенного МГ-контейнера. Данные для всех типовых испытаний следует получать с помощью освидетельствованных приборов.

Любые изменения в конструкции оболочки, абсорбирующего водород сплава, процесса изготовления или процедуры загрузки абсорбирующего водород сплава требуют повторного испытания на огнестойкость по 6.2.2, испытания на падение по 6.2.4 и испытания с применением циклической нагрузки

и измерений деформаций по 6.2.6 и, если это применимо, проведения термического циклического испытания по 6.2.8.

Соблюдение настоящего стандарта должно подтверждаться для каждой конструкции МГ-контейнера при получении сертификата о типовом одобрении. Пример оформления сертификата приводится в приложении С.

6.2.2 Испытание на огнестойкость

6.2.2.1 Общие требования

Испытание на огнестойкость должно проводиться для новых МГ-контейнеров всех типов с целью демонстрации того, что система защиты от пламени, например устройство сброса давления и/или встроенная теплоизоляция, предотвращает разрушение МГ-контейнера при условиях воздействия пламени. Условия испытания на огнестойкость должны соответствовать условиям, предложенным в справочном стандарте, используемом для конструкции оболочки в 5.3.

Любое существенное изменение конструкции, как это определено в стандарте (см. 5.3), по которому изготовлена оболочка (изменение диаметра или длины, типа материала корпуса и минимальной расчетной толщины), и каких-либо изменений типа, количества или пропускной способности УСД, средств улавливания твердых частиц или водородабсорбирующего сплава должно сопровождаться проведением повторных испытаний на огнестойкость.

В качестве исключения изготовитель может использовать данные и инженерные расчеты, основанные на результатах предыдущих испытаний на огнестойкость существующих конструкций, в случае внесения изменений в конструкцию, которые уменьшили бы риск разрушения оболочки при испытании на огнестойкость (например, уменьшение длины оболочки или увеличение пропускной способности УСД), чтобы показать, что новая конструкция не требует повторного испытания на огнестойкость.

При проведении испытания должны быть приняты необходимые меры по обеспечению безопасности персонала и оборудования в случае разрушения контейнера.

6.2.2.2 Подготовка образцов

МГ-контейнер должен быть заправлен водородом до номинального объема.

6.2.2.3 Получение и регистрация данных

Значения температуры и давления в МГ-контейнере должны контролироваться дистанционно и регистрироваться через интервалы времени не более 15 с. Должен быть установлен клапан, позволяющий сбрасывать давление из МГ-контейнера в случае неисправности испытательного оборудования или МГ-контейнера.

Кроме значений температуры и давления для каждого испытания также должна регистрироваться следующая информация:

- изготовитель МГ-контейнера;
- номер модели или части МГ-контейнера;
- уникальное обозначение;
- тип и характеристики устройства сброса давления;
- местонахождение и положение устройства сброса давления;
- дата проведения испытания;
- номинальное давление заправки МГ-контейнера;
- число циклов заправки/разрядки контейнера, которые претерпел МГ-контейнер;
- рабочее положение МГ-контейнера (вертикальное, горизонтальное или перевернутое);
- окружающая температура;
- приблизительные сила и направление ветра;
- фамилии, инициалы, должности участников испытания;
- момент срабатывания устройства сброса давления;
- время проведения следующего испытания.

В случае конструкций МГ-контейнера, которые содержат небольшое количество водорода, что препятствует точному мониторингу давления во время испытания на огнеупорность, должно быть дано пояснение причины невозможности контроля давления во время испытания на огнестойкость с описанием средства для определения момента срабатывания устройства сброса давления.

6.2.2.4 Испытательная установка, источник пламени и метод испытания

Испытания на огнестойкость должны проводиться не менее чем на трех МГ-контейнерах с разной пространственной ориентацией рабочего положения, в которых они предназначены для использования и/или транспортирования. В случае если пространственная ориентация рабочего положения МГ-контейнеров и их транспортирования не указана, испытанию на огнестойкость должны быть подвер-

гнуты по крайней мере три контейнера в вертикальном и горизонтальном положениях и в любом другом положении, исходя из асимметрии конструкции МГ-контейнера, если это требование применимо. Должно быть проведено по крайней мере одно испытание с устройством сброса давления, направленным в сторону источника пламени, и по крайней мере одно испытание с устройством сброса давления, ориентированным под 180° по отношению к источнику пламени.

МГ-контейнеры по всей своей ширине должны подвергаться воздействию источника пламени на участке своего корпуса длиной не более 1,65 м. Для МГ-контейнеров длиной менее 1,65 м источник пламени должен полностью охватывать МГ-контейнер. Контейнеры длиной более 1,65 м, оборудованные несколькими клапанами сброса давления, отстоящими более чем на 1,65 м, должны подвергаться испытанию на огнестойкость с частичным охватом пламенем в горизонтальном положении. Если контейнер имеет длину более 1,65 м, оборудован устройством сброса давления на одном конце, то воздействию источника пламени должен подвергаться противоположный конец контейнера. Если контейнер оборудован устройствами сброса давления на обоих концах или более чем в одной позиции по длине контейнера, то источник пламени должен размещаться по центру и посредине между устройствами сброса давления, находящимися на наибольшем расстоянии друг от друга по горизонтали. В ходе испытания на огнестойкость устройства сброса давления запорные клапаны и фитинги также должны подвергаться воздействию источника пламени.

Для контейнеров длиной менее 0,30 м устройство для измерения температуры должно быть установлено не далее 0,05 м, но без контакта с поверхностью контейнера на каждом конце. Для контейнеров длиной более 0,30 м устройство для измерения температуры должно быть установлено на каждом конце и в средней точке. Устройства для измерения температуры могут быть вставлены в металлические блоки (гильзы) (со стороной не более 0,025 м).

МГ-контейнеры должны подвергаться испытанию прямым воздействием пламенем пролива. Должно быть обеспечено достаточное количество жидкого топлива для поддержания горения в течение не менее 20 мин. МГ-контейнер должен помещаться в испытательном положении на расстоянии не менее 0,1 м от открытого пламени или на большем расстоянии для обеспечения полного охвата пламенем. Пламя должно полностью охватывать контейнер.

В качестве источника пламени может использоваться любое топливо при условии, что оно обеспечивает равномерный нагрев, достаточный для поддержания условий испытания в течение минимум 20 мин. Испытание на огнестойкость следует проводить в хорошо проветриваемом помещении или на открытой площадке в целях безопасности. При выборе топлива необходимо учитывать связанное с его использованием загрязнение воздуха. Условия воздействия пламени должны быть подробно зарегистрированы для возможности воспроизведения интенсивности подведения тепла.

В данном испытании могут использоваться МГ-контейнеры, которые были подвергнуты циклическому и тензометрическому испытаниям по 6.2.6.

6.2.2.5 Критерии допуска

Любые сбои или несоответствия условиям испытания источника пламени делают результаты недействительными. В этом случае должно быть проведено повторное испытание. Любые утечки или разрушения во время испытания оболочки, клапана, фитинга или трубной обвязки, которые не являются частью технологической испытуемой системы, делают результаты недействительными и в этом случае должно быть проведено повторное испытание.

Конструкция МГ-контейнера может считаться прошедшей испытание на огнестойкость, если для всех достоверных случаев не наблюдалось ее разрушений и удовлетворялся один из следующих критериев:

- устройства сброса давления или аналогичные устройства всех МГ-контейнеров, подвергнутых испытанию на огнестойкость, сбрасывали давление таким образом, что в каждом МГ-контейнере оно снижалось до нулевого избыточного значения без разрушения МГ-контейнера, или
- все МГ-контейнеры, подвергнутые испытанию на огнестойкость, выдержали воздействие пламени в течение минимум 20 мин без разрушения.

6.2.3 Испытания на разрушение МГ-контейнеров с внутренним объемом до 120 мл или меньше

Не менее трех МГ-контейнеров должны быть подвергнуты испытанию на разрыв (разрушение) на соответствие 5.3.2, перечисление b). Гидравлические или пневматические испытания на разрушение проводят по одинаковому алгоритму. Все разрывы должны происходить одинаковым образом при всех проведенных испытаниях. Скорость повышения давления должна составлять менее 345 кПа/с.

При проведении испытаний необходимо соблюдать правила техники безопасности оборудования и персонала. В частности, во время пневматического испытания на разрыв (разрушение) персонал должен находиться на безопасном расстоянии от установки во избежание риска ранения вырвавшимся газом и разлетающимися при разрыве (разрушении) крупными осколками.

6.2.4 Испытание на падение с высоты или удар

6.2.4.1 Общие требования

6.2.4.1.1 МГ-контейнер массой 25 кг или менее

Все конструкции МГ-контейнеров с массой 25 кг и менее должны удовлетворять требованиям испытания на падение с высоты. Любое существенное изменение конструкции, согласно 5.3, в соответствии с которым спроектирована оболочка (изменения диаметра, длины, типа материала корпуса и минимальной расчетной толщины) и любые изменения в запорном клапане, средствах удержания твердых частиц или загруженной массе поглощающего водород сплава, требует повторного испытания на падение с высоты.

Поверхность, на которую сбрасываются МГ-контейнеры, должна быть гладкой горизонтальной бетонной или стальной. После первоначального удара контейнер должен подпрыгивать на бетонной или стальной поверхности. Не должно предприниматься никаких попыток предотвращения отскока и вторичного воздействия. Для поддержания положения допускается использовать направляющую рейку при условии, что она не снижает скорость свободного падения.

6.2.4.1.2 МГ-контейнеры массой более 25 кг

Все МГ-контейнеры массой более 25 кг должны соответствовать требованиям испытания на ударное воздействие тупым предметом. Любое существенное изменение конструкции, согласно 5.3, в соответствии с которым спроектирована оболочка (изменения диаметра, длины, типа материала корпуса и минимальной расчетной толщины) и любые изменения в запорном клапане, средствах удержания твердых частиц или загруженной массе поглощающего водород сплава требует повторного испытания на ударное воздействие тупым предметом.

6.2.4.2 Подготовка образцов МГ-контейнеров с массой 25 кг или менее

МГ-контейнеры, используемые для этих испытаний, должны иметь встроенную или съемную защиту запорного клапана (см. 5.7.4 и 5.7.5). МГ-контейнеры должны иметь такой же вес (±2 %), плотность упаковки и внутреннюю структуру, что и серийные МГ-контейнеры. Вместо абсорбирующего водород сплава может использоваться балластный материал. МГ-контейнеры не должны находиться под давлением.

6.2.4.3 Процедура испытания на падение

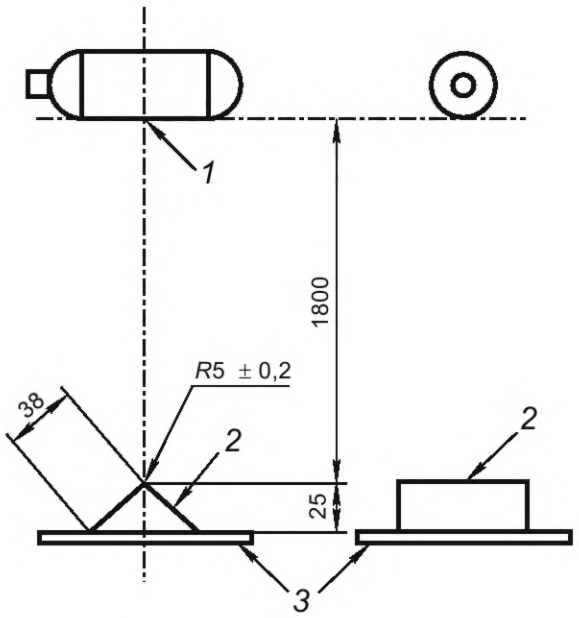
МГ-контейнеры должны подвергаться испытанию на падение в соответствии со следующими условиями. Для всех испытаний на падение [перечисления a) — c)] может использоваться один МГ-контейнер. Испытания проводятся при комнатной температуре $\left(20^{+10}_{-5}\right)$ °C:

a) один МГ-контейнер сбрасывают вертикально на торец, в который встроен блок запорного клапана. Другой МГ-контейнер сбрасывают вертикально на противоположный запорному клапану торец. В обоих случаях МГ-контейнер сбрасывают с высоты не менее 1,8 м, измеренной от нижнего торца МГ-контейнера;

b) один МГ-контейнер должен сбрасываться под углом 45° на торец, в который встроен запорный клапан, с такой высоты, чтобы центр тяжести МГ-контейнера находился на высоте не менее 1,8 м. Если нижний конец МГ-контейнера находится на высоте меньше 0,6 м, то угол сбрасывания должен быть изменен для сохранения нижнего конца МГ-контейнера и центра тяжести на минимальных высотах 0,6 и 1,8 м соответственно. Если запорный клапан, устройство сброса давления и другие принадлежности установлены на обоих концах МГ-контейнера, то он должен сбрасываться под углом 45° на его самый уязвимый торец;

c) один МГ-контейнер должен сбрасываться горизонтально с высоты 1,8 м на стальной конек, как показано на рисунке 1. МГ-контейнер должен располагаться так, чтобы его центр тяжести находился над закругленной кромкой стального конька, как показано на рисунке 1. Для предотвращения перемещения стального конька в результате удара МГ-контейнера стальной конек должен быть прикреплен к бетонной плите или настилу. МГ-контейнер должен удариться о стальной конек до удара о бетонную плиту или настил;

d) если МГ-контейнер имеет сложную конструкцию оболочки (например, оболочки, сконструированные по ИСО 11119-1, ИСО 11119-2 или ИСО 11119-3), то по меньшей мере для проведения испытаний по перечислениям a) и b) необходимо использовать по одному дополнительному МГ-контейнеру.



1 — центр тяжести; *2* — стальной конек; *3* — гладкая, горизонтальная бетонная плита или настил

Рисунок 1 — Испытание МГ-контейнера падением на конек

6.2.4.4 Критерии допуска для МГ-контейнеров массой 25 кг или менее

6.2.4.4.1 Общие требования

После всех испытаний на падение запорный клапан не должен быть поврежден и должен работать нормально (т. е. открываться и закрываться).

Все МГ-контейнеры, подвергнутые испытаниям на падение, должны быть осмотрены визуально и все замеченные повреждения должны быть зарегистрированы. Все контейнеры должны быть подвергнуты испытанию на герметичность согласно 6.2.5 при температуре $\left(20\,^{+10}_{-5}\right)$ °C и МРД и удовлетворять критериям приемки.

МГ-контейнеры, прошедшие испытание на падение согласно 6.2.4.3, перечисление d), должны быть дополнительно подвергнуты испытаниям на циклическую нагрузку согласно ИСО 11119-2:2012, 8.5.5, и выдержать 3000 циклов повышения давления, составляющего 5/6 МРД, без повреждений, разрывов и утечек.

После успешного завершения испытаний на герметичность и, если необходимо, испытаний на циклическую нагрузку, указанных выше, все МГ-контейнеры должны пройти испытания на воздействие давления до разрушения согласно 6.2.4.4.2 или 6.2.4.4.3 и соответствовать критериям приемки.

6.2.4.4.2 МГ-контейнеры с внутренним объемом свыше 120 мл

МГ-контейнеры должны быть подвергнуты давлению вплоть до разрушения с использованием гидростатического испытания на разрыв (разрушение). Зарегистрированное давление разрыва должно превышать 85 % минимального давления разрыва оболочки, указанного в стандарте, в соответствии с которым она была изготовлена. Все разрывы должны происходить в соответствии со стандартом, по которому была рассчитана конструкция оболочки, одинаково для всех выполненных испытаний.

6.2.4.4.3 МГ-контейнеры с внутренним объемом до 120 мл включительно

МГ-контейнеры должны быть подвергнуты давлению вплоть до разрушения с использованием гидростатического или пневматического испытания на разрыв (разрушение). Зарегистрированное давление разрыва должно превышать 85 % минимального давления разрыва оболочки, указанного в 5.3.2. Все разрывы должны происходить в соответствии с первоначальным испытанием на разрыв, указанным в 6.2.3, и одинаково для всех выполненных испытаний.

Необходимо обеспечить меры безопасности для персонала и оборудования. В частности, во время испытания на пневматический разрыв (разрушение) необходимо учитывать потенциальную энергию выброса большого количества сохраненной энергии и потенциально опасных материалов в результате разрыва оболочки.

6.2.4.5 Испытание на ударное воздействие тупым предметом на МГ-контейнер массой более 25 кг

Оболочки МГ-контейнеров, спроектированные и испытанные в соответствии с ИСО 7866, ИСО 9809-1, ИСО 9809-3, ИСО 11119-1, ИСО 11119-2, ИСО 11119-3, имеющие массу более 25 кг, должны быть подвергнуты испытанию на ударное воздействие тупым предметом в соответствии с 6.2.4.6.

Оболочки МГ-контейнеров, спроектированные с проверкой работоспособности в соответствии с ИСО 16528, должны быть испытаны в соответствии с процедурой для оболочек типа 1 и типа 2, следуя процедуре, описанной в 6.2.4.6. Испытание на ударное воздействие тупым предметом должно проводиться в месте с наименьшей толщиной оболочки.

6.2.4.6 Процедура испытания на ударное воздействие тупым предметом

Если МГ-контейнеры используют оболочки типа 1 и типа 2, одна пустая оболочка должна подвергаться двум ударным воздействиям: испытание на ударное воздействие тупым предметом должно проводиться в месте с наименьшей толщиной оболочки:

a) на боковой стенке МГ-контейнера посередине между концами;

b) в конце обмотки рядом со сводами для оболочки типа 2.

Если МГ-контейнеры используют оболочки типа 3 и типа 4, одна пустая оболочка должна подвергаться двум ударным воздействиям в каждом из следующих положений:

a) на боковой стенке МГ-контейнера посередине между крайними точками (торцами);

b) под углом 45° для удара по выступу трубы (средняя длина дуги у свода).

Удар может быть нанесен путем сбрасывания соответствующего веса или маятниковым ударом.

МГ-контейнер должен быть закреплен таким образом, чтобы он не перемещался во время ударного воздействия. Ударный элемент должен быть изготовлен из стального стержня диаметром от 70 до 80 мм. Энергия удара должна быть 1200 Дж.

Параметры для контроля и фиксации результатов — это внешний вид после каждого удара. Следует фиксировать положение и размеры повреждений от удара.

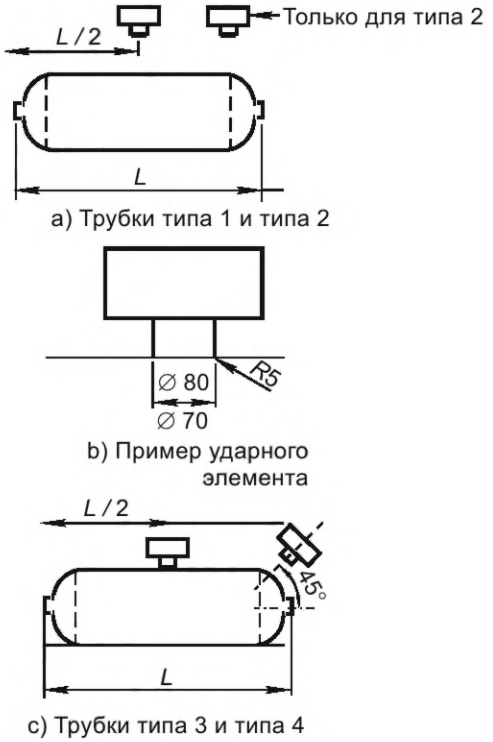


Рисунок 2 — Схема испытания на ударное воздействие тупым предметом

6.2.4.7 Критерии допуска для МГ-контейнеров массой более 25 кг

Оболочка должна выдерживать N/4 цикла повышения давления при МРД без разрушения в результате разрыва или утечки. Испытание должно продолжаться в течение еще N циклов или до тех пор, пока оболочка не выйдет из строя из-за утечки, в зависимости от того, что произойдет раньше. В любом из вышеупомянутых случаев считается, что МГ-контейнер прошел испытание. Однако если отказ во время этой второй части испытания вызван разрывом, то считается, что МГ-контейнер не выдержал испытания. N — количество циклов, требуемое в стандартах на оболочки, например для ИСО 7866 число циклов составляет 12 000.

Параметры, которые необходимо фиксировать во время этих испытаний, следующие:

a) температура МГ-контейнера;

b) количество циклов, при котором достигается верхнее циклическое давление;

c) минимальное и максимальное давления в цикле;

d) частота циклов;

e) среда, используемая для испытания;

f) тип неисправности при возникновении.

6.2.5 Испытание на герметичность

6.2.5.1 Процедура проведения испытаний

МГ-контейнер должен быть заправлен водородом, гелием или их смесью и испытываться на утечки при условиях, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 — Условия температуры/давления для испытания на герметичность

Температура	Давление
Минимальная рабочая температура	НДЗ
$\left(20\ ^{+10}_{-5}\right)$ °C	НДЗ
Самая высокая температура между максимальной рабочей температурой или максимальной температурой эксплуатации	НДЗ

Перед помещением контейнера в замкнутую зону для проведения испытаний на герметичность по 6.2.5.2.1 или 6.2.5.2.2 рекомендуется проверить наличие утечек с помощью мыльного раствора или других подходящих средств на возможных местах утечки.

6.2.5.2 Критерии допуска

6.2.5.2.1 МГ-контейнеры с внутренним объемом свыше 120 мл

Общий объем утечки водорода при испытании не должен превышать K нормальных $см^3/ч$ (нормальные условия: 0 °C и 101,325 кПа абсолютного давления). Если используется не газообразный водород, объем утечки иного газа должен быть пересчитан к условиям, соответствующим водороду.

Значение K определяется следующим способом: K должно быть больше значения, равного 6- или 0,1-кратному внутреннему объему корпуса (в литрах/150).

6.2.5.2.2 МГ-контейнеры с внутренним объемом до 120 мл включительно

Объем утечки водорода при испытании не должен превышать 3 $см^3/ч$ (нормальные условия: 0 °C и 101,325 кПа абсолютного давления). Если используется не газообразный водород, объем утечки иного газа должен быть пересчитан к условиям, соответствующим водороду.

6.2.6 Испытание циклической нагрузкой и измерение напряжения

6.2.6.1 Общие требования

Испытание циклической нагрузкой и измерение напряжения должны проводиться на всех новых конструкциях МГ-контейнеров с целью проверки того, что проектные пределы прочности оболочки не превышены. Любое существенное изменение конструкции относительно требований стандарта (см. 5.3), в соответствии с которым оболочка МГ-контейнера была изготовлена (включая изменения диаметра, длины, типа материала оболочки и минимальной проектной толщины, но не ограничиваясь ими), средств удержания твердых частиц и массы абсорбирующего водород сплава должно сопровождаться проведением повторного испытания циклической нагрузкой измерения напряжения. МГ-контейнеры, оснащенные активной системой охлаждения для контроля и/или изменения температуры, должны подвергаться испытанию с установленной системой охлаждения.

Необходимо принять меры по обеспечению безопасности персонала и оборудования во время испытаний в случае разрушения МГ-контейнера или выброса водорода.

6.2.6.2 Испытательная установка

Каждый МГ-контейнер должен быть оснащен тензометрическими датчиками для измерения максимального напряжения, которое испытывает оболочка во время циклических испытаний. В случае металлогидридных контейнеров деформация может быть неоднородной по всему контейнеру. Число и расположение тензометрических датчиков, необходимое для обеспечения обнаружения наибольшего напряжения в оболочке, должно быть определено на инженерных моделях, созданных на основании знания конструкции, включая распределение нагрузки и анализ информации, предоставленные производителем оболочки, внутреннюю конфигурацию и геометрию распределения абсорбирующего водород сплава и т. д. Если инженерные модели не позволяют точно определить точки максимального ожидаемого напряжения, то необходимое число датчиков и их расположение должны быть определены эмпирически, проведением испытаний двух МГ-контейнеров, оснащенных большим числом тензометрических датчиков. На основании полученных результатов дальнейшие испытания могут проводиться с использованием меньшего числа тензометрических датчиков, размещенных для измерения наибольших уровней напряжений, испытываемых оболочкой.

Как минимум следует контролировать окружную деформацию на цилиндрической и куполообразных частях МГ-контейнеров, напряжение изгиба на плоских частях МГ-контейнеров и для точек концентрации напряжения (на углах и ребрах) — напряжение в зонах вокруг точки концентрации. Для оценки напряжения в точке концентрации должен использоваться эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Тензометрические датчики должны быть защищены от повреждения во время продолжительных испытаний и от влияния окружающей среды, в которой они проводятся, например, с помощью химически стойкой эпоксидной смолы. Периодически и по крайней мере в начале и в конце циклических испытаний тензометрические датчики должны градуироваться для обеспечения правильной работы. Если окажется, что какой-то тензодатчик работает неправильно, его необходимо заменить.

Деформация при проектном пределе напряжений должна быть определена инженерными расчетами на основании конструкции оболочки и свойств материалов или эмпирически при создании внутри пневматического или гидростатического давления, эквивалентного предельному напряжению для конструкции оболочки. Для МГ-контейнера, тензометрические датчики на котором наложены снаружи, но не имеют непосредственного контакта с оболочкой или облицовкой, контактирующей с металлическим гидридом и газообразным водородом (например, оболочки типов II, III для фиброволоконных композиционных баллонов), или для оболочки, которая была специально подвергнута пластической деформации (то есть нагартовке), деформация при проектном пределе напряжений для каждого датчика должна определяться эмпирически до момента заправки МГ-контейнеров водородом.

6.2.6.3 Метод испытания

Для МГ-контейнеров, предназначенных для транспортирования и использования в одном положении, по меньшей мере пять МГ-контейнеров должны быть испытаны в этом положении, четыре должны быть испытаны с использованием последовательности колебаний, описанной ниже, и один должен быть испытан только циклической нагрузкой без вибрации. Для МГ-контейнеров, которые могут использоваться более чем в одной пространственной ориентации, по крайней мере три контейнера должны быть испытаны в двух взаимно перпендикулярных положениях с горизонтальным и вертикальным положениями оси контейнера. Два из трех должны быть испытаны с использованием последовательности колебаний, и один должен быть испытан циклической нагрузкой без вибрации. МГ-контейнеры должны циклически заправляться водородом от 5 % (не более) номинальной емкости до 95 % (не менее) номинальной емкости. Для заправки должно использоваться номинальное давление, значения температуры должны быть в диапазоне эксплуатации. Испытание должно состоять по крайней мере из 106 циклов и продолжаться до достижения результатов, определенных в 6.2.6.4. Если измеренная деформация при последовательных циклах превышает проектный предел напряжений или наблюдается пластическая деформация материала, то испытание должно быть прервано.

Значение измерения от каждого тензометрического датчика должно регистрироваться на каждом цикле в состоянии максимальной заправки.

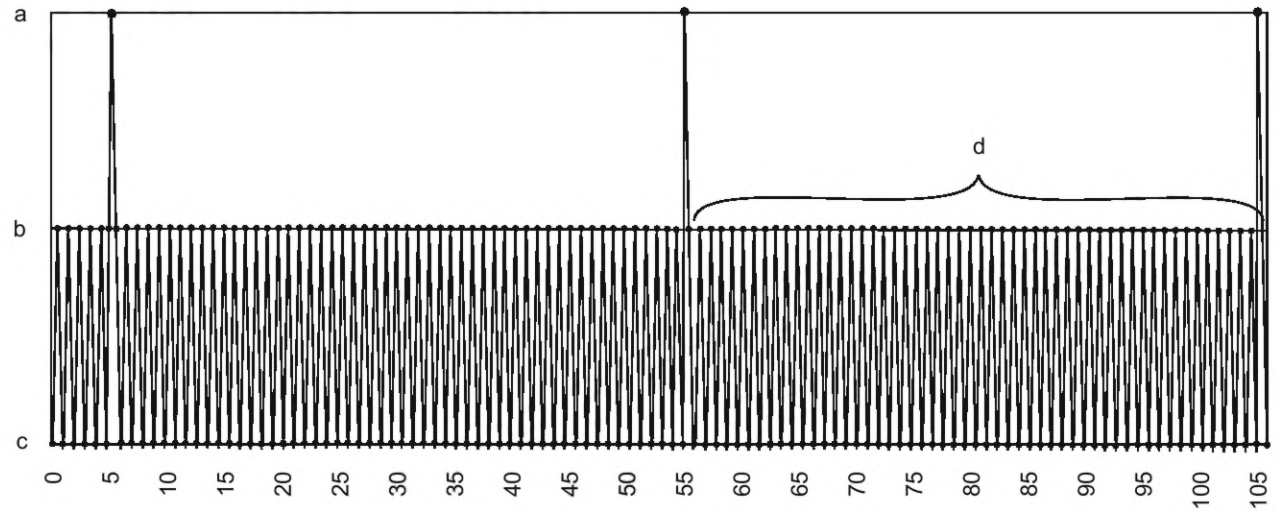
После пятого полного цикла и затем с интервалами через 50 циклов, когда контейнеры заправлены не более чем до 5 % номинального объема, в зависимости от пространственной ориентации, каждый контейнер должен подвергаться воздействиям следующей последовательности вибраций в положении, соответствующем пространственной ориентации при проведении циклических испытаний:

- синусоидальное колебание с качанием логарифмической частоты в диапазоне от 7 до 200 Гц и обратно к показателю 7 Гц на протяжении 15 мин. Этот цикл должен повторяться 12 раз в течение трех часов для каждого МГ-контейнера. Качание логарифмической частоты должно осуществляться следующим образом: с 7 Гц должно поддерживаться максимальное ускорение около $1g_n$ до достижения частоты 18 Гц. Затем амплитуда должна поддерживаться на уровне 0,8 мм (амплитуда 1,6 мм) и частота должна повышаться до достижения максимального ускорения $8g_n$ (приблизительно при 50 Гц). Затем максимальное ускорение $8g_n$ должно поддерживаться до достижения частоты 200 Гц.

Для контейнеров массой более 100 кг может использоваться следующая последовательность вибраций в качестве альтернативы описанной выше последовательности:

- простое гармоническое колебание с вертикальной амплитудой 0,8 мм при максимальном общем размахе 1,6 мм. Частота должна изменяться со скоростью 1 Гц/мин в пределах от 10 до 55 Гц. Весь цикл возрастания частоты и возврат должны продолжаться в течение (95 ± 5) мин.

На рисунке 3 представлены минимальные требования к проведению цикла.



[a] Вибрация.

[b] Зарядка.

[c] Разрядка.

[d] Последние 50 последовательных циклов.

Рисунок 3 — Графическое описание минимальных требований к циклу

В зависимости от положения в пространстве МГ-контейнеров, один или два контейнера должны подвергаться только зарядке и разрядке водорода.

6.2.6.4 Критерии допуска

Для каждого тензометрического датчика в течение 50 последовательных циклов максимальное измеренное значение напряжения не должно превышать 50 % расчетного предела значения напряжения, или не должна наблюдаться тенденция к его увеличению. МГ-контейнер должен считаться не прошедшим испытания и его конструкция должна быть доработана, если для любого тензометрического датчика значение напряжения в ходе циклического испытания превышает значение напряжения для оболочки при проектном пределе напряжений или если оболочка испытывает пластическую деформацию.

Для определения отсутствия увеличения напряжения данные для каждого тензометрического датчика с максимальным значением напряжения более 50 % значения напряжения при проектном пределе напряжений должны быть проанализированы с применением линейного регрессионного метода наименьших квадратов согласно формуле

$$a = \frac{\left(\sum_{i=j}^{j+N} y_i x_i\right) - N\overline{yx}}{\left(\sum_{i=j}^{j+N} x_i^2\right) - N\overline{x^2}}, \quad (1)$$

где a — угловой коэффициент измеренного напряжения;

x — номер цикла;

$\overline{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=j}^{j+N} x_i$ — среднее число циклов;

N — число последовательных циклов не менее 50;

y — измеренная деформация;

$\overline{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=j}^{j+N} y_i$ — средняя деформация.

МГ-контейнер должен подвергаться циклическим испытаниям до тех пор, пока для некоторого периода, включающего в себя 50 последовательных циклов, коэффициент a не будет меньше или равен нулю для всех тензометрических датчиков, измеряющих значение деформации больше 50 % при проектном пределе напряжений. Проанализированные 50 циклов должны быть последними 50 выполненными последовательными циклами. Этому критерию должны соответствовать значения всех тензометрических датчиков МГ-контейнера в рассматриваемом периоде последовательных циклов.

Кроме того, после завершения испытания на цикличность и измерения напряжений на всех МГ-контейнерах должно быть создано давление, поставлена заглушка на выходное отверстие, а клапан должен быть открыт и закрыт как минимум два раза. После удаления заглушки все МГ-контейнеры должны соответствовать критериям приемки испытания на герметичность по 6.2.5. Как минимум два МГ-контейнера, испытанные в каждой пространственной ориентации, должны быть подвергнуты испытанию на огнестойкость по 6.2.2 и соответствовать критериям приемки. Один из МГ-контейнеров должен быть испытан с последовательностью колебаний, а другой — без нее.

Наряду с этим, для МГ-контейнеров с внутренним объемом до 120 мл включительно после завершения испытания на герметичность как минимум один МГ-контейнер каждой пространственной ориентации, испытанный с последовательностью колебаний, должен быть разрушен избыточным давлением. Испытания на разрыв (разрушение) могут быть как пневматическими, так и гидростатическими. Зарегистрированное значение давления разрушения должно превышать минимальное значение давления разрыва оболочки, указанное в 5.3.2. Для всех испытаний характер разрушений должен быть таким же, как и изначальные разрушения, указанные в 6.2.3, и характер должен совпадать для всех проведенных испытаний.

Должны соблюдаться все правила техники безопасности, чтобы обеспечить безопасность персонала и оборудования. В частности, во время пневматического испытания на разрыв персонал должен находиться на безопасном расстоянии от установки во избежание риска ранения потоком газа и разлетающимися при разрыве деталями контейнера.

Для МГ-контейнеров, в которых используется активная система охлаждения для регулирования и/или воздействия на температуру системы, любая непреднамеренная утечка между МГ-контейнером и охлаждающей жидкостью должна рассматриваться как несоответствие критериям приемки по результатам данного испытания.

6.2.7 Испытание на удар запорного капана

6.2.7.1 Общие требования

Конструкции МГ-контейнеров со съемными средствами защиты запорного клапана должны подвергаться испытанию на удар в соответствии с 5.7.5.

6.2.7.2 Подготовка образцов

Испытанию на удар запорного клапана должны быть подвергнуты три МГ-контейнера. В ходе данного испытания вместо сплава, поглощающего водород, можно использовать балласт или оставить корпус пустым. Во время испытания МГ-контейнеры не должны быть под давлением газа. Съемная защита запорного клапана должна быть убрана.

6.2.7.3 Процедура испытания

Для испытания используется шарик из закаленной стали или ударный объект с закрепленным на его конце шариком. Шарик из закаленной стали должен иметь твердость по Бринеллю 248 ± 3, а его диаметр должен изменяться в зависимости от размера запорного клапана, так чтобы он мог ударяться о боковую сторону клапана под углом 90° к продольной оси клапана и соприкасаться с плоскостью, проходящей через эту же ось.

Шарик или ударный объект с закрепленным шариком из закаленной стали, также как и каждый МГ-контейнер, следует выдерживать не менее 4 ч при минус 40 °С. В течение 5 мин после выдерживания МГ-контейнер должен быть прочно закреплен, а запорный клапан должен подвергаться двум ударам. Первый удар должен наноситься со стороны запорного клапана под углом 90° к продольной оси клапана и совпадать с плоскостью, проходящей через эту же ось. Точки ударов со стороны запорного клапана не должны быть закрыты такими элементами, как соединительная резьба на выходе, устройства сброса давления, маховик и т. д. Шар из закаленной стали или предмет из закаленной стали должны обладать достаточной массой и скоростью для передачи минимальной энергии, указанной в таблице 2. После первого удара МГ-контейнер должен быть повернут на 180° для проведения второго испытания на удар боковой поверхности с другой стороны запорного клапана.

Таблица 2 — Требования к ударному испытанию шариком

Тип МГ-контейнера (V — внутренний объем, л)	Минимальная энергия E[a], Дж
$V < 0{,}35$	1,02
$0{,}35 < V < 10$	6,80
$10 < V < 25$	13,50
$25 < V < 10$	27,10
$100 < V$	162,70

[a] Например, при свободном падении объект воздействия снабжен шариком из закаленной стали,

$E = mg_c h$,

где E — энергия, Дж;

m — масса объекта воздействия, снабженного шариком из закаленной стали, кг;

g_c — ускорение, вызванное гравитацией (9,8 м/с^2);

h — высота вертикального падения, м.

6.2.7.4 Критерии допуска

После двух испытаний на удар каждый запорный клапан и МГ-контейнер должны быть осмотрены визуально на наличие повреждений и подвергнуты испытанию на герметичность согласно 6.2.5 в диапазоне температур $\left(20\begin{smallmatrix}+10\\-5\end{smallmatrix}\right)$ °С и удовлетворять требованиям настоящего пункта.

Соединения запорного клапана (входная резьба) должны оставаться неповрежденными без трещин, запорный клапан должен быть работоспособным. Разрушение маховика не должно считаться основанием для браковки по несоответствию требованиям испытания, поскольку запорный клапан остается в рабочем состоянии и может быть открыт или закрыт.

Если после испытаний требования испытания на герметичность не выполняются или запорный клапан находится не в рабочем состоянии, испытанию должны быть подвергнуты три МГ-контейнера с установленной съемной защитой запорного клапана. Если эти три МГ-контейнера удовлетворяют критериям приемки, то конструкция должна считаться допустимой при условии маркировки каждого контейнера в соответствии с 7.2.3.

6.2.8 Испытания на воздействие циклически изменяемых температур

6.2.8.1 Общие требования

Испытания на воздействие циклически изменяемых температур проводятся только для МГ-контейнеров с внутренним объемом до 120 мл включительно.

Примечание — Это испытание проводится для предотвращения потенциальных проблем, связанных с тем, что не было проведено циклическое испытание под давлением, аналогичное тому, которое предписано в стандартах ИСО для баллонов. Испытание предназначено для осуществления термических нагрузок на МГ-контейнеры по всему диапазону температур их эксплуатации.

6.2.8.2 Подготовка к испытанию

Если МГ-контейнеры предназначены для транспортирования и использования в одной пространственной ориентации, необходимо испытать по меньшей мере пять таких контейнеров в этой ориентации. Если конструкция МГ-контейнера не исключает использование его более чем в одном положении, то испытанию должны быть подвергнуты не менее трех МГ-контейнеров в двух положениях, перпендикулярных друг к другу; при этом ось МГ-контейнера должна быть горизонтальной и вертикальной.

МГ-контейнеры должны быть полностью заполнены водородом. Их необходимо поместить в камеру для проведения испытания с контролируемой температурой, в которой возможно изменить температуру от минимального рабочего до максимального рабочего значения и наоборот в течение 2 ч.

6.2.8.3 Процедура испытания

МГ-контейнеры должны быть подвергнуты следующим термическим цикловым испытаниям (см. рисунок 4):

a) следует поместить МГ-контейнер в камеру с регулируемой температурой и увеличивать температуру в камере от $\left(20^{+10}_{-5}\right)$ °C до максимальной температуры эксплуатации с погрешностью ±5 °C за 1 ч ± 5 мин;

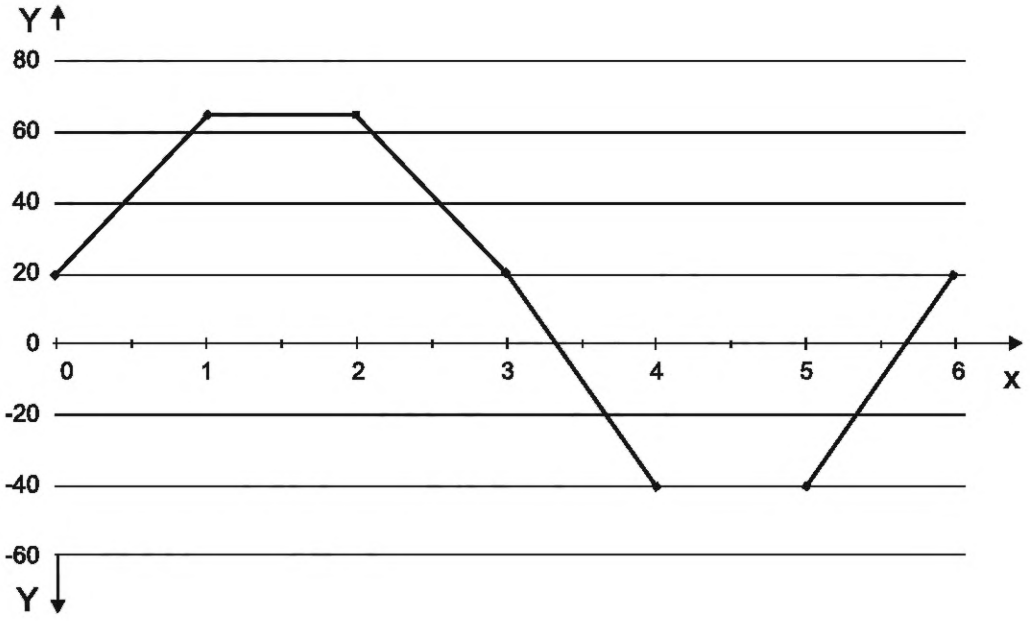
b) необходимо выдерживать МГ-контейнер при максимальной температуре эксплуатации с погрешностью ±5 °C не менее 1 ч;

c) необходимо снизить температуру в камере до $\left(20^{+10}_{-5}\right)$ °C в течение 1 ч ± 5 мин, затем уменьшить температуру в камере до минимальной рабочей температуры с погрешностью ±5 °C за 1 ч ± 5 мин;

d) необходимо выдерживать температуру в камере на уровне минимальной температуры с погрешностью ±5 °C не менее 1 ч;

e) увеличивают температуру в камере до $\left(20^{+10}_{-5}\right)$ °C за 1 ч ± 5 мин;

f) действия, описанные в перечислениях a) — e), необходимо повторить 50 раз.



X — время, ч; Y — температура, °C

Рисунок 4 — Примерный цикл испытания на воздействие циклически изменяемых температур

6.2.8.4 Критерии допуска

После испытания на воздействие циклически изменяемых температур каждый МГ-контейнер должен быть подвергнут испытанию на герметичность и должен соответствовать критериям 6.2.5.

После завершения испытания на герметичность по меньшей мере один МГ-контейнер каждой пространственной ориентации должен быть разрушен под воздействием внутреннего давления. Испытания на разрыв (разрушение) могут быть выполнены с применением пневматического или гидравлического воздействия. Зарегистрированное в ходе испытания давление разрушения должно превышать минимальное значение давления разрушения оболочки, указанное в 5.3.2. Для всех испытаний разрушения должны происходить так же, как и при испытаниях на первоначальное разрушение, указанных в 6.2.3, и они должны быть однотипными во всех проведенных испытаниях.

Необходимо соблюдать все правила техники безопасности, чтобы обеспечить безопасность персонала и оборудования. В частности, во время проведения испытания на разрушение персонал должен находиться на безопасном расстоянии от установки во избежание риска поражения газом и разлетающимися при разрыве частями контейнера.

6.2.9 Отчеты о типовых испытаниях

Отчеты о типовых испытаниях, удостоверяющие соответствие требованиям стандарта, должны предоставляться пользователям по требованию.

6.3 Серийные испытания

6.3.1 Общие требования

Серийные испытания проводятся в соответствии с установленной периодичностью в течение всего времени изготовления оборудования с целью обеспечения соответствия производственных операций МГ-контейнеров требованиям технических условий. Размер партии МГ-контейнеров устанавливает изготовитель в зависимости от заказа и применяемых материалов:

a) размер партии гидрида состоит из одной партии сплава, абсорбирующего водород, или в соответствии с требованиями уполномоченных органов;

b) размер партии оболочки состоит из размера партии оболочки, определенного в стандарте на оболочку или в соответствии с требованиями уполномоченных органов.

Все серийные испытания МГ-контейнеров должны проводиться на готовых МГ-контейнерах от партии.

6.3.2 Испытание на разрушение оболочки для партии

Не менее одной оболочки МГ-контейнера из каждой партии должно быть испытано на разрушение под давлением.

Если МГ-контейнер имеет внутренний объем свыше 120 мл, то способы испытания на разрушение и критерии допуска должны соответствовать требованиям стандарта (см. 5.3.1), согласно которому оболочка была произведена.

Если МГ-контейнер имеет внутренний объем, меньше или равный 120 мл, испытания на разрушение проводятся в соответствии с 6.2.3. Все разрушения при всех проводимых испытаниях должны быть такими же, как и разрушение при проведении начального испытания, указанное в 6.2.3.

Необходимо соблюдать все правила техники безопасности, чтобы обеспечить безопасность персонала и оборудования. В частности, во время пневматического испытания на разрушение персонал должен находиться на безопасном расстоянии от установки во избежание риска ранения вырвавшимся газом и разлетающимися при разрушении крупными осколками.

6.3.3 Испытание на воздействие МРД для партии гидрида

По меньшей мере один МГ-контейнер из каждой партии гидридов должен быть испытан для проверки МРД в соответствии с 4.1.1. МРД каждой партии не должен превышать в 0,80 раз испытательное давление оболочки или 25 МПа.

6.4 Плановые испытания и осмотры

6.4.1 Плановые испытания

Изготовитель проводит плановые периодические испытания путем визуального осмотра каждого МГ-контейнера партии и проведения испытаний на утечку. При этом результаты должны быть оформлены документально (записи/акты). Изготовителю следует проводить периодические испытания в течение как минимум 20 лет или в течение 1,5 срока службы МГ-контейнеров в зависимости от того, какой период дольше.

Испытания на утечку водорода проводят по 6.2.5 при температуре $\left(20^{+10}_{-5}\right)$ °С и НДЗ, при этом МГ-контейнер должен соответствовать критериям приемки.

Для всех оболочек, используемых при производстве МГ-контейнеров, изготовитель документально фиксирует, что оболочка была изготовлена, испытана и квалифицирована в соответствии со стандартом. Изготовитель МГ-контейнера также выполняет контроль при приемке в том объеме, который необходим для того, чтобы оболочка соответствовала указанным требованиям.

6.4.2 Паспорт изготовления

Сертификат о типовом одобрении подготавливается для каждой партии МГ-контейнеров и соответствует всем требованиям настоящего стандарта. Пример составленного сертификата приведен в приложении D.

7 Маркировка, наклейки и документация

7.1 Маркировка

7.1.1 На хорошо видном месте на МГ-контейнере должна быть нанесена несмываемым способом, маркировка, содержащая следующую минимальную информацию:

a) ссылка на настоящий стандарт, т. е. ИСО 16111;
b) НДЗ в стержне;
c) идентификационный номер изготовителя;
d) дата изготовления (месяц и год);
e) наименование изготовителя и его товарный знак (при наличии);
f) дата истечения срока годности, основанная на максимальном сроке службы (месяц и год).

7.1.2 В случаях, когда из-за ограничений по размеру или площади невозможно включить всю вышеуказанную информацию в удобочитаемом формате, допускается отслеживаемый код. Если используют такой код, то на МГ-контейнер все равно должна быть нанесена маркировка с указанием информации по 7.1.1 в соответствии с перечислениями b), e) и f).

7.2 Наклейки

7.2.1 Общие требования

Наклейки предупреждающего характера размещают в соответствии с требованиями ИСО 7225. Наклейки не должны по содержащейся на них информации вступать в противоречие с маркировкой на оболочке.

В случаях когда по причине ограниченности размеров невозможно разместить всю вышеуказанную информацию на наклейке, такую информацию можно указать на упаковке или в документации, прикладываемой вместе с изделием, за исключением предупреждения «содержимое огнеопасно», которое должно всегда наноситься на изделие.

Примечание — Может потребоваться наличие дополнительных наклеек, таких как идентификационный номер и описание, как указано в Типовых правилах ООН по перевозке опасных грузов, номера детали или модели и прочих предупредительных надписей, имеющих отношение к металлогидридному МГ-контейнеру.

7.2.2 Опасности, связанные с твердыми материалами

Изготовитель указывает на наклейках информацию предупредительного характера, связанную с потенциальной опасностью материалов, содержащихся в МГ-контейнере. Предупреждения должны включать информацию об опасности взаимодействия содержимого контейнера с воздухом, водой или другими средами.

7.2.3 Наклейки, содержащие информацию о съемной защите клапана

В соответствии с требованиями 6.2.7.4 на наклейках должны быть нанесены следующие слова «ВНИМАНИЕ: Клапан может быть поврежден в результате удара. УСТАНОВИТЕ ЗАЩИТУ КЛАПАНА НА МЕСТО, ЕСЛИ ОН НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ».

7.2.4 Наклейки, содержащие информацию о температуре

Изготовитель устанавливает наклейки с предупреждением: «НЕ НАГРЕВАТЬ ВЫШЕ XX °С, НЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ОТКРЫТОЕ ПЛАМЯ ИЛИ ИСТОЧНИК ПЛАМЕНИ», где «XX» обозначает установленное максимальное значение температуры обслуживания.

В соответствии с 4.3.2 минимальная и максимальная температуры оболочки для нормальных условий эксплуатации должны составлять минимум минус 40 °С и максимум плюс 65 °С. Если максимальная и минимальная температуры могут отличаться от указанных, они должны быть указаны изготовителем на наклейке.

8 Документация, прилагаемая к изделию

8.1 Информационные листы по безопасному обращению с материалами

Информационные листы по безопасному обращению с материалами, такими как газообразный водород и содержащие абсорбированный водород сплавы, должны прилагаться к документации на поставляемое оборудование. Эти листы должны содержать требования к обеспечению безопасности и инструкцию по обращению с оборудованием в случае утечки водорода и/или повреждения системы хранения, разгерметизации оборудования и потенциального взаимодействия при этом абсорбирующего водород сплава с веществами, такими как воздух, вода, охлаждающая среда и т. д.

8.2 Руководство пользователя или руководство по эксплуатации

8.2.1 Общие требования

Изготовитель должен предусмотреть руководство для пользователя или руководство по эксплуатации. Руководство должно включать информацию о минимальных условиях эксплуатации, определенную в разделе 4, касающуюся качества водорода, процедур первой и последующих заправок, информацию об утилизации и повторном использовании и/или другие соответствующие ограничения по использованию, включая минимальную вентиляцию в местах эксплуатации и хранения, минимальные процедуры периодических испытаний и проверок, если это применимо.

8.2.2 Процедуры первой и последующих заправок

8.2.2.1 Проверка перед первой и последующими заправками

Изготовитель должен определить процедуры проверки, проводимые перед первой и последующими заправками МГ-контейнера.

Процедуры проверки должны включать в себя проверку МГ-контейнера на предмет действующего срока службы, наличия табличек с разборчивыми предупредительными надписями и надежность их крепления, исправности компонентов и их наличия, отсутствия повреждений на оболочке и клапанах.

Должны быть определены критерии, согласно которым МГ-контейнер возможно заправить или следует прекратить эксплуатацию МГ-контейнера.

8.2.2.2 Требования к заправке

Для осуществления первой и последующих заправок МГ-контейнера изготовитель должен представить следующую информацию:

- правила техники безопасности и возможные опасные ситуации;
- способ определения достижения значения номинальной емкости согласно 4.2;
- минимальный и максимальный диапазон давлений (максимальное давление не должно превышать значение номинального давления заправки);
- минимальный и максимальный диапазоны температур;
- другие специальные условия, необходимые для первой и последующих заправок.

8.2.2.3 Оборудование

Изготовитель должен определить требования к оборудованию, используемому для первой и последующей заправок контейнеров для предотвращения перезаряда.

8.2.2.4 Осмотр и проверки после первой и последующей заправок

Изготовитель должен определить процедуру проверки, проводимой после первой и последующих заправок МГ-контейнера. Методика должна включать проверку течи водорода из МГ-контейнера и наличие поврежденных или отсутствующих компонентов устройств сопряжения (например, повреждение резьбы, сальников или уплотнений).

8.2.2.5 Периодические проверки и испытания

Изготовитель должен указать минимальные требования к периодическим проверкам и испытаниям. Интервалы таких проверок должны соответствовать интервалам, указанным в стандартах ИСО на периодические проверки и испытания корпуса (например, ИСО 6406, ИСО 10461 и ИСО 11623). Во всех случаях периодичность таких проверок и испытаний не должна превышать 5 лет.

Приложение А
(справочное)

Совместимость материалов при работе с водородом

А.1 Совместимость материалов при работе с водородом

Компоненты, взаимодействующие с газообразным водородом или содержащими водород средами, а также все детали, применяемые для уплотнения или сопряжения, должны быть достаточно стойкими к химическому и физическому действию водорода в условиях эксплуатации.

А.2 Металлы и металлические материалы

Пользователям следует знать, что технические материалы, подвергающиеся воздействию водорода в рабочей среде, могут проявлять повышенную восприимчивость к коррозии, вызванной водородом, через различные механизмы, такие как водородное охрупчивание и водородное воздействие.

Водородное охрупчивание определяется как процесс, приводящий к уменьшению вязкости или пластичности металла за счет проникания атомарного водорода.

В классическом виде водородное охрупчивание разделяют на два типа. Первый тип — внутреннее водородное охрупчивание — наблюдается, когда водород проникает в структуру металла в результате технологии обработки материала и перенасыщает металл водородом. Второй тип — охрупчивание водородной средой — является результатом абсорбции водорода твердыми металлами в процессе работы.

Атомарный водород, растворенный в металле, взаимодействует с внутренними дефектами металла, обычно вызывая повышение восприимчивости к распространению трещин и, таким образом, ухудшая такие основные свойства, как пластичность и вязкость. Существуют как внутренние, так и внешние факторы, которые участвуют в вызванном водородом разрушении металлов. Микроструктура материала является важным фактором, поскольку вторые фазы, которые могут присутствовать или отсутствовать из-за различий в составе и обработке, могут влиять на сопротивление материала разрушению. Вторые фазы, такие как ферритовые стрингеры в аустенитных нержавеющих сталях, также могут усиливать анизотропные свойства материалов. В целом металлы также могут быть обработаны для увеличения диапазона прочности, и известно, что стойкость к водородному разрушению ухудшается с повышением прочности сплава.

Внешние воздействия, влияющие на водородное разрушение, включают в себя давление водорода, температуру, химическую среду и скорость деформации. Восприимчивость к водородному разрушению возрастает с повышением давления водорода. Влияние температуры не является однозначным. Некоторые металлы, такие как аустенитные нержавеющие стали, имеют локальный максимум восприимчивости к водородному разрушению в зависимости от температуры. Некоторые газообразные примеси, находящиеся в газообразном водороде, также влияют на водородное разрушение. Влага, например, может пагубно влиять на алюминиевые сплавы, поскольку влажное оксидирование создает сильно летучий водород, тогда как считается, что в некоторых сталях влага повышает стойкость к водородному разрушению, образуя поверхностные пленки, которые выступают как кинетический барьер для водорода. Так называемый обратный эффект скорости деформации обычно наблюдается в присутствии водорода; другими словами, металлы менее восприимчивы к водородному разрушению при высоких скоростях деформации.

При температурах, близких к температуре окружающей среды, это явление может влиять на металлы с объемно-центрированной кубической кристаллической структурой решетки, например в ферритных сталях. В отсутствие остаточных напряжений или внешней нагрузки водородное охрупчивание может проявляться в разных формах, например таких как вздутие, внутреннее растрескивание, образование гидридов и сниженная пластичность. При растягивающих напряжениях или коэффициенте интенсивности напряжений, превышающем некоторый определенный порог, атомарный водород взаимодействует с металлом, приводя к образованию и росту докритических трещин, вызывающих разрушение.

Водородное охрупчивание может наблюдаться во время термообработки при повышенных температурах и в ходе эксплуатации при гальванизации, контакте с технологическими химикатами, реакциях коррозии, катодной защите и при использовании водорода под высоким давлением или при высокой температуре.

Многие низколегированные конструкционные стали могут подвергаться воздействию водорода при значениях температур до 200 °С. Это необратимая деградация микроструктуры стали, вызываемая химической реакцией между диффундирующим водородом и частицами карбида в стали, которая приводит к зарождению, росту и распространению пузырьков метана вдоль границ зерен с образованием трещин.

Водородное охрупчивание наблюдается в таких металлах, как титан и цирконий, и является процессом образования термодинамически стабильных и относительно хрупких гидридных фаз в пределах структуры.

Сварка в защитной среде и сварные швы между разнородными материалами часто включают высоколегированные материалы. Во время использования при значениях температур более 250 °С водород диффундирует в линию сплавления между высоколегированным сварным швом и нелегированным/низколегированным основным материалом. При остывании температура металла падает. Пониженная растворимость и диффузионная способность водорода разрушают сварной шов нарушением связей.

Далее приведены некоторые рекомендации по управлению риском водородного охрупчивания:

- выбор сырых материалов с низкой восприимчивостью к водородному охрупчиванию путем контроля химического состава (например, использования стабилизаторов карбидов), микроструктуры (например, использования аустенитных нержавеющих сталей) и механических свойств (например, ограничения твердости, желательно до 225 по шкале Виккерса и снятия остаточных напряжений с помощью термообработки). Применение методов испытаний, описанных в ИСО 11114-4, для выбора металлических материалов, стойких к водородному охрупчиванию. В публикации 941 Американского нефтяного института приведены ограничения для различных типов сталей в зависимости от давления и температуры водорода. Данные о восприимчивости к водородному охрупчиванию некоторых распространенных материалов приведены в ISO/TR 15916;
- соединения, полученные с применением сварки в защитной среде, и сварные швы между разнородными материалами, контактирующие с водородом, необходимо периодически подвергать ультразвуковому контролю. Такие сварные соединения необходимо подвергать дополнительной проверке после неконтролируемых отключений, при которых оборудование интенсивно остывает;
- ограничение уровня значений прилагаемых напряжений и воздействий усталостных факторов;
- контроль площади поверхности анода/катода и эффективности при нанесении покрытий на детали, что приводит к надлежащему контролю плотности приложенного тока. Высокая плотность тока увеличивает зарядку водородом;
- чистка металлов в некатодных щелочных растворах и в ингибированных кислотных растворах;
- использование абразивных чистящих средств для материалов с твердостью 40 по шкале С Роквелла или выше;
- по возможности контроль технологических процессов в части снижения риска водородного охрупчивания во время производства.

А.3 Полимеры, эластомеры и другие неметаллические материалы

Большинство полимеров можно считать пригодными для технологий, связанных с применением газообразного водорода. Следует учитывать тот факт, что водород диффундирует через материалы гораздо сильнее, чем через металлы. Политетрафторэтилен (ПТФЭ) и полихлортрифторэтилен (ПХТФЭ) являются наиболее распространенными материалами в технологиях обслуживания водородом. Следует проверить пригодность других материалов. Руководство возможно найти в ИСО 11114-2, ISO/TR 15916 и ANSI/AIAA G-095.

А.4 Прочие ссылки

Более развернутое описание сведений, связанных с водородной коррозией и методами ее контроля, изложено в материалах специализированных организаций и их стандартах.

А.4.1 Международная организация по стандартизации (gost.e-ecolog.ru

См. [1] — [12].

А.4.2 Американский институт аэронавтики и астронавтики (gost.e-ecolog.ru

См. [13].

А.4.3 Американский институт нефти (gost.e-ecolog.ru

См. [14] и [15].

А.4.4 Американское общество по испытанию материалов (gost.e-ecolog.ru

См. [16] — [30].

А.4.5 Американское общество инженеров-механиков (gost.e-ecolog.ru

См. [31] — [33].

А.4.6 Американское общество сварщиков (gost.e-ecolog.ru

См. [34].

А.4.7 Международный Союз работодателей машиностроительной промышленности (www.asminternational.org) и Общество инженеров автомобильной промышленности (gost.e-ecolog.ru

См. [35] — [37].

А.4.8 Национальная ассоциация инженеров-коррозионистов (gost.e-ecolog.ru

См. [38] и [39].

Приложение В
(обязательное)

Испытания, имитирующие условия эксплуатации

В.1 Воздействие жидкостями

В.1.1 Общие положения

Испытание применяется для оболочек МГ-контейнеров, в состав которых входят баллоны с волоконной оболочкой II, III и IV типов.

Испытаниям должны быть подвергнуты две оболочки в условиях, моделирующих установленную геометрию, включая покрытие (если оно применяется), элементы крепления и прокладки, а также фитинги с уплотнениями той же формы (т. е. кольцевые уплотнители), что используются в процессе эксплуатации.

Обе оболочки подвергают предварительной подготовке в соответствии с В.1.2, а затем циклическому воздействию сред, давлений и температур при условиях, указанных в таблице В.1. Хотя предварительная подготовка и воздействие жидкостей осуществляется на цилиндрической части корпуса, к воздействию испытательной среды должна быть устойчива вся поверхность корпуса, в том числе его закругленные участки. В качестве альтернативы допускается использование одного баллона, при этом оба испытания погружением в воду или другие жидкости проводятся с одним баллоном, как указано в таблице В.1. В этом случае необходимо принять меры, чтобы предотвратить перекрестное смешивание жидкостей.

В.1.2 Предварительная подготовка к испытаниям

В.1.2.1 Аппарат для предварительной подготовки

Для предварительной подготовки испытательной оболочки с помощью удара маятником и гравием должны использоваться устройства следующих типов.

Аппарат, оказывающий воздействие маятником, состоит:

a) из стального воздействующего сердечника, имеющего форму пирамиды, стенки которой представляют собой равносторонние треугольники, с квадратным основанием; высшая точка и края должны иметь закругления радиусом 3 мм;

b) маятника, центр удара которого совпадает с центром тяжести пирамиды, ее расстояние от оси вращения маятника составляет 1 м, а общая масса маятника, приведенная к центру удара, составляет 15 кг;

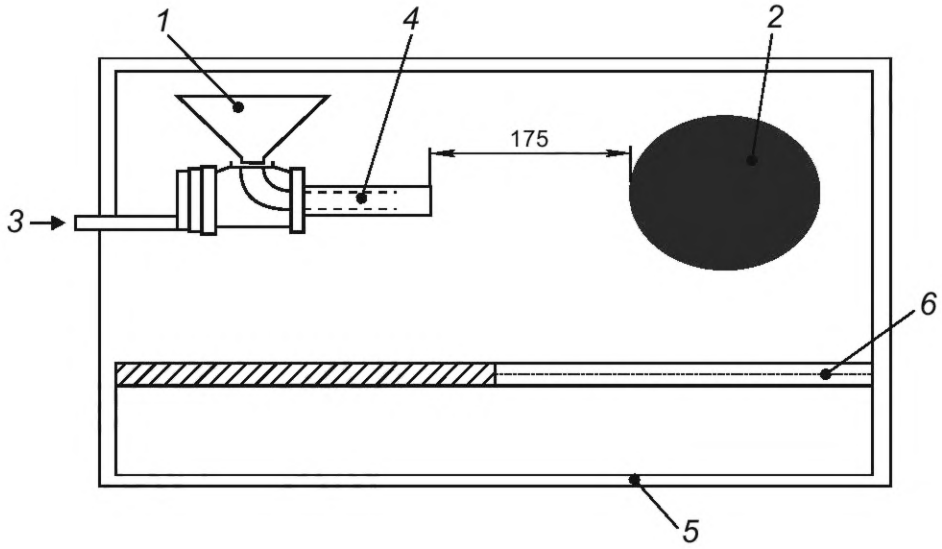
c) измерительных средств для определения того, что энергия маятника в момент удара составляет не менее 30 Н · м или находится как можно ближе к этому значению;

d) средств удержания баллона в исходном положении за торцевые выступы во время удара.

Гравийная ударная машина включает в себя:

a) ударную машину, построенную в соответствии с особенностями, приведенными на рисунке В.1, а также с возможностью работы в соответствии с ASTM D3170, за исключением того, что оболочка должна иметь температуру окружающей среды при ударе гравием;

b) гравий, состоящий из аллювиального дорожного гравия, просеянный через 16-миллиметровое сито, но удерживающийся 9,5-миллиметровым ситом. Каждое ударное воздействие должно содержать 550 мл калиброванного гравия (приблизительно 250—300 камней).



1 — воронка; *2* — испытуемая оболочка; *3* — впуск воздуха; *4* — труба 50 мм;
5 — короб шириной около 500 мм; *6* — размерный фильтр

Рисунок В.1 — Машина для ударного испытания с помощью гравия

В.1.2.2 Процедура подготовки

В.1.2.2.1 Подготовка к испытанию погружением

К воздействию маятника и гравия должна быть подготовлена та часть корпуса, которая будет использоваться для погружения (см. В.1.3.1).

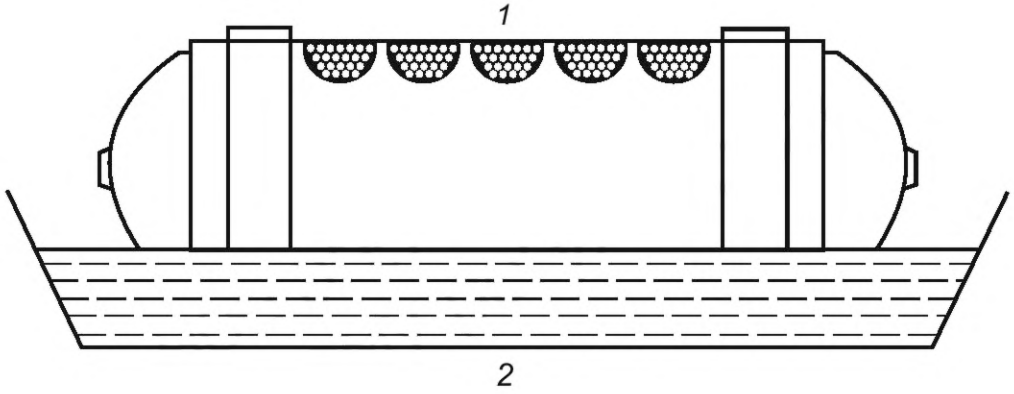
Из оболочки сбрасывают давление и подвергают подготовке центральную часть корпуса, которая будет погружена в жидкость воздействием стержня маятника в трех точках, расположенных друг от друга на расстоянии около 150 мм. После удара маятником необходимо подготовить эти точки для нанесения удара гравием. Кроме того, к единичному воздействию маятника на погруженную часть корпуса необходимо подготовить куполообразную зону на расстоянии 50 мм (измеряется по оси) от места воздействия.

В.1.2.2.2 Подготовка к воздействию растворами жидкостей

К воздействию гравием готовят только те части корпуса, которые будут использоваться для испытаний с жидкостями (см. В.1.3.2).

Необходимо разделить верхнюю часть оболочки для испытаний с растворами жидкостей на пять секций с номинальным диаметром 100 мм и нанести на них метки, необходимые для подготовки и воздействия раствором жидкости (см. рисунок В.2). Секции не должны перекрывать друг друга. Если при испытании используется одна оболочка, следует убедиться, что эти секции не перекрывают те секции, которые предназначены для погружения. Хотя это и удобно при проведении испытаний, секции не должны быть ориентированы вдоль одной линии.

После того как из баллона будет сброшено давление, необходимо подготовить каждую из пяти отмеченных секций для испытания в растворе жидкостей путем воздействия на эти секции гравием в соответствии с рисунком В.2.



1 — область воздействия растворами жидкостей; *2* — область погружения (нижняя треть)

Рисунок В.2 — Расположение цилиндра и схема областей воздействия

В.1.3 Условия испытания

В.1.3.1 Испытание на погружение

На соответствующих этапах испытания (см. таблицу В.1) необходимо расположить оболочку горизонтально и погрузить ее нижнюю часть, соответствующую одной трети диаметра, в раствор для испытаний, имитирующий состав кислотных дождей/дорожной соли, который состоит:

- из деионизированной воды;
- хлорида натрия с массовой долей (2,5 ± 0,1) %;
- хлорида кальция с массовой долей (2,5 ± 0,1) %;
- серной кислоты в достаточном количестве, чтобы получить pH = 4,0 ± 0,2.

До погружения необходимо откорректировать уровень раствора и значение pH.

Температура раствора для испытаний в ванной должна поддерживаться на уровне (21 ± 5) °С, во время погружения необходимо удерживать непогруженную часть баллона в окружающем воздухе.

В.1.3.2 Воздействие раствора жидкостей

На соответствующих этапах испытаний (см. таблицу В.1) необходимо подвергнуть отмеченные секции воздействию одним из пяти нижеприведенных растворов для испытаний. Для каждой секции в течение всего испытания необходимо использовать один и тот же раствор для испытаний:

- водный раствор серной кислоты с минимальной массовой долей 19 %;
- водный раствор гидроксида натрия с минимальной массовой долей 25 %;
- массовая доля метанола в бензине составляет 30 %;
- водный раствор нитрата аммония с минимальной массовой долей 28 %;
- водный раствор метилового спирта с минимальной массовой долей 50 % (т. е. жидкость для омывания стекол).

Во время проведения испытания необходимо установить оболочку, которая была подвергнута воздействию раствора для испытаний, в самое верхнее положение. Необходимо установить также прокладку из стекловаты толщиной примерно 0,5 мм и диаметром 100 мм в каждую подготовленную область. С помощью пипетки следует нанести 5 мл раствора для испытаний на площадку из стекловаты, убедиться, что она смачивается равномерно по всей поверхности и пропитывается по всей его толщине. Создают давление в баллоне и удаляют прокладку из стекловаты после того, как давление в баллоне продержится в течение 30 мин.

В.1.3.3 Цикл изменения давления

На соответствующих этапах испытания (см. таблицу В.1) баллон необходимо подвергнуть воздействию пневматического или гидравлического давления в диапазоне 5 % МРД и МРД при комнатной и более высоких температурах, а также в диапазоне 5 % МРД и 60 % МРД для более низких температур. Следует удерживать максимальное давление как минимум 60 с и убедиться, что каждый полный цикл занимает не менее 66 с.

В.1.3.4 Воздействие высоких и низких температур

На соответствующих этапах испытания (см. таблицу В.1) поверхность баллона необходимо подвергнуть воздействию высоких и низких температур воздуха. Низкая температура не должна быть меньше минус 35 °С, а высокая должна быть равной как минимум максимальной температуре обслуживания (65 °С и выше) при измерении температуры поверхности баллона.

В.1.4 Процедура испытания

Необходимо подготовить баллоны (или один баллон) в соответствии с В.1.2.

Выполняют последовательность воздействия жидкостью для испытаний, циклами изменения давления и изменения температур, как указано в таблице В.1. Не допускается промывать или вытирать поверхность баллона между этапами испытаний.

Таблица В.1 — Условия и последовательность испытаний

Этапы испытания			Окружающая среда	Число циклов нагружения давлением	Температура
Два баллона		Один баллон			
Баллон № 1	Баллон № 2	Альтернативный баллон			
—	1	1	Прочие жидкости (30 мин)	—	Окружающей среды
1	—	2	Погружение	500 × срок службы (лет)	Окружающей среды
—	2	—	Воздух	250 × срок службы(лет)	Окружающей среды
—	3	3	Прочие жидкости (30 мин)	—	Окружающей среды
2	4	4	Воздух	250 × срок службы (лет)	Низкая
—	5	5	Прочие жидкости (30 мин)	—	Окружающей среды
3	6	6	Воздух	250 × срок службы (лет)	Высокая

После завершения последовательности испытаний все МГ-контейнеры, участвующие в них, должны быть разрушены внутренним давлением в соответствии с 6.2.4.4.2 или 6.2.4.4.3 и критериями приемки.

В.2 Испытание на погружение в соленую воду

В.2.1 Общие положения

Испытание является обязательным для МГ-контейнеров, предназначенных для заправки/заполнения под водой или для работы под водой. Данное испытание является дополнительным по отношению к другим испытаниям МГ-контейнеров.

В.2.2 Подготовка

Оболочка не должна быть окрашенной, но должна быть подготовлена специально для указанного испытания.

Для волоконных оболочек типа II и типа III лайнер может быть окрашен или защищен от коррозии любым способом, который включен в заявку на проектирование.

В.2.3 Период погружения

Две закрытые оболочки, внутри которых отсутствует давление, погружают на 1—2 ч в хорошо перемешанный водный раствор, содержащий не менее 35 г/л хлорида натрия, при температуре не менее 20 °С.

Через 2 ч давление в баллоне увеличивают и поддерживают на уровне 5/6 значения МРД в течение не менее 22 ч. После этого давление сбрасывается.

В.2.4 Период сушки

После периода погружения оболочка должна быть вынута из раствора хлорида натрия и просушена при комнатной температуре в течение как минимум 22 ч.

Давление в баллоне увеличивают и поддерживают на уровне 5/6 значения МРД в течение не менее 2 ч. После этого давление сбрасывается.

В.2.5 Длительность испытаний и критерии допуска

Цикл, включающий погружение и сушку согласно В.2.3 и В.2.4, повторяют 45 раз.

По завершении испытания одна из двух оболочек подлежит разрушению посредством внутреннего давления согласно 6.2.4.4.2 или 6.2.4.4.3, что соответствует критериям приемки. Другая оболочка должна быть подвергнута испытанию циклическим воздействием окружающей среды согласно ИСО 11119-2:2012, 8.5.5, и выдержать 3000 циклов повышения давления до значения в 5/6 МРД без разрыва или утечек.

При проведении испытания контролируются и записываются следующие параметры:

a) температура раствора хлорида натрия, по крайней мере один раз в 24 ч;

b) давление испытания;

c) длительность погружения;

d) параметры, указанные в 6.2.4.4.2 или 6.2.4.4.3;

e) параметры, указанные в ИСО 11119-2:2012, 8.5.5.

Приложение С
(справочное)

Сертификат о типовом одобрении

В настоящем приложении приводится пример формы сертификата о типовом одобрении. Другие формы также допустимы.

СЕРТИФИКАТ О ТИПОВОМ ОДОБРЕНИИ

Выдан: _____
(Уполномоченный орган, проводивший осмотр)

_____
в соответствии с ИСО 16111

Металлогидридный контейнер (МГ-контейнер)

Сертификат №_____ Дата_____

Конструкция МГ-контейнера:

[Описание семейства МГ-контейнеров (рисунок), которое получило сертификат о типовом одобрении]

Описание и расчетные критерии МГ-контейнера:

Максимально разрешенное давление (МРД): _____ бар

Предел напряжений при МРД: _____ бар

Номинальное давление заправки (НДЗ):_____ бар

Номинальная емкость водорода: _____ г

Диапазон рабочих температур:_____ °С

Диапазон температур обслуживания: _____ °С

Эксплуатационный срок службы: _____ лет

Количество, расположение, размер, пропускная способность и тип устройства для сброса давления (УСД):

Давление срабатывания УСД (нужное указать): _____ бар

Температура срабатывания УСД (нужное указать): _____ °С

Абсорбирующий водород сплав:

Средства удерживания твердых частиц (нужное указать):

Внутренние компоненты (нужное указать):

Внешнее покрытие (нужное указать):

Система охлаждения (нужное указать):

Описание и расчетные критерии оболочки:

Стандарт проектирования и изготовления (например, ИСО 9809-1):

Испытательное давление p_h: _____бар Наружный диаметр (номинальный):_____ мм

Минимальная гарантированная толщина стенок a': _____ мм

Форма основания:

Длина (номинальная): _____ мм Емкость по воде (номинальная)_____ л

Термическая обработка: _____

Вид материала и свойства: Материал:_____ *Re* _____ МПа _____ *Rg*: _____ МП

Изготовитель МГ-контейнера или его представитель

_____

(Наименование и адрес изготовителя или его представителя)

_____

_____

_____

Вся информация может быть получена из:

_____

(Наименование и адрес уполномоченного органа)

Настоящим подтверждаю свое решение относительно того, что конструкция МГ-контейнера, описанная в настоящем Сертификате о типовом одобрении, соответствует по всем параметрам ИСО 16111. Протоколы типовых испытаний прилагаются к настоящему стандарту.

Дата _____ Место _____

_____

Подпись инспектора

Приложение D
(справочное)

Акт приемки

В настоящем приложении приводится пример формы акта приемки. Другие формы также допустимы.

АКТ ПРИЕМКИ

Акт приемки № _____ металлогидридных контейнеров

Партия _____ МГ-контейнеров, состоящая из _____серий, была осмотрена и проверена в соответствии с ИСО 16111.

Изготовитель МГ-контейнеров:_____

Место: _____

Количество: _____

Дата испытания (месяц, год): _____

Изготовитель оболочек:_____

Место: _____Серийный(е) номер(а): _____

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Емкость по воде: номинальная_____л

Испытательное давление оболочки p_h: _____бар

Минимальное давление разрыва оболочки:_____бар

Максимально разрешенное давление (МРД) _____бар

Номинальное давление заправки (НДЗ): _____бар

Номинальный объем водорода:_____г

Диапазон рабочих температур:_____°С

Тип устройства (устройств) сброса давления, количество, место:_____

Номинальная длина (без крышки и без клапана):_____мм

Наружный диаметр (номинальный) *D*:_____мм

Стандарт проектирования и изготовления оболочки: _____

Уровень напряжения при МРД:_____МПа

Минимальная гарантированная толщина стенок корпуса *a′*:_____мм

Чертеж №:_____

Эксплуатационный диапазон температуры:_____°С

Срок службы:_____лет

Маркировка:

_____ _____

Дата Изготовитель

ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Записи результатов испытаний и осмотра каждой партии МГ-контейнеров, на которые распространяется сертификат, представлены ниже:

Номер партии оболочки	**Номер серии** № от _____ до _____	Испытание на разрыв	
		Давление разрыва, бар	Отметка «прошел» или «не прошел»

Полученные результаты применимы для МГ-контейнеров, отбираемых из каждой партии. Все остальные МГ-контейнеры в партии подвергаются испытаниям на герметичность при температуре _____ °С, нахождению под давлением НДЗ и соответствуют критериям приемки.

Критерии допуска — по ИСО 16111, 6.2.5.

Заверенный протокол изготовления и испытания оболочек (акт приемки) прилагается.

Номер партии гидрида	**Номер серии** № от _____ до _____	**MDP Test**	
		Максимальное разрешенное давление, бар	Отметка «прошел» или «не прошел»

Полученные результаты применимы для МГ-контейнеров, отбираемых из каждой партии. Все остальные МГ-контейнеры в партии подвергаются испытаниям на герметичность при температуре _____ °С, нахождению под давлением НДЗ и соответствуют критериям приемки.

Критерии допуска — по ИСО 16111, 6.2.5.

К настоящему стандарту прилагается заверенный отчет об изготовлении и испытании оболочек (акт приемки). Настоящим я подтверждаю, что МГ-контейнеры, описанные в настоящем акте приемки, соответствуют требованиям ИСО 16111.

Особые замечания:

_____

_____

Организация _____

_____

_____

_____ _____

Дата Подпись проверяющего

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта, документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного, национального стандарта
ISO 7225	—	*
ISO 7866	—	*
ISO 9809-1	—	*
ISO 9809-2	—	*
ISO 9809-3	—	*
ISO 10297:2014	—	*
ISO 11114-1	IDT	ГОСТ ISO 11114-1—2017 «Баллоны газовые. Совместимость материалов, из которых изготовлены баллоны и клапаны, с содержимым газом. Часть 1. Металлические материалы»
ISO 11114-2	—	*
ISO 11114-4	IDT	ГОСТ ISO 11114-4—2017 «Баллоны газовые переносные. Совместимость материалов, из которых изготовлены баллоны и клапаны, с содержимым газом. Часть 4. Методы испытания для выбора металлических материалов, устойчивых к водородному охрупчиванию»
ISO 11119-1	—	*
ISO 11119-2:2012	—	*
ISO 11119-3	—	*
ISO 14246	—	*
ISO 14687	IDT	ГОСТ Р ИСО 14687—2024 «Водородное топливо. Технические условия»
ISO 16528-1	NEQ	ГОСТ 34347—2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия»
UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Model Regulations	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичный стандарт;
- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Библиография

[1]	ISO 2626	Copper-hydrogen embrittlement test
[2]	ISO 3690	Welding and allied processes — Determination of hydrogen content in ferritic steel arc weld metal
[3]	ISO 6406	Gas cylinders — Seamless steel gas cylinders — Periodic inspection and testing
[4]	ISO 7539-6	Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 6: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests under constant load or constant displacement
[5]	ISO 9587	Metallic and other inorganic coatings — Pretreatment of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement
[6]	ISO 9588	Metallic and other inorganic coatings — Post-coating treatments of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement
[7]	ISO 10461	Gas cylinders — Seamless aluminium-alloy gas cylinders — Periodic inspection and testing
[8]	ISO 11623	Gas cylinders — Composite construction — Periodic inspection and testing
[9]	ISO 15330	Fasteners — Preloading test for the detection of hydrogen embrittlement — Parallel bearing surface method
[10]	ISO 15724	Metallic and other inorganic coatings — Electrochemical measurement of diffusible hydrogen in steels — Barnacle electrode
[11]	ISO/TR 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems
[12]	ISO 17081	Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique
[13]	ANSI/AIAA G-095-2004	Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems
[14]	API RP 934	Materials and Fabrication Requirements for 2 1/4 Cr-1Mo and 3Cr-1Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High Temperature, High Pressure Hydrogen Service
[15]	API RP 941	Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants
[16]	ASTM B57	Standard Test Methods for Detection of Cuprous Oxide (Hydrogen Embrittlement Susceptibility) in Copper
[17]	ASTM B849	Standard Specification for Pre-Treatments of Iron or Steel for Reducing Risk of Hydrogen Embrittlement
[18]	ASTM B850	Standard Guide for Post-Coating Treatments of Steel for Reducing the Risk of Hydrogen Embrittlement
[19]	ASTM B839	Standard Test Method for Residual Embrittlement in Metallic Coated, Externally Threaded Articles, Fasteners, and Rod-Inclined Wedge Method
[20]	ASTM E1681	Standard Test Method for Determining a Threshold Stress Intensity Factor for Environment-Assisted Cracking of Metallic Materials
[21]	ASTM F326	Standard Test Method for Electronic Measurement for Hydrogen Embrittlement from Cadmium-Electroplating Processes
[22]	ASTM F519	Standard Test Method for Mechanical Hydrogen Embrittlement Evaluation of Plating Processes and Service Environments
[23]	ASTM F1459	Standard Test Method for Determination of the Susceptibility of Metallic Materials to Hydrogen Gas Embrittlement
[24]	ASTM F1624	Standard Test Method for Measurement of Hydrogen Embrittlement Threshold in Steel by the Incremental Step Loading Technique

[25]	ASTM F1940	Standard Test Method for Process Control Verification to Prevent Hydrogen Embrittlement in Plated or Coated Fasteners
[26]	ASTM F2078	Standard Terminology Relating to Hydrogen Embrittlement Testing
[27]	ASTM G129	Standard Practice for Slow Strain Rate Testing to Evaluate the Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking
[28]	ASTM G142	Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both
[29]	ASTM G146	Standard Practice for Evaluation of Disbonding of Bimetallic Stainless Alloy/Steel Plate for Use in High-Pressure, High-Temperature Refinery Hydrogen Service
[30]	ASTM G148	Standard Practice for Evaluation of Hydrogen Uptake, Permeation, and Transport in Metals by an Electrochemical Technique
[31]	ASME. Boiler and Pressure Vessel Code	
[32]	ASME B31.1	Power piping
[33]	ASME B31.3	Process piping
[34]	ANSI/AWS A4.3	Standard Methods for Determination of the Diffusible Hydrogen Content of Martensitic, Bainitic, and Ferritic Steel Weld Metal Produced by Arc Welding
[35]	SAE/AMS 2451/4	Plating, Brush, Cadmium — Corrosion Protective, Low Hydrogen Embrittlement
[36]	SAE/AMS 2759/9	Hydrogen Embrittlement Relief (Baking) of Steel Parts
[37]	SAE/USCAR 5-1	Avoidance of Hydrogen Embrittlement of Steel
[38]	NACE TM0177	Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H2S Environments
[39]	NACE TM0284	Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking

УДК 621.3.032.7:006.354 ОКС 71.100.20

Ключевые слова: гидрид металла, хранение водорода, давление, температура, испытания

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 24.01.2025. Подписано в печать 04.02.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,95.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru