

17 July 2023

Глобальный регистр

**Создан 18 ноября 2004 года в соответствии со статьей 6
Соглашения о введении Глобальных технических правил
для колесных транспортных средств, предметов оборудования
и частей, которые могут быть установлены и/или использованы
на колесных транспортных средствах (ECE/TRANS/132 и Corr.1),
совершенного в Женеве 25 июня 1998 года**

Дополнение 13: Глобальные технические правила № 13 ООН

**Транспортные средства, работающие на водороде и топливных
элементах**

Поправка 1

Введены в Глобальный регистр 21 июня 2023 года



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ



Поправка 1 в рамках этапа 2 разработки Глобальных технических правил № 13 ООН (транспортные средства, работающие на водороде и топливных элементах)

Содержание изменить следующим образом:

«Содержание»

| | <i>Стр.</i> |
|--|-------------|
| I. Изложение технических соображений и обоснования | 4 |
| A. Введение | 4 |
| B. Рамки деятельности на этапе 1 и этапе 2 | 5 |
| C. Описание типичных транспортных средств, работающих на водороде | 7 |
| 1. Описание транспортного средства | 7 |
| 2. Система заправки водородом | 10 |
| 3. Система хранения водорода | 11 |
| 4. Система подачи водородного топлива | 13 |
| 5. Система топливных элементов | 13 |
| 6. Система электрической тяги и распределения энергии | 14 |
| 7. Двигатель внутреннего сгорания | 14 |
| D. Обоснование области применения, определений и применимости | 15 |
| 1. Обоснование пункта 2 (Область применения) | 15 |
| 2. Обоснование пунктов 3.9 и 3.48 (Определения терминов “срок службы” и “дата снятия с эксплуатации”) | 16 |
| 3. Обоснование пункта 4 (Применимость требований) | 16 |
| E. Обоснование пункта 5 (Требования к эффективности) | 17 |
| 1. Требования к испытанию системы хранения компримированного водорода и потребности с точки зрения безопасности | 17 |
| 2. Требования к топливной системе транспортного средства и потребности с точки зрения безопасности | 66 |
| F. Обоснование процедур испытаний системы хранения и топливной системы | 71 |
| 1. Обоснование испытаний системы хранения и топливной системы на целостность | 71 |
| 2. Обоснование пункта 6.2 (Процедуры испытаний систем хранения компримированного водорода) | 72 |
| G. Факультативные требования: транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода: обоснование | 75 |
| 1. Справочная информация по системам хранения сжиженного водорода | 75 |
| 2. Обоснование приведенных в пункте 7.2 квалификационных требований к конструкции систем хранения сжиженного водорода | 77 |
| 3. Обоснование квалификационных требований к конструкции топливной системы транспортного средства (СжН ₂) | 80 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 4. | Обоснование процедур испытания СХСЖВ..... | 80 |
| 5. | Обоснование пункта 7.5 (Процедура испытания для измерения послеаварийной концентрации для транспортных средств с системами хранения сжиженного водорода (СХСЖВ)) | 80 |
| Н. | Национальные предписания в отношении совместимости материалов (включая водородное охрупчивание) и соответствие производства..... | 84 |
| 1. | Совместимость материалов и водородное охрупчивание | 84 |
| 2. | Национальные требования, дополняющие требования ГТП ООН | 85 |
| I. | Темы для рассмотрения на следующем этапе разработки ГТП ООН, касающихся транспортных средств, работающих на водороде | 85 |
| J. | Действующие правила, директивы и международные стандарты | 87 |
| 1. | Целостность топливной системы транспортного средства | 87 |
| 2. | Система хранения..... | 89 |
| K. | Выгоды и затраты | 90 |
| L. | Соображения относительно эксплуатационной совместимости | 91 |
| M. | Оценка материалов для использования в водородной среде..... | 94 |
| N. | Испытание алюминиевых сплавов на коррозионное растрескивание под воздействием влажного газа | 101 |
| O. | Предлагаемые допуски для целей квалификационных требований к системе хранения компримированного водорода | 107 |
| II. | Текст Правил | 112 |
| 1. | Цель..... | 112 |
| 2. | Область применения..... | 112 |
| 3. | Определения..... | 112 |
| 4. | Применимость требований | 116 |
| 5. | Требования к эффективности | 117 |
| 5.1 | Система хранения компримированного водорода | 117 |
| 5.2 | Топливная система транспортного средства | 123 |
| 6. | Условия проведения и процедуры испытаний | 125 |
| 6.1 | Испытания на проверку соответствия требованиям в отношении целостности топливной системы | 125 |
| 6.2 | Процедуры испытаний системы хранения компримированного водорода | 131 |
| 7. | Транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода (СХСЖВ)..... | 169 |
| 7.1 | Факультативные требования к СХСЖВ..... | 169 |
| 7.2 | Квалификационные требования к конструкции системы СХСЖВ | 169 |
| 7.3 | Целостность топливной системы СХСЖВ | 173 |
| 7.4 | Процедуры испытаний конструкции системы СХСЖВ на соответствие установленным требованиям..... | 173 |
| 7.5 | Процедуры испытаний топливной системы СХСЖВ на целостность | 180 |

Часть I, Изложение технических соображений и обоснования изменить следующим образом:

«I. Изложение технических соображений и обоснования

A. Введение

1. На фоне полемики по поводу необходимости выявления новых источников энергии и сокращения выбросов парниковых газов компании по всему миру изучают возможности использования различных альтернативных видов топлива, в том числе сжатого природного газа, сжиженного пропана и водорода. Водород представляется одной из наиболее многообещающих альтернатив, поскольку выбросы загрязняющих веществ транспортными средствами на водородном топливе практически равны нулю. В конце 1990-х годов Европейское сообщество выделило средства на изучение данного вопроса в рамках реализуемого им Комплексного европейского проекта по использованию водорода (КЕПВ) и ознакомило секретариат ЕЭК с его результатами, а именно с двумя предложениями — по сжиженному водороду и сжатому водороду. Последующий проект (КЕПВ2) послужил толчком к началу обсуждений, касающихся возможности разработки глобальных технических правил для транспортных средств, работающих на водороде. Несколькими годами спустя Соединенные Штаты Америки изложили видение глобальной инициативы под названием “Международное партнерство в целях использования водородного топлива в экономике” и предложили Китаю, Российской Федерации, Японии, Европейскому союзу и многим другим странам принять в ней участие.

2. На протяжении многих десятилетий ученые, исследователи и экономисты указывали на водород, причем будь то в сжатом газообразном или жидком состоянии, как на возможную альтернативу бензину и дизельному топливу в качестве топлива для транспортных средств. Обеспечение безопасного использования водорода как топлива является решающим фактором в деле успешного перехода к глобальной экономике на базе водородного топлива. По своей природе все виды топлива изначально сопряжены с определенной степенью опасности, проистекающей из заключенной в них энергетической составляющей. Безопасность же водорода, особенно в сжатом газообразном состоянии, обусловлена исключением возможности катастрофических сбоев, обусловленных комбинацией топлива, воздуха и источников возгорания в сочетании с высоким давлением и опасностями поражения электрическим током.

3. В качестве одного из ключевых требований для коммерциализации водородных транспортных средств правительства рассматривают разработку соответствующих правил и стандартов. Наличие правил и стандартов будет способствовать преодолению технологических препятствий на пути коммерциализации, стимулировать вложение изготовителями средств в строительство транспортных средств на водородном топливе и облегчит признание новых технологий общественностью, обеспечивая основу для систематизированной и точной оценки рисков, связанных с использованием водородных транспортных средств, и доведения их до сведения будь то широкой общественности, потребителей, аварийно-спасательного персонала или предприятий страховой отрасли.

4. Разработка настоящих Глобальных технических правил Организации Объединенных Наций (ГТП ООН) для транспортных средств, работающих на водороде и топливных элементах, велась в рамках Всемирного форума для согласования правил в области транспортных средств (WP.29) Комитета по внутреннему транспорту (КВТ) ЕЭК. Цели этих Глобальных технических правил (ГТП ООН) заключаются в разработке и введении ГТП ООН для транспортных средств на водородном топливе, которые: i) обеспечивают такие же — или более высокие — уровни безопасности, что и правила для обычных транспортных средств,

работающих на бензине; и ii) базируются на принципе эксплуатационной эффективности и не создают ограничений для применения будущих технологий.

5. Введение ГТП № 13 ООН (ECE/TRANS/180/Add.13) произошло 27 июня 2013 года при спонсорской поддержке Германии, Соединенных Штатов Америки и Японии. ГТП № 13 ООН применяются ко всем водородным транспортным средствам категорий 1-1 и 1-2 с полной массой транспортного средства (ПМТС), составляющей 4536 кг или менее. ГТП № 13 ООН включают три основных раздела: высоковольтная система, система хранения водорода и водородная топливная система на уровне транспортного средства. В ГТП ООН предусмотрены положения для сценариев, охватывающих эксплуатационные и послеаварийные условия.

6. Представители Японии, Республики Корея и Европейского союза представили предложение о разрешении на разработку неофициальной рабочей группой по транспортным средствам, работающим на водороде и топливных элементах — Подгруппа по безопасности (НПГ по ТСВТЭ-ПГБ), Глобальных технических правил (ГТП) № 13 Организации Объединенных Наций на этапе 2 (ECE/TRANS/WP.29/2017/56-ECE/TRANS/WP.29/AC.3/49). Это предлагаемое разрешение было препровождено Рабочей группе по пассивной безопасности (GRSP), которая рекомендовала приступить к этапу 2 сразу же после одобрения данного разрешения WP.29 и AC.3 на их сессиях в марте 2017 года. Работу НПГ по ТСВТЭ-ПГБ на этапе 2 планировалось завершить к концу 2020 года. На сессиях WP.29 и AC.3 в ноябре 2020 года и в марте 2022 года соответствующий мандат был продлен до декабря 2022 года.

В. Рамки деятельности на этапе 1 и этапе 2

Этап 1 — План действий в связи с ГТП ООН

7. С учетом того, что технологии транспортных средств на водородном топливе только начинают появляться, Исполнительный комитет Соглашения 1998 года (WP.29/AC.3) согласился с тем, что важнейшим компонентом этой работы является вклад исследователей. Используя действующие правила и стандарты, касающиеся транспортных средств на водороде и топливных элементах (ТСВТЭ) и обычных транспортных средств, в качестве ориентира важно изучить и проанализировать: 1) основные различия в аспектах безопасности и охраны окружающей среды между обычными транспортными средствами и транспортными средствами, работающими на водороде; и 2) технические обоснования требований, которые применялись бы к транспортным средствам на водородном топливе.

8. В июне 2005 года WP.29/AC.3 согласился с предложением Германии, Соединенных Штатов Америки и Японии относительно оптимального способа управления процессом разработки ГТП ООН, касающихся водородных транспортных средств (ECE/TRANS/WP.29/AC.3/17). В соответствии с достигнутой договоренностью AC.3 одобрил план действий по разработке ГТП ООН, представленный коспонсорами. В этой связи были сформированы две подгруппы для рассмотрения аспектов данных ГТП ООН, связанных с безопасностью и охраной окружающей среды. Неофициальная рабочая подгруппа по безопасности транспортных средств, работающих на водороде и топливных элементах (ТСВТЭ-ПГБ), отчитывалась перед вспомогательной Рабочей группой WP.29 по пассивной безопасности (GRSP). ТСВТЭ-ПГБ возглавляли Соединенные Штаты Америки и Япония. Летом 2007 года был назначен председатель группы. Подгруппа по окружающей среде (ТСВТЭ-ПГОС) работала под руководством Европейской комиссии и отчитывалась перед вспомогательной Рабочей группой WP.29 по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE). Для обеспечения связи между этими подгруппами и непрерывного контакта с WP.29 и AC.3 руководитель проекта (Германия) координировал и контролировал различные аспекты работы для надлежащего осуществления согласованного плана действий, а также для определения и соблюдения основных этапов и графиков на протяжении всей разработки ГТП ООН.

На первоначальном этапе разработки ГТП ООН ими были охвачены топливные элементы (ТЭ) и двигатели внутреннего сгорания (ДВС), двигатели, работающие на сжатом газообразном водороде (KH_2) и жидком водороде (JH_2). На одной из последующих сессий WP.29 Исполнительным комитетом AC.3 был представлен и одобрен план действий по разработке ГТП ООН (ECE/TRANS/WP.29/2007/41).

9. Для разработки ГТП ООН с учетом эволюции водородной технологии трехсторонняя группа коопонсоров предлагает сформулировать ГТП ООН в два этапа.

a) Этап 1 (ГТП ООН для транспортных средств, работающих на водороде)

Ввести к 2010 году ГТП ООН для водородных транспортных средств на основе сочетания требований к уровню компонентов и подсистем и к транспортному средству в целом. В ГТП ООН указывается, что в случае необходимости проведения испытания транспортных средств на столкновение каждая Договаривающаяся сторона будет использовать свои существующие национальные испытания на столкновение, однако за критерий утечки при испытании на столкновение будет браться максимально допустимый уровень утечки водорода. В качестве основы для этого первого этапа разработки ГТП ООН будут использоваться новые национальные правила Японии, любые имеющиеся результаты исследований и данные проводимых испытаний.

b) Этап 2 (оценка будущих технологий и согласование испытаний на столкновение)

Изменить ГТП ООН для поддержания их соответствия новым выводам на основе новых исследований и технологических разработок после этапа 1. Обсудить пути согласования требований к испытаниям ТСВТЭ на столкновение в отношении испытания комплектного транспортного средства на столкновение с точки зрения целостности топливной системы.

10. ГТП ООН будут охватывать нижеследующие ключевые аспекты.

a) Требования в отношении компонентов и подсистем (не на основе испытаний на столкновение)

Оценка требований не на основе испытаний на столкновение путем проведения анализов и оценок для обоснования предписаний. При необходимости дополнение и исключение требований либо изменение процедур испытаний на основе существующих анализов или оперативных оценок, которые могут проводиться Договаривающимися сторонами и участниками. При этом по возможности следует избегать принятия конкретных требований к конструкции и не включать технически необоснованных предписаний. Основные области, на которых необходимо сконцентрировать внимание:

- i) требования к эффективности систем хранения водорода, затворов высокого давления, устройств сброса давления и топливопроводов;
- ii) электрическая изоляция, безопасность и защита от электрического удара (в процессе эксплуатации);
- iii) требования к эффективности и другие требования к компоновке подсистем в транспортном средстве.

b) Требования к транспортному средству в целом

Изучение рисков, возникающих при использовании различных типов топливных систем в различных режимах столкновения. Обзор и оценка анализов и результатов испытаний на столкновение, проводимых с целью изучения рисков и выявления соответствующих профилактических мер

для водородных транспортных средств. Основные области, на которых необходимо сконцентрировать внимание:

- i) эксплуатационные и послеаварийные предельные уровни утечки водорода. Применение послеаварийных предельных уровней утечки по итогам краш-тестов (лобового, бокового и заднего), которые предусмотрены действующими в каждой стране национальными предписаниями в отношении испытаний на безопасность при столкновении;
- ii) эксплуатационные и послеаварийные требования к электрической изоляции и защите от электрического удара. Применение послеаварийных критериев электробезопасности по итогам краш-тестов (лобового, бокового и заднего), которые предусмотрены действующими в каждой стране национальными предписаниями в отношении испытаний на безопасность при столкновении.

Этап 2 — Рамки деятельности

11. Продление мандата НРГ по ТСВТЭ-ПГБ при спонсорской поддержке со стороны Европейского союза, Японии и Республики Корея позволяет заняться решением оставшихся проблем. Работу на этапе 2 следует начать сразу же после одобрения данного разрешения WP.29 и AC.3 на их сессиях в марте 2017 года.

12. НРГ займется рассмотрением следующих вопросов:

- a) первоначальные пункты, изложенные в документе ECE/TRANS/WP.29/AC.3/17, сохраняются;
- b) возможный пересмотр области применения с учетом дополнительных классов транспортных средств;
- c) требования в отношении совместимости материалов и водородного охрупчивания;
- d) требования к заправочному блоку;
- e) поправки редакционного или технического характера к каждому требованию и каждой процедуре испытаний;
- f) внесение изменений с учетом результатов исследований, полученных по завершении этапа 1, с особым упором на исследования в области систем хранения водорода, испытания на огнестойкость и послеаварийной безопасности;
- g) пересмотр требования в отношении минимального давления разрыва, составляющего 200 % номинального рабочего давления (НРД) или меньше;
- h) изменения, касающиеся новых типов резервуаров, например резервуаров конформной конструкции.

C. Описание типичных транспортных средств, работающих на водороде

1. Описание транспортного средства

13. В водородных транспортных средствах для обеспечения энергией могут использоваться либо двигатели внутреннего сгорания (ДВС), либо топливные элементы. Транспортные средства, работающие на водородных топливных элементах (ТСВТЭ), имеют систему электротяги, питание на которую поступает от топливного элемента, вырабатывающего электрическую энергию электрохимическим способом с использованием водорода. Как правило, ТСВТЭ оборудуют и другими передовыми технологиями, повышающими КПД, например системами рекуперативного

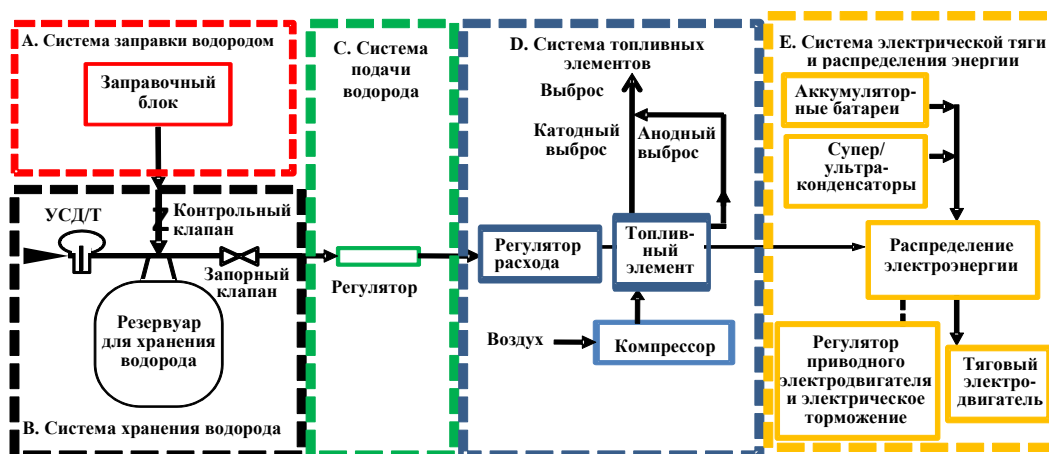
торможения, которые улавливают кинетическую энергию, расходуемую в процессе торможения, и накапливают ее в аккумуляторной батарее или на ультраконденсаторах. Хотя между разнообразными ТСВТЭ, по всей видимости, имеются различия в частностях, касающихся систем и компоновки аппаратных средств/программного обеспечения, для большинства ТСВТЭ общими являются следующие основные системы:

- a) система заправки водородом;
- b) система хранения водорода;
- c) система подачи водородного топлива;
- d) система топливных элементов;
- e) система электрической тяги и распределения энергии.

14. На рис. 1 приведена принципиальная схема, показывающая функциональное взаимодействие основных систем транспортного средства, работающего на водородных топливных элементах (ТСВТЭ). При заправке водород закачивается в транспортное средство через заправочный блок и поступает в систему хранения водорода. Водород, закачиваемый и поступающий в систему хранения водорода, может быть либо в сжатом газообразном, либо сжиженном состоянии. При запуске транспортного средства газообразный водород постепенно высвобождается из системы хранения водорода. Посредством регуляторов давления и другого оборудования в системе подачи водородного топлива давление водорода снижается до соответствующего уровня, обеспечивающего функционирование системы топливных элементов. В последней системе водород вступает в электрохимическое взаимодействие с кислородом (из воздуха), и в результате такой реакции вырабатывается электрическая энергия высокого напряжения. Эта электроэнергия подается в систему электрической тяги и распределения энергии и используется для питания приводных электродвигателей и/или подзарядки аккумуляторных батарей и ультраконденсаторов.

Рис. 1

Примерная принципиальная схема главных систем ТСВТЭ



15. На рис. 2–4 показаны стандартные компоновки основных элементов главных систем типичного транспортного средства, работающего на водородных топливных элементах (ТСВТЭ). Заправочный блок изображен в своем обычном месте расположения в задней четверти легкового автомобиля, однако место его расположения может варьироваться в зависимости от типа транспортного средства. Как и в случае бензобаков, резервуары, предназначенные для хранения водорода — будь то в сжатом газообразном или сжиженном состоянии, — как правило, устанавливаются в поперечной плоскости в задней части легкового автомобиля; однако допускается также возможность иной установки, например в продольной плоскости в середине транспортного средства либо на крыше в случае

автобусов. Топливные элементы и вспомогательное оборудование обычно размещают (как показано на рис.) под пассажирским салоном или же в традиционном “моторном отсеке” вместе с системой распределения энергии, регулятором приводных электродвигателей и приводными электродвигателями. Тяговые батареи и ультраконденсаторы, учитывая их размер и вес, обычно размещают на транспортном средстве таким образом, чтобы обеспечить желаемую весовую центровку для надлежащего управления транспортным средством.

16. На рис. 2, 3 и 4 показана стандартная комплектация транспортного средства, работающего на водородных топливных элементах, с системой хранения компримированного водорода.

Рис. 2

Пример легкового автомобиля, работающего на водородных топливных элементах

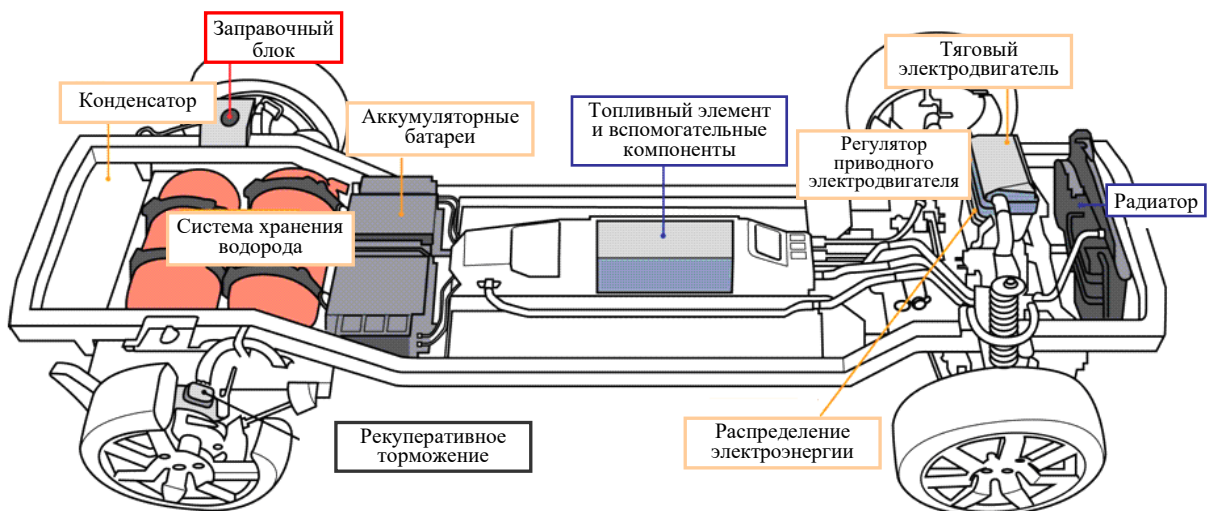


Рис. 3
Пример автобуса, работающего на водородных топливных элементах

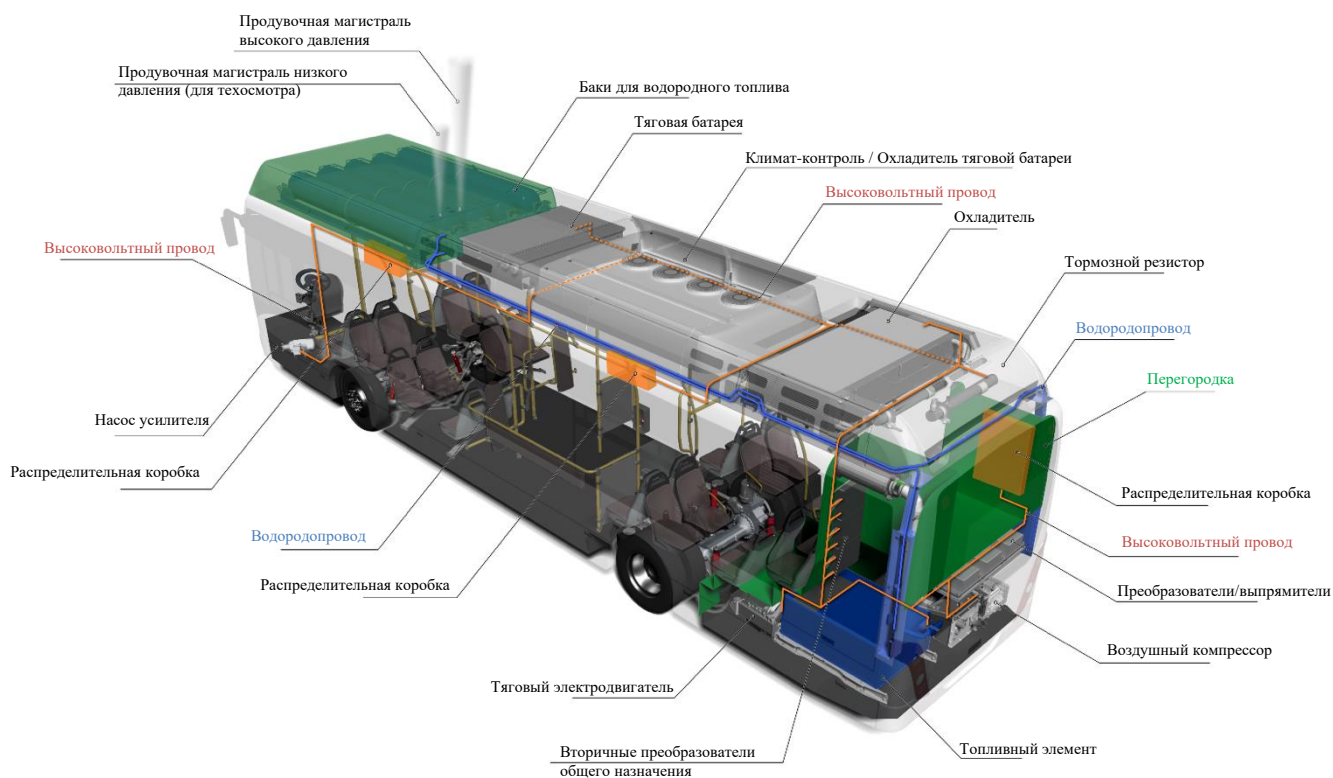
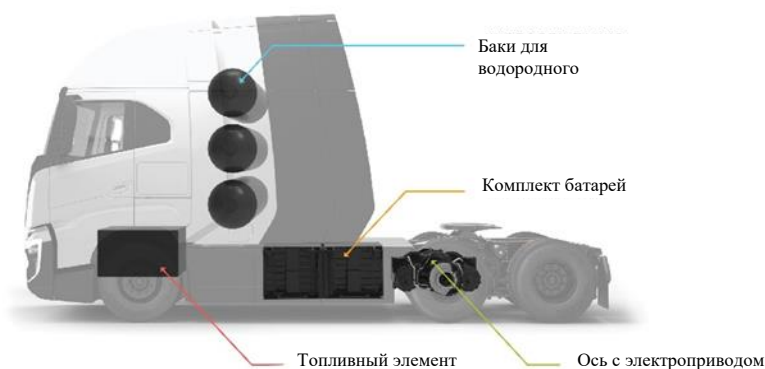


Рис. 4
Пример грузового автомобиля, работающего на водородных топливных элементах



2. Система заправки водородом

17. Транспортное средство может заправляться на станции либо сжиженным, либо компримированным газом в зависимости от того, каким типом системы хранения водорода оно оборудовано. В настоящее время водород чаще всего закачивается в транспортное средство в виде компримированного газа при давлении, составляющем до 125 % от номинального рабочего давления (НРД) транспортного средства, для компенсации неустановившегося нагрева в результате адиабатического сжатия при заправке.

18. Вне зависимости от того, в каком состоянии находится водород, заправка транспортных средств на станции производится у раздаточной колонки через специальный заправочный пистолет, который подсоединяется к заправочному блоку

транспортного средства для перекачки водорода по “замкнутому контуру”. Заправочный блок транспортного средства оснащен контрольным клапаном (или другим устройством), предотвращающим утечку водорода после отсоединения заправочного пистолета.

3. Система хранения водорода

19. В систему хранения водорода входят все элементы, которые образуют первичный контур высокого давления для изоляции закачанного водорода. Основные функции системы хранения водорода сводятся к следующему: при заправке в нее поступает водород, который хранится там до нужного времени, а затем подается в систему топливных элементов или ДВС, где он преобразуется в энергию для приведения в движение транспортного средства. В настоящее время наиболее распространенным является метод хранения и подачи водородного топлива на борту транспортного средства в сжатом газобразном состоянии. Водород может также храниться в сжиженном состоянии (в условиях криогенного охлаждения). Описание каждого из этих типов систем хранения водорода приведено в нижеследующих разделах.

20. В ходе будущих пересмотров настоящих ГТП ООН на более продвинутых этапах их разработки могут быть охвачены дополнительные типы систем хранения водорода, например низкотемпературное хранение в сжатом состоянии. Низкотемпературное хранение водорода в сжатом состоянии (НТКН₂) представляет собой сочетание способа хранения в сжиженном и сжатом газобразном состоянии, при котором заправка может осуществляться как криогенным сжатым водородом, так и сжатым газобразным водородом.

a) Система хранения сжатого водорода

21. Элементы типичной системы хранения сжатого водорода показаны на рис. 5. В систему входят резервуар и все другие элементы, которые образуют “первичный контур давления”, предотвращающий утечку водорода из системы. В данном случае система хранения сжатого водорода состоит из следующих элементов:

- a) резервуар;
- b) контрольный клапан;
- c) запорный клапан;
- d) предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла (УСДТ).

Рис. 5

Типичная система хранения сжатого водорода



22. Водородные резервуары предназначены для хранения сжатого газобразного водорода. Система хранения водорода может предусматривать наличие более одного резервуара в зависимости от количества топлива, которое должно

иметься на борту, и физических ограничений, обусловленных конструкцией конкретного транспортного средства. Водородное топливо характеризуется низкой удельной энергоемкостью на единицу объема. Для преодоления этого ограничения компримированный водород закачивается в резервуары для хранения под очень высоким давлением. На существующих транспортных средствах (до 2011 года) водород обычно хранится при номинальном рабочем давлении 35 МПа или 70 МПа при максимальном давлении заправки, составляющем 125 % номинального рабочего давления (соответственно 43,8 МПа или 87,5 МПа). В процессе обычной “быстрой заправки” давление внутри резервуара(ов) может на 25 % превышать номинальное рабочее давление вследствие нагревания содержимого резервуаров, вызываемого адиабатическим сжатием газа. По мере снижения температуры в резервуаре после заправки падает и давление. По определению, установившееся давление системы сравнивается с номинальным рабочим давлением, когда температура резервуара достигает 15 °С. В будущем, по мере процесса коммерциализации, вполне возможны иные значения давления (более высокие, более низкие или промежуточные между выбранными на сегодня).

23. В настоящее время резервуары изготавливают из композитных материалов, способных выдержать высокое давление закачанного в них водорода и обеспечить вес, приемлемый для транспортных средств в различной комплектации. Большинство резервуаров для хранения водорода под высоким давлением, используемых на транспортных средствах, работающих на топливных элементах или от ДВС, являются двухслойными: внутренний слой предотвращает утечку/просачивание газа (как правило, его изготавливают из металла или термопластичного полимера), а внешний слой обеспечивает жесткость и целостность конструкции (как правило, его изготавливают из металла или терморезистивного пропитанного смолой и армированного стекловолокном композитного материала, образующего “кокон” вокруг газонепроницаемого внутреннего слоя).

24. Резервуар для хранения водорода может иметь одну камеру или нескольких жестко соединенных между собой камер, причем последние должны быть сообщающимися. Запрещается производить разборку резервуара; в противном случае это повлечет за собой окончательное изъятие резервуара из эксплуатации.

25. Резервуар может быть снабжен приспособлениями, которые представляют собой не находящиеся под давлением несущие части, обеспечивающие дополнительную опору и/или защиту резервуара.

26. При заправке водород поступает в систему хранения через контрольный клапан, который предотвращает проход водорода обратно в заправочный трубопровод.

27. Автоматический запорный клапан блокирует нагнетание водородного топлива в случае, когда транспортное средство не эксплуатируется, или при выявлении неисправности, требующей изолирования системы хранения водорода.

28. В случае возгорания предохранительные устройства для сброса давления, срабатывающие под воздействием тепла (УСДТ), обеспечивают контролируемое стравливание газа из резервуаров для хранения компримированного водорода, прежде чем значительное повышение температуры приведет к ослаблению стенок резервуара и появлению опасных разрывов. УСДТ спроектированы таким образом, чтобы быстро стравливать все содержимое резервуара. Они являются устройствами разового действия и не допускают повторного заполнения резервуара под давлением. Предполагается, что резервуары для хранения и УСДТ, перенесшие последствия возгорания, подлежат изъятию из эксплуатации и уничтожению.

b) Система хранения сжиженного водорода

29. Поскольку опыт эксплуатации транспортных средств с системами хранения сжиженного водорода является довольно ограниченным и сводится к использованию демонстрационных автопарков, никакой возможности комплексно оценить требования в отношении безопасности, равно как обстоятельно изучить процедуры испытаний на предмет их практической применимости и актуальности с точки зрения известных случаев поломок, не имелось. Поэтому в разделе G настоящей преамбулы и

пункте 7 текста Правил соответственно для рассмотрения Договаривающимися сторонами на предмет возможного включения в их национальные предписания приведены факультативные требования и процедуры испытаний для транспортных средств с системами хранения сжиженного водорода. Предполагается, что эти требования будут рассматриваться в качестве требований будущих ГТП ООН, применяемых к транспортным средствам с системами хранения сжиженного водорода.

4. Система подачи водородного топлива

30. Система подачи водородного топлива обеспечивает поступление водорода из системы хранения в тяговую установку при значениях давления и температуры, соответствующих работе топливных элементов (или ДВС). Подача осуществляется через целую серию клапанов регулирования расхода, регуляторов давления, фильтров, трубопроводов и теплообменников. В транспортных средствах с системами хранения сжиженного водорода водородное топливо как в сжиженном, так и газообразном состоянии может высвобождаться из системы хранения и затем нагреваться до соответствующей температуры до подачи в ДВС или систему топливных элементов. Аналогичным образом в транспортных средствах с системами хранения компримированного водорода также может требоваться термостатирование газообразного водорода, особенно при чрезвычайно холодной погоде в условиях ниже точки замерзания.

31. В системе подачи топлива давление водорода, поступающего из системы его хранения, снижается до уровней, требуемых для обеспечения функционирования системы топливных элементов или ДВС. Например, в случае системы хранения компримированного водорода с НРД, составляющим 70 МПа, может потребоваться снизить давление с 87,5 МПа до менее 1 МПа на входе системы топливных элементов, а на входе системы ДВС — как правило, до значения ниже 1,5 МПа. Это диктует необходимость многоступенчатого, причем точного и устойчивого, регулирования давления для защиты поднапорного оборудования от барических перегрузок в случае выхода из строя регулятора давления. Для защиты системы подачи топлива от барических перегрузок может быть предусмотрена возможность стравливания избытка газообразного водорода через редукционный клапан либо отсечки подачи водорода (путем закрытия запорного клапана в системе хранения водорода) при выявлении барических перегрузок на выходе.

5. Система топливных элементов

32. Система топливных элементов вырабатывает электрическую энергию, необходимую для питания приводных электродвигателей и подзарядки аккумуляторных батарей и/или конденсаторов транспортного средства. Существует несколько видов топливных элементов, однако к наиболее распространенному типу относятся топливные элементы с протонообменной мембраной (ПОМ); они характеризуются более низкой рабочей температурой, что обеспечивает более быстрое время запуска. В топливных элементах с ПОМ водород вступает в электрохимическое взаимодействие с кислородом (из воздуха), и в результате такой реакции вырабатывается электрическая энергия постоянного тока. Топливные элементы при подаче на них водорода и кислорода (воздуха) обеспечивают непрерывную выработку электроэнергии, с образованием одновременно воды, но не образуют двуокиси углерода (CO₂) или других вредных выбросов, характерных для бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

33. Как показано на рис. 1, стандартная система топливных элементов включает в себя компрессор для подачи воздуха на батарею топливных элементов. Потребление топливными элементами кислорода, подаваемого на батарею топливных элементов, составляет примерно 50–70 %. Остаток выводится из системы. Батареями потребляется большая часть водорода, поступающего в систему топливных элементов, а небольшой избыток требуется для предотвращения повреждения самих топливных элементов. Этот избыток водорода либо смешивается с выбросами, производимыми транспортным средством, которые не должны быть огнеопасными, либо подвергается каталитическому окислению.

34. Система топливных элементов также включает в себя вспомогательные компоненты для отвода отходящего тепла. В большинстве систем топливных элементов для охлаждения используется водногликолевая смесь. Насосы обеспечивают циркуляцию охлаждающей жидкости между топливными элементами и радиатором.

35. Отдельные топливные элементы с помощью последовательного электрического соединения обычно собирают в стопку таким образом, чтобы их совокупное напряжение — полное напряжение батареи — составляло от 300 до 600 В постоянного тока. Поскольку батареи топливных элементов работают при повышенном напряжении, все соединительные трубопроводы для подачи на батарею реагентов и поступления в нее охлаждающей жидкости (включая сам хладагент) должны быть надлежащим образом изолированы от токопроводящего шасси транспортного средства во избежание электрических разрядов, способных повредить оборудование или поразить людей в случае нарушения изоляции.

6. Система электрической тяги и распределения энергии

36. Электроэнергия, вырабатываемая системой топливных элементов, используется для питания тяговых электродвигателей, которые приводят в движение транспортное средство. Как показано на рис. 2, многие транспортные средства на топливных элементах имеют передний ведущий мост, а тяговый электродвигатель и трансмиссия расположены в “моторном отсеке” и установлены в продольной плоскости над передней осью; однако также вполне допустимы иные конфигурации, равно как наличие заднего ведущего моста. Более крупные транспортные средства, работающие на топливных элементах, могут быть полноприводными с расположением электродвигателей на передней и задней осях либо с компактными электродвигателями на каждом колесе.

37. Для определения объема энергии, подаваемой на ведущие колеса, регулятором(ами) приводного электродвигателя используется “положение дроссельной заслонки”. Во многих транспортных средствах на топливных элементах для дополнительного усиления выходной мощности топливных элементов применяются аккумуляторные батареи и ультраконденсаторы. Такие транспортные средства могут также улавливать энергию, расходуемую в процессе замедления и остановки, за счет системы рекуперативного торможения; эта энергия служит для подзарядки аккумуляторных батарей и ультраконденсаторов, максимально увеличивая тем самым КПД.

38. Приводные электродвигатели могут быть либо постоянного, либо переменного тока. В случае электродвигателей переменного тока регулятор преобразует электрическую энергию постоянного тока, поступающую от топливных элементов, аккумуляторов и ультраконденсаторов, в переменный ток. В случае же транспортных средств с системой рекуперативного торможения регулятор преобразует электрическую энергию переменного тока, вырабатываемую приводным электродвигателем, обратно в постоянный ток, с тем чтобы энергия могла накапливаться в аккумуляторных батареях или ультраконденсаторах.

7. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)

39. Водородное топливо может также использоваться не в системе топливных элементов, а в двигателе внутреннего сгорания, хотя для этого и потребуются произвести ряд адаптаций ДВС. Однако принцип сгорания остается тем же, что и в бензиновых двигателях, так что по большей части можно задействовать силовую передачу автомобиля с бензиновым двигателем. Система заправки водородом и система хранения водорода останутся такими же, как и у ТСВТЭ, тогда как система подачи топлива будет адаптирована под систему впрыска транспортного средства с ДВС.

D. Обоснование области применения, определений и применимости

1. Обоснование пункта 2 (Область применения)

40. Настоящие ГТП ООН применяются к системам хранения водорода, имеющим номинальное рабочее давление (НРД) 70 МПа или меньше, при соответствующем максимальном давлении заправки, составляющем 125 % номинального рабочего давления. К числу систем с НРД до 70 МПа относятся системы хранения, которые, как в настоящее время ожидается, найдут коммерческое применение в транспортных средствах. В будущем — при наличии заинтересованности в системах с более высокими значениями номинального рабочего давления — будут пересмотрены процедуры испытаний на соответствие установленным требованиям.

41. Настоящие ГТП ООН применяются к системам хранения топлива, которые надежно и жестко закреплены на транспортном средстве для их использования на протяжении всего срока его эксплуатации. Они не применяются к системам хранения, которые при заправке транспортного средства подлежат замене. Настоящие ГТП ООН не применяются к транспортным средствам с системами хранения, в которых происходит химическое связывание водорода; они применяются к транспортным средствам с системами физического изолирования газообразного или сжиженного водорода.

42. Инфраструктура станций заправки водородным топливом, созданная до 2010 года, рассчитана на заправку транспортных средств водородом с НРД до 70 МПа. Настоящими ГТП ООН не оговариваются требования, предъявляемые к автозаправочной станции или стыковочному устройству “заправочная колонка/ транспортное средство”.

43. Настоящими ГТП ООН предусматриваются требования к целостности топливной системы в условиях испытания транспортного средства на столкновение, но не оговариваются конкретные условия проведения таких испытаний. Как ожидается, Договаривающиеся стороны Соглашения 1998 года будут руководствоваться в этой связи своими национальными предписаниями. В случае транспортных средств большой грузоподъемности, применительно к которым краш-тесты не предусмотрены, по мнению различных Договаривающихся сторон, необходимо ввести минимальный уровень безопасности, подтверждаемый путем испытания топливной системы на целостность. В данной связи в ряде правил, например Правилах № 67 ООН, касающихся транспортных средств, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), Правилах № 110 ООН, касающихся транспортных средств, работающих на сжиженном природном газе (СПГ) и сжиженном природном газе (СПГ), а также Регламенте № 406/2010 Европейского союза об исполнении Регламента (ЕК) № 79/2009 о водородной безопасности, четко закреплены положения относительно испытания резервуаров для хранения газа и их креплений на ускорение. В ходе этих испытаний систему хранения вместе с ее креплениями к конструкции транспортного средства подвергают ускорению, величина которого зависит от категории транспортного средства. Вместо физических испытаний допускается использование метода расчета при условии, что может быть доказана его эквивалентность.

44. На этапе 2 разработки ГТП № 13 ООН в рамках неофициальной рабочей группы не удалось достичь консенсуса в отношении испытания на ускорение, ибо Договаривающиеся стороны не пришли к согласию по поводу цели проведения такого испытания или того, насколько оно отвечает конкретным потребностям в плане обеспечения безопасности. Однако было решено продолжить изучение аспектов, касающихся целостности топливной системы, на последующем этапе 3, что позволит осуществить сбор практических данных “из первых рук”, поступающих от изготовителей оригинального оборудования (ИОО) и других соответствующих сторон. Предметом рассмотрения на этапе 3 также станут другие предъявляемые к целостности топливной системы требования, в частности связанные с испытанием на боковой удар.

45. Если на этапе 1 разработки ГТП № 13 ООН основной акцент делался на легковых автомобилях (транспортных средствах категорий 1-1 и 1-2 с полной массой транспортного средства (ПМТС), составляющей 4536 кг или менее), то целью этапа 2 является распространить область применения на транспортные средства большой грузоподъемности (категории 1-2 с ПМТС свыше 4536 кг и категории 2). В этом находит отражение растущий спрос на коммерческое внедрение технологий, связанных с альтернативными видами топлива. Коммерческое использование систем на базе сжатого газообразного водорода в автобусах уже доказало практическую пригодность, рентабельность и эффективность, а также безопасность систем, устанавливаемых на транспортных средствах категории 1-2 с ПМТС свыше 4536 кг. Включение же транспортных средств категории 2 будет способствовать сбору данных о применимости таких систем на этих автомобилях. При разработке требований и процедур испытаний для транспортных средств большой грузоподъемности надлежит учитывать их различные конфигурации и варианты использования, большие массы и габариты, специфические концепции безопасности (в частности, наличие процедур проведения краш-тестов, скоростные и прочие ограничения), более длительные сроки службы и т. д.

2. Обоснование пунктов 3.9 и 3.48 (Определения терминов “срок службы” и “дата снятия с эксплуатации”)

46. Эти определения имеют отношение к квалификационной оценке системы хранения сжатого водорода для целей эксплуатации в дорожных условиях. Срок службы — это максимальный период времени, на который рассчитана и/или разрешена эксплуатация (использование). В настоящем документе приводятся критерии квалификационной оценки систем хранения сжиженного и сжатого водорода, имеющих срок службы 25 лет или меньше (пункт 5.1). Срок службы указывается изготовителем.

47. Дата снятия с эксплуатации — это календарная дата (месяц и год), указанная для вывода устройства из эксплуатации. Эта дата может устанавливаться компетентным регулирующим органом. Предполагается, что она будет исчисляться с учетом даты выхода с завода для первоначального использования плюс срок службы.

3. Обоснование пункта 4 (Применимость требований)

48. Оговоренные в пункте 5 требования к эффективности имеют отношение к квалификационной оценке конструкции для целей эксплуатации в дорожных условиях. Ожидается, что все Договаривающиеся стороны признают транспортные средства, полностью отвечающие требованиям настоящих ГТП ООН, в качестве пригодных для эксплуатации в дорожных условиях на их национальной территории. Договаривающиеся стороны с собственными системами официального утверждения типа могут дополнительно потребовать обеспечения соблюдения их требований в отношении соответствия производства, спецификаций материалов и водородного охрупчивания.

49. Предполагается также, что любая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению установить иные требования к конкретным транспортным средствам в отношении их пригодности для дорожной эксплуатации на своей национальной территории. Например, транспортные средства, признанные пригодными для дорожной эксплуатации с соблюдением требований настоящих ГТП ООН, включая проведение гидравлического испытания с прохождением 11 000 циклов изменения давления по пункту 5.1.2, будут признаны пригодными для дорожной эксплуатации во всех Договаривающихся сторонах. Любая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению признать пригодными для дорожной эксплуатации на своей национальной территории и транспортные средства малой грузоподъемности, системы хранения сжатого водорода которых подвергаются испытанию с использованием 7500 циклов изменения давления (пункт 5.1.1.2).

Е. Обоснование пункта 5 (Требования к эффективности)

1. Требования к испытанию системы хранения сжатого водорода и потребности с точки зрения безопасности

50. Удержание водорода в системе хранения сжатого водорода является необходимым условием его успешного изолирования от окружающей среды и поднапорных систем. Под системой хранения понимаются все запорные устройства, которые обеспечивают первичную изоляцию водорода, хранящегося под высоким давлением. Такое определение учитывает возможность будущих достижений с точки зрения разработок, материалов и конструкции, которые, как ожидается, позволят уменьшить вес, увеличить емкость, повысить соответствие требованиям и улучшить другие показатели.

51. Требования, предъявляемые к системе хранения сжатого водорода (СХКВ) и ее первичным запорным устройствам, оговорены в пункте 5.1. Согласно положениям его подпункта b), Договаривающиеся стороны могут требовать, чтобы первичные запорные устройства устанавливались непосредственно на резервуаре или внутри него. При необходимости изготовители могут размещать на резервуаре в альтернативных местах расположения дополнительные УСДТ. Однако любые дополнительные УСДТ должны соединяться непосредственно с резервуаром посредством подводящих магистралей, механическая целостность и долговечность которых были подтверждены в рамках квалификационных испытаний СХКВ (по пунктам 5.1.1 и 5.1.2).

52. *Требования в отношении испытаний на эффективность*, предъявляемые ко всем системам хранения сжатого водорода, используемым на дорожных транспортных средствах, оговорены в пункте 5.1. Требования на базе эксплуатационных характеристик учитывают документально зафиксированные дорожные факторы нагрузки и виды эксплуатации для обеспечения точного соответствия квалификационным требованиям, предъявляемым к находящимся в эксплуатации транспортным средствам. В целях подтверждения способности выполнять на протяжении всего срока службы важнейшие функции, включая наполнение/опорожнение, стоянку в экстремальных условиях и поведение в условиях возгорания без ущерба для безопасной изоляции водорода в системе хранения, были разработаны соответствующие квалификационные испытания. Эти критерии применимы к проведению испытаний систем хранения для целей использования на новых транспортных средствах серийного производства.

53. *Обеспечение соответствия производства систем хранения, подлежащих официальному испытанию на соответствие конструкции установленным требованиям*: изготовители обеспечивают, чтобы все производимые изделия соответствовали требованиям в отношении проверочных испытаний на эффективность по пункту 5.1.2. Кроме того, изготовители, как ожидается, будут следить за показателями надежности, долговечности и ресурса прочности репрезентативных единиц продукции на протяжении всего срока их эксплуатации.

54. *Структура требований*: к числу квалификационных требований к конструкции системы хранения сжатого водорода по пункту 5.1 относятся:

- 5.1.1 испытания для проверки базовых параметров;
- 5.1.2 проверочные испытания на ресурс прочности (последовательные испытания под гидравлическим давлением);
- 5.1.3 проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные испытания под пневматическим давлением);
- 5.1.4 проверочное испытание на окончательный выход системы из строя при возгорании.

55. В пункте 5.1.1 указаны параметры, используемые для цели остальных проверочных испытаний на эффективность и контроля качества продукции.

Пунктами 5.1.2 и 5.1.3 предусматривается проведение квалификационных испытаний на предмет проверки того, что данная система способна поддерживать основные функции наполнения, опорожнения и стоянки в экстремальных дорожных условиях без утечки или разрыва на протяжении указанного срока службы. Пунктом 5.1.4 предусматривается подтверждение того, что система безопасно и надежно функционирует при возгорании, ведущем к окончательному выходу ее из строя.

56. *Вопрос о сравнительной жесткости* соответствия действующим национальным правилам эксплуатации в дорожных условиях с точки зрения правил ЕС был рассмотрен в ходе проведенной при поддержке ЕС оценки сравнительной жесткости соответствия (К. Висвикис (TRL CPR1187, 2011) “Транспортные средства на водороде: сопоставление европейского законодательства и проекта глобальных технических правил ЭЭК”). Был сделан следующий вывод: “В целом работа показала, что существуют фундаментальные различия между европейским законодательством и проектом глобальных технических правил. Не было проведено достаточное количество испытаний, и наблюдается отсутствие практических данных, необходимых для установления со всей определенностью того, в рамках какого из этих испытаний предъявляются более жесткие требования. Существуют такие аспекты конструкции и установки системы хранения водорода, которые регламентируются в Европе, но не включены в проект глобальных технических правил. Вместе с тем требования в отношении эффективности, предусмотренные в рамках глобальных правил, как представляется, в целом являются более жесткими по сравнению с положениями европейского законодательства”. Далее в докладе говорится следующее: “...невключение в проект глобальных технических правил испытания на проникновение потенциально является существенным упущением. Маловероятно, что резервуары с водородом могут во время их эксплуатации пострадать в результате применения огнестрельного оружия, однако возможны различные последствия в плане безопасности... от вандализма или терроризма”.

57. Сравнительная жесткость соответствия действующим национальным правилам эксплуатации в дорожных условиях была обеспечена за счет изучения технической основы требований в отношении безопасности дорожного движения, предъявляемых отдельными Договаривающимися сторонами, и последующего подтверждения того, что требования ГТП ООН обеспечивают достижение соответствующей намечаемой цели в плане безопасности. Заслуживают упоминания два примера.

- a) Первый пример: некоторыми национальными правилами предписано, чтобы система хранения сжатого газа выдерживала 45 000 циклов полного наполнения под гидравлическим давлением без разрыва, если при этом не происходит утечки.
- b) Второй пример: основополагающее требование в отношении исходного давления разрыва (>225 % НРД для резервуаров из композитных материалов на основе углеродного волокна и >350 % НРД для резервуаров из композитных материалов на основе стекловолокна) в некоторых случаях действовало ранее применительно к резервуарам КПП, рассчитанным на более низкое давление. Была изучена основа такого рода требования к давлению разрыва для новых (неиспользованных) резервуаров. Факт наличия надежной, подтвержденной количественными данными основы для прошлых потребностей, связанных с требованиями эксплуатации в дорожных условиях, установлен не был. Вместо этого использовались современные технические методы выявления неблагоприятных условий эксплуатации, разработанные на базе накопленного в течение десятилетий практического опыта такой эксплуатации, и квалификационные испытания для одновременного воспроизведения подобных экстремальных условий, призванные подвергнуть системы проверке на способность функционировать и сохранять свою целостность в течение всего срока службы. Вместе с тем фактор риска, который, как можно считать, еще не учтен в рамках других требований к испытаниям и для которого целесообразным представляется проведение испытания на

давление разрыва, связан с демонстрацией способности противостоять разрыву в результате превышения давления на заправочных станциях в течение всего срока службы. Более жесткие требования при проведении испытаний предъявляются к резервуарам “на момент выхода из строя” (что имитируется экстремальными условиями испытаний), а не к новым (неиспользованным) резервуарам. Поэтому, исходя из продемонстрированной эквивалентной вероятности сбоя после 4 минут воздействия при 180 % НРД и после 10 часов воздействия при 150 % НРД (на основе данных о времени возникновения разрыва “при наиболее неблагоприятных условиях” для композиционных жил), было принято требование в отношении остаточной (на момент выхода из строя) прочности (без разрыва) при воздействии в течение 4 минут давления, соответствующего 180 % НРД. Максимальное превышение давления на заправочных станциях принимается равным 150 % НРД. В ходе экспериментов над резервуарами с дополнительной изоляцией было установлено, что охлаждение резервуара, нагретого в результате закачки газа, происходит в течение порядка 10 часов. Дополнительное требование в виде минимального давления разрыва 200 % НРД для новых (неиспользованных) резервуаров рассматривается в качестве критерия подтверждения минимальной способности нового резервуара выдержать последовательные испытания на прочность при давлении свыше 180 % НРД с учетом колебания прочности новых резервуаров менее чем $\pm 10\%$. Используемое ранее минимальное значение 225 % НРД в настоящем документе было принято в качестве консервативного замещающего показателя, причем без какого-либо обоснования, подкрепленного количественными данными, а лишь с опорой на прежний опыт некоторых Договаривающихся сторон и с тем расчетом, что в свое время поступят дополнительные соображения и данные/результаты анализа в поддержку либо использования показателя 225 % НРД, либо пересмотра минимального требования сопротивления разрыву для новых резервуаров.

58. Минимальное значение 225 % НРД, использовавшееся ранее для резервуаров из композитных материалов на основе углеродного волокна, было принято в качестве замещающего показателя ввиду отсутствия на этапе 1 разработки ГТП № 13 ООН соответствующих количественных данных. В ходе последующих обсуждений на этапе 2 способность резервуаров обеспечивать давление разрыва на момент окончательного выхода из строя на уровне 180 % НРД получила подтверждение с учетом представленных Японией данных по резервуарам из композитных материалов на основе углеродного волокна, рассчитанным на давление 70 МПа, исходя из предположения, что изменчивость величины давления разрыва для новых резервуаров находится в пределах $VR_0 \pm 10\%$. Как следствие, было достоверно установлено, что для новых резервуаров из композитных материалов на основе углеродного волокна должно указываться давление разрыва, составляющее 200 % НРД.

59. Пунктом 5.1.1.2 (базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров) предусматривается требование в виде 22 000 циклов. 22 000 циклов полного наполнения соответствуют показателю, составляющему более чем 7 млн транспортное средство-км за весь срок эксплуатации (из расчета 350–500 км на полную заправку). Поскольку ожидаемый срок эксплуатации значительно меньше 1 млн км, требование в отношении 22 000 циклов наполнения было признано достаточным для обеспечения значительного резервного превышения по сравнению с наихудшим сценарием эксплуатации транспортного средства. Во-вторых, национальные стандарты содержат различные положения, призванные обеспечить достаточную прочность для противостояния статическому (в условиях стоянки) и циклическому (в условиях наполнения) давлению за счет остаточной прочности. Способность противостоять индивидуальным случаям повышения статического и циклического давления обычно оценивается путем проведения испытаний, эквивалентных испытаниям по пунктам 5.1.2.4, 5.1.2.5 и 5.1.2.6, но каждое из которых проводят на отдельном новом резервуаре.

Основополагающее требование в отношении исходного давления разрыва (>225 % НРД для резервуаров из композитных материалов на основе углеродного волокна и >350 % НРД для резервуаров из композитных материалов на основе стекловолокна) широко используется для косвенного учета таких разовых факторов, как комбинированное воздействие индивидуальных нагрузок и химических/физических стрессов и способность выдержать избыточное давление при заполнении. Требованиями же ГТП ООН предусматривается непосредственный учет этих факторов с четким воспроизведением комбинированного воздействия индивидуальных нагрузок и химических/физических стрессов и избыточного давления. В отличие от других газообразных видов топлива технические условия заправки водородом гарантируют ограничение по потенциальному превышению давления до предельных показателей, воспроизводимых при испытании резервуара. Кроме того, требованиями ГТП ООН предусмотрена остаточная прочность на случай крайнего превышения давления, вызывающего выход системы из строя, с сохранением стабильности, достаточной для обеспечения способности противостоять разрыву при давлении, близком (в пределах 20 %) к показателям для нового резервуара. Все требования ГТП ООН непосредственно опираются на уже опубликованные данные, которые четко и в количественном выражении увязывают критерии испытаний с оговоренными аспектами безопасной дорожной эксплуатации. Так, критерии, позволяющие сделать косвенный вывод о безопасности эксплуатации на протяжении всего срока службы и на момент выхода из строя, были заменены критериями, предусматривающими непосредственную проверку возможности безопасной эксплуатации до момента выхода из строя при наихудшем сценарии совокупного воздействия различных факторов; как следствие, обеспечивается дополнительная жесткость требований в отношении гарантирования возможности безопасной эксплуатации на протяжении всего срока службы. Среди примеров, свидетельствующих о такой дополнительной жесткости, можно указать следующие требования ГТП ООН: испытание на циклическое изменение давления с использованием газообразного водорода, проводимое при экстремальных температурах (пункт 5.1.3.2), а не только при температуре окружающей среды; испытание на проникновение газообразного водорода при экстремальных температурах и с имитацией выхода системы из строя (пункт 5.1.3.3); испытание на остаточную прочность при выходе системы из строя (пункт 5.1.2.7) и после совокупного воздействия различных стрессовых факторов (пункт 5.1.2); и испытание на огнестойкость при локальном возгорании и под воздействием охватывающего пламени (пункт 5.1.4).

60. В нижеследующих разделах (пункты 5.1.1–5.1.4) обосновываются оговоренные в пункте 5.1 требования к целостности системы хранения компримированного водорода.

а) Обоснование пункта 5.1.1 — Испытания для проверки базовых параметров

61. Испытания для проверки базовых параметров призваны: i) установить соответствие систем, отобранных на предмет квалификационной проверки из партии изделий (квалификационная партия), заявленным свойствам и отраженным в документации изготовителя сведениям о контроле качества продукции; ii) определить средний показатель исходного давления разрыва, подлежащий использованию в ходе проверочных испытаний на эффективность (пункты 5.1.2 и 5.1.3) и который может также использоваться для целей контроля качества продукции (т. е. для обеспечения соответствия произведенной продукции изделиям из квалификационной партии); и iii) проверить соблюдение требований в отношении минимального давления разрыва и количества циклов изменения давления до появления утечки.

62. Требования, касающиеся базового показателя давления разрыва для новых резервуаров, отличаются от требований в отношении давления разрыва “при окончательном выходе из строя”, соответствие которым проверяется на завершающем этапе испытаний по пунктам 5.1.2 и 5.1.3. Базовый показатель давления разрыва относится к новым, не бывшим в эксплуатации резервуарам, а показатель давления разрыва “при окончательном выходе из строя” — к резервуарам, уже подвергнутым серии испытаний на эффективность (пункт 5.1.2 или 5.1.3), воспроизводящих наиболее неблагоприятные условия использования и воздействия внешних факторов на

протяжении всего срока службы. Поскольку по мере эксплуатации и под воздействием внешних факторов накапливается “усталость”, ожидается, что давление разрыва “на момент выхода из строя” (т. е. прочность на разрыв) может оказаться ниже, чем аналогичный показатель для новых и не подвергавшихся внешнему воздействию резервуаров.

i) *Обоснование пункта 5.1.1.1 — Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров*

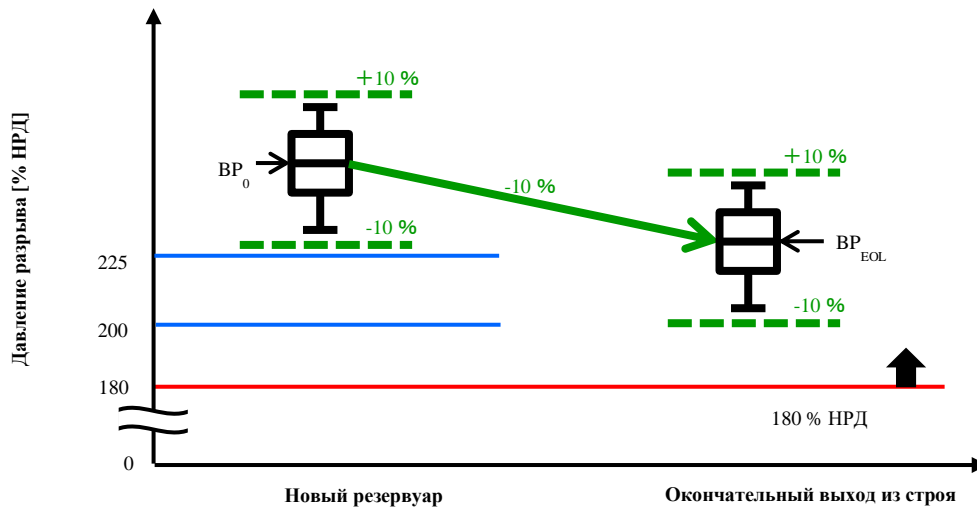
63. В пункте 5.1.1.1 вводится средний показатель давления разрыва для новых резервуаров (BP_0), на основе которого проверяется, находятся ли показатели исходного давления разрыва для систем, отобранных из квалификационной партии, в пределах $BP_0 \pm 10\%$. BP_0 служит в качестве отправной точки при проверке рабочих характеристик (пункты 5.1.2.8 и 5.1.3.5) и проверке соответствия в рамках испытываемой квалификационной партии. Положения пункта 5.1.1.1 направлены на проверку того, что BP_0 составляет не менее 225 % НРД либо 350 % НРД (для композитных материалов на основе стекловолокна); эти значения были предварительно выбраны без опоры на имеющиеся данные, а на основе ранее применявшихся уровней и используются здесь с тем расчетом, что поступят данные или результаты анализа, позволяющие повторно рассмотреть этот вопрос в рамках второго этапа разработки настоящих ГТП ООН. Например, требование в отношении минимального давления разрыва для новых резервуаров на уровне 200 % может быть подкреплено связанными с обоснованием эффективности данными о том, что требование в отношении давления разрыва на момент выхода из строя >180 % НРД (продиктованное необходимостью выдерживать максимальное избыточное давление на заправочных станциях) в сочетании с (максимально допустимым) сокращением срока службы на 20 % (если брать за основу средний показатель прочности на разрыв новых резервуаров) эквивалентно требованию в отношении медианного показателя прочности на разрыв новых резервуаров, составляющего 225 % НРД, что соответствует минимальной прочности на разрыв в 200 % НРД при максимально допустимых колебаниях $\pm 10\%$ в значениях исходной прочности. Промежуток времени между этапом I и этапом II обеспечивает возможность — до принятия соответствующего решения на этапе 2 — для сбора новых данных или проведения аналитических изысканий в обоснование минимального показателя в 225 % НРД (или другого показателя в процентах от НРД).

64. В пункте 5.1.1.1 — в качестве замещающего показателя, принятого на этапе 1 разработки ГТП № 13 ООН, — было указано минимальное давление разрыва для новых углеродно-волоконных резервуаров, составляющее 225 % НРД (и 350 % НРД — для резервуаров из стекловолокна).

65. В ходе последующих обсуждений на этапе 2 Япония представила данные, полученные по результатам экспериментов с резервуарами из композитных материалов на основе углеродного волокна, рассчитанными на давление 70 МПа, в обоснование изменения величины минимального давления разрыва для новых — причем только углеродно-волоконных — резервуаров с 225 % НРД до 200 % НРД (Дж. Томиока и др. (сентября 2019 года): “Влияние последовательных испытаний под гидравлическим давлением на прочность резервуаров для компримированного водорода типа 4 на разрыв”). Международная конференция 2019 года по водородной безопасности. Технический документ № 159).

Примечание: Требование, предъявляемое к резервуарам из стекловолокна, остается без изменений и составляет 350 % НРД.

Рис. 6
 Соотношение между давлением разрыва для новых резервуаров и давлением (оценочным) разрыва на момент окончательного выхода из строя



66. Соотношение между ныне предписанным давлением разрыва для новых резервуаров и оценочным давлением разрыва на момент окончательного выхода из строя показано на рис. 6. Согласно результатам японского эксперимента, резервуары, отвечающие требованию $BP_0 \pm 10\%$, будучи подвергнутыми последовательным испытаниям под гидравлическим давлением, способны на момент выхода из строя выдерживать давление разрыва не менее 180 % НРД, даже если показатель минимального давления разрыва для новых резервуаров снижен до 200 % НРД.

67. Метод проверки на базе последовательных испытаний под гидравлическим давлением. Изменчивость величин давления разрыва для новых резервуаров и давления разрыва на момент окончательного выхода из строя, а также средняя скорость деградации в диапазоне от первой до второй величин давления были изучены на основе данных испытаний углеродно-волоконных резервуаров ($N \geq 10$). Резервуары были отобраны из одной партии изделий с подтвержденной способностью выдерживать исходное давление разрыва свыше 225 % НРД.

Рис. 7
 Результаты проверочного испытания

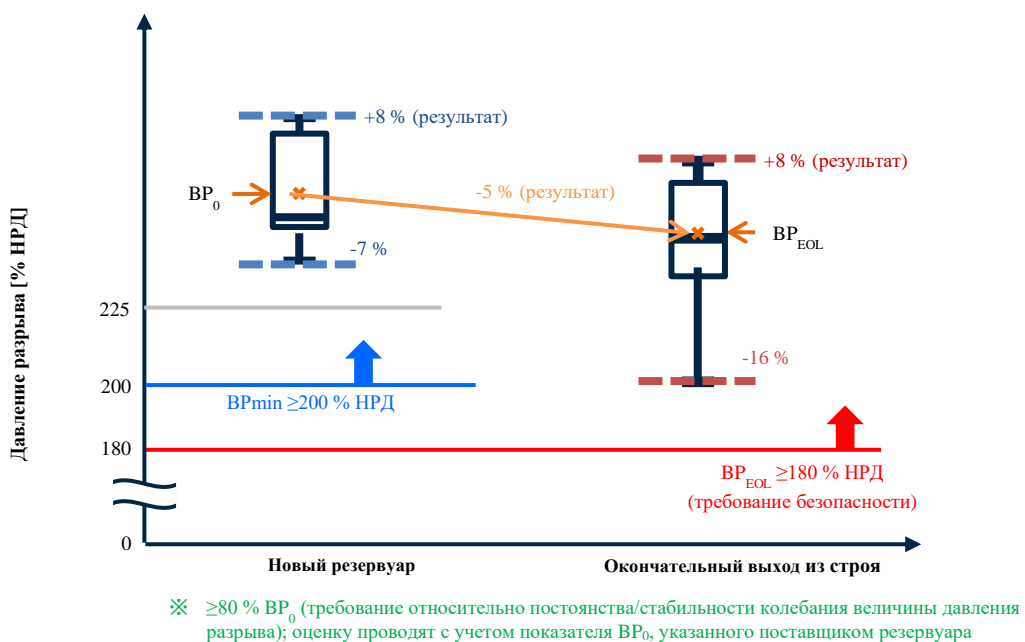
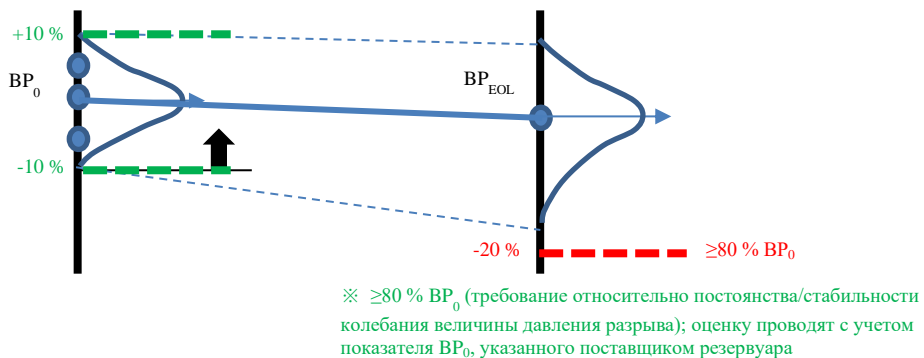


Рис. 8
Распределение BP_0 и BP_{EOL}

Давление разрыва для новых резервуаров Давление разрыва на момент окончательного выхода из строя



68. Результаты испытания представлены на рис. 7. Минимальное значение давления разрыва для новых резервуаров превышало 225% НРД и не выходило за рамки требования $BP_0 \pm 10\%$. Показатель давления разрыва на момент окончательного выхода из строя — с учетом обусловленных испытанием колебаний значения и скорости деградации — превышал 180% НРД, т. е. составлял BP_0 плюс более 80% , причем с достаточным запасом (рис. 8).

69. Как показывают эти результаты, показатель минимального давления разрыва для новых резервуаров, составляющий 225% НРД, можно снизить до 200% НРД, причем без отхода от требований, касающихся сохранения давления разрыва на момент окончательного выхода из строя (BP_{EOL}) на уровнях выше 180% НРД и $80\% BP_0$.

70. Данный вывод относится ко всем резервуарам, сконструированным исходя из зависимости BP_{min} от расчетного НРД. В настоящее время нет доказательств того, что варибельность зависит от НРД. Однако в ходе обсуждений на этапе 2 одна Договаривающаяся сторона заявила, что данных в обоснование изменения требования, касающегося давления разрыва для новых резервуаров, рассчитанных на давление 35 МПа, недостаточно. Поэтому для резервуаров из композитных материалов на основе углеродного волокна, рассчитанных на давление 35 МПа, в качестве варианта, оставляемого на усмотрение Договаривающихся сторон, был сохранен показатель 225% НРД с расчетом на то, что в будущем будут представлены дополнительные данные или аналитические выкладки. Хотя минимальное давление разрыва для новых углеродно-волоконных резервуаров в 200% НРД и рассматривается в качестве достаточного требования к эффективности, предъявляемого согласно ГТП № 13 ООН, основу данных проверки составляют результаты испытаний резервуаров, отобранных из одной партии. Ответственность же за качество продукции — и связанные с этим расхождения между различными производственными партиями — несут изготовители резервуаров.

71. Выполнение данного требования к эффективности, как ожидается, позволит гарантировать стабильность резервуара перед проведением квалификационных испытаний, оговоренных в пунктах 5.1.2, 5.1.3 и 5.1.4.

ii) *Обоснование пункта 5.1.1.2 — Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров*

72. В соответствии с этим требованием три (3) произвольно отобранных новых резервуара подвергают циклическому изменению гидравлического давления вплоть до 125% НРД без разрыва в течение $22\,000$ циклов или до появления утечки. Утечка не должна происходить в течение 7500 или $11\,000$ циклов (определяется по усмотрению Договаривающихся сторон) в случае транспортных средств малой грузоподъемности (ТСМГ) и $11\,000$ циклов в случае транспортных средств большой грузоподъемности (ТСБГ). Число циклов изменения давления, в течение которых не

должна происходить утечка, составляет — из расчета срока службы от свыше 15 до 25 лет — 11 000. Ниже приводится обоснование числовых значений, использованных для данной спецификации.

- a. *Обоснование параметра “утечка до разрыва” из числа требований в отношении базового показателя циклов изменения давления на протяжении срока службы*

73. Требование в отношении базового показателя циклов изменения давления на протяжении срока службы призвано обеспечить первоначальную проверку прочности на разрыв, обусловленный циклическим изменением давления, в ходе дорожной эксплуатации. Испытание для проверки базового показателя циклов изменения давления должно либо i) привести к возникновению утечки (в этом случае двигатель должен быть заглушен, после чего резервуар ремонтируют или снимают с эксплуатации (пункт 5.2.1.4.3)) с последующим разрывом, либо ii) продемонстрировать способность выдержать 22 000 полных циклов изменения гидравлического давления без разрыва или утечки.

74. Независимо от характера неисправности резервуара соблюдение данного требования обеспечивает достаточную защиту для безопасного использования резервуара на протяжении всего срока службы транспортного средства. Минимально пройденное расстояние до возникновения течи резервуара будет зависеть от ряда факторов, включая выбранное Договаривающейся стороной число циклов и пробег транспортного средства на одну заправку. Однако даже минимальное расчетное значение 7500 циклов до появления утечки при пробеге лишь 320 км (200 миль) на одно наполнение дает значение свыше 1,6 млн км (1 млн миль) до выхода резервуара из строя в результате утечки. Если же рассматривать наихудший сценарий — выход резервуара из строя в результате разрыва, то в этом случае он должен быть способен выдерживать 22 000 циклов. Для транспортных средств с номинальным дорожным пробегом 480 км (300 миль) на полную заправку 22 000 циклов полного наполнения соответствуют пробегу свыше 10 млн км (6 млн миль), что выходит далеко за рамки реалистичных ожиданий в отношении пробега дорожных транспортных средств за весь срок службы (см. пункт 5.1.1.2.2 ниже). Следовательно, либо будет доказана способность резервуара противостоять выходу из строя (в результате утечки или разрыва) под воздействием циклического изменения давления в условиях дорожной эксплуатации, либо утечка произойдет до разрыва, что воспрепятствует продолжению эксплуатации, потенциально способной привести к разрыву резервуара.

75. Для подтверждения прочности резервуара на разрыв (в отсутствие произошедшей ранее утечки) требуется большее число циклов изменения давления — 22 000 — по сравнению с числом циклов, требующихся для подтверждения сопротивления утечке (7500–11 000), поскольку гораздо более серьезные последствия разрыва дают основание предполагать, что вероятность такого события из расчета на один цикл изменения давления должна быть ниже, чем вероятность менее серьезного события в виде утечки. Риск = (вероятность события) x (серьезность события).

(Примечание: Проведение испытаний на циклическое изменение давления с превышением 125 % НРД могло бы привести к более быстрому возникновению неисправности; вместе с тем это способно привести к возникновению таких видов неисправности, которые не характерны для эксплуатации в реальных условиях.)

- b. *Обоснование параметров “число циклов”, “число циклов изменения гидравлического давления при проведении квалификационных испытаний”, “число циклов не менее 7500 и не более 11 000”*

76. Число циклов изменения давления при проведении гидравлических испытаний конкретно определяется Договаривающимися сторонами в индивидуальном порядке главным образом из-за различий в показателях ожидаемого наименьшего пробега в течение срока службы транспортного средства (расстояние, покрытое за все время эксплуатации транспортного средства) и в наихудших показателях частотности заправки в различных странах. Различия в предполагаемом максимальном числе циклов наполнения в первую очередь обусловлены использованием коммерческих такси с высокой интенсивностью эксплуатации, в отношении которых

в разных странах могут действовать весьма различные эксплуатационные ограничения. Например:

- a) данные о пробеге автопарка (включая такси): в докладе “Sierra Research” № SR2004-09-04, подготовленном для Калифорнийского совета по состоянию воздуха (2004 год), сообщается о пробеге утилизированных в Калифорнии транспортных средств, который во всех случаях не превышает 560 000 км (350 000 миль). Исходя из этих данных и пробега в 320–480 км (200–300 миль) на полную заправку можно предполагать, что максимальное число циклов полного наполнения/опорожнения на протяжении всего срока службы составляет порядка 1200–1800;
- b) данные о пробеге автопарка (включая такси): как сообщило Министерство транспорта Канады, в ходе обязательной проверки выхлопа в Британской Колумбии (Канада) в 2009 году были выявлены пять транспортных средств с наибольшим пробегом, который составлял 800 000–1 000 000 км (500 000–600 000 миль). На основе данных о годе выпуска модели для каждого из указанных транспортных средств было установлено, что это соответствует менее 300 циклам полного наполнения в год или менее чем одной полной заправке в день. Исходя из этих данных и пробега в 320–480 км (200–300 миль) на полную заправку, можно предполагать, что максимальное число циклов полного наполнения/опорожнения составляет порядка 1650–3100;
- c) данные об эксплуатации такси (данные за смену/день и дни/недели): в “Справочнике по такси в городе Нью-Йорке” за 2006 год приводятся данные о максимальном пробеге за смену, равном 320 км (200 миль), и максимальном сроке службы, равном 5 годам. В эксплуатации на протяжении полных 5 лет находятся менее 10 % транспортных средств. Среднегодовой пробег транспортных средств, эксплуатируемых в две смены 7 дней в неделю, составляет 72 000 миль. Сведения о каких-либо транспортных средствах, активно эксплуатируемых на протяжении всех 5 лет срока службы, отсутствуют. Вместе с тем, если транспортное средство планируется заправлять 1,5–2 раза в день и эксплуатировать в течение всего максимального срока службы нью-йоркского такси (город Нью-Йорк), то максимальное число циклов наполнения в течение срока службы такси составит 2750–3600;
- d) данные об эксплуатации такси (данные за смену/день и дни/недели): как сообщило Министерство транспорта Канады, в результате обследования такси, обслуживающих Торонто и Оттаву, было установлено следующее: как правило, такси эксплуатируются по 20 часов в сутки 7 дней в неделю и имеют ежедневный пробег 540–720 км (335–450 миль). Сведения об общем пробеге транспортных средств представлены не были. В самом экстремальном случае можно предполагать, что если транспортное средство эксплуатируется с такой интенсивностью в течение семи лет (максимальный указанный срок службы такси), то наибольший пробег, согласно прогнозам, составляет максимум 1,4–1,9 млн км (870 000–1,2 млн миль). Исходя из пробега 320–480 км (200–300 миль) на полную заправку, прогнозируемое число циклов наполнения в течение 15-летней непрерывной эксплуатации транспортного средства может составить 2900–6000. С учетом этих экстремальных прогнозов эксплуатации минимальное число полных циклов изменения гидравлического давления при проведении квалификационных испытаний на системах хранения водорода устанавливается — применительно к ГТП № 13 ООН на этапе 1 — на уровне 5500. Верхний предел числа циклов изменения давления с полным наполнением устанавливается на уровне 11 000, что рассчитано на транспортное средство, которое находится в активной эксплуатации при двух полных заправках в сутки в течение всего срока службы, равного 15 годам

(расчетный пробег за весь срок службы транспортного средства равен 3,5–5,3 млн км (2,2–3,3 млн миль)).

77. При определении числа циклов было признано, что некоторые системы хранения (например, системы с обмоткой из композитных материалов и внутренней металлической облицовкой), в силу практических особенностей их конструкции могут не быть рассчитаны на эксплуатацию при НРД 70 МПа, если число циклов превышает 5500. При выборе циклов признавалось, что в случае указания значения, составляющего менее 11 000 циклов, некоторые Договаривающиеся стороны могут потребовать введение ограничений на использование, с тем чтобы фактическое число заправок не превышало числа циклов.

78. На этапе 2 от стран из различных регионов (Германия, Соединенные Штаты, Япония) были получены данные, подкрепляющие предложение о сохранении для транспортных средств как малой (ТСМГ), так и большой грузоподъемности (ТСБГ) — в случае продления срока службы автомобилей до 25 лет — 11 000 циклов изменения давления при проведении гидравлических испытаний и 22 000 циклов при испытании на “утечку до разрыва”.

- а) Япония — Была проанализирована база учетных записей японских служб проведения официальных проверок по состоянию на июль 2019 года, насчитывающая 6000 протоколов по транспортным средствам малой грузоподъемности и 21 000 — по транспортным средствам большой грузоподъемности (все виды топлива). Для целей ГТП № 13 ООН основной акцент делался на анализе учетных записей по коммерческим транспортным средствам, поскольку такие автомобили используются наиболее широко (что согласуется с обоснованием на этапе 1). Применительно к каждому транспортному средству был определен — исходя из запаса хода на одну заправку в 320 км для ТСМГ и 400 км для ТСБГ — максимальный пробег в течение срока службы, на основе которого было рассчитано число циклов изменения давления, указанное в таблице 1 ниже.

Таблица 1
Результаты японского исследования

| Тип транспортного средства | Макс. срок службы | Макс. пробег в течение срока службы | Число заправок в течение срока службы (“испытательные циклы изменения давления”) | | Ссылка: предложение на этапе 2 разработки ГТП № 13 ООН |
|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|--|-------|--|
| | | | | | |
| Коммерческие ТСБГ | 15 лет | — | — | — | 11 000 |
| | 20 лет | 3 500 000 км | 8 450 | 8 450 | 11 000 |
| | 25 лет | 4 000 000 км | 9 750 | 9 750 | 11 000 |
| Коммерческие ТСМГ | 15 лет | — | — | — | 7 500 или 11 000 |
| | 20 лет | 2 100 000 км | 6 560 | 6 560 | 11 000 |
| | 25 лет | 2 400 000 км | 7 440 | 7 440 | 11 000 |

Хотя с деталями этого анализа можно ознакомиться в документе “UN GTR13-11-12b TF1 210927 Estimation of VMT TF1-JAMA.pdf” (https://wiki.unece.org/download/attachments/140706658/UN_GTR13-11-12b%20TF1%20%20210927%20Estimation%20of%20VMT%20TF1-JAMA.pdf?api=v2), применявшаяся методика вкратце сводится к следующему:

- i) были собраны учетные записи периодических официальных проверок около 400 000 дорожных транспортных средств. Согласно принятой в Японии классификации, к транспортным

средствам большой грузоподъемности относятся автомобили, имеющие более 10 мест для сидения, грузоподъемностью свыше 1250 кг (при условии, что масса транспортного средства превышает 3500 кг);

- ii) по разнице данных, фигурирующих в протоколах текущей и предыдущей проверок, по каждому транспортному средству был рассчитан годовой ПТС (км/год). Для автомобилей определенного возраста был рассчитан средний пробег транспортного средства (ПТС) за год (ПТС_{год}). По каждому году и каждой возрастной категории автомобилей также был рассчитан максимальный ПТС путем добавления к среднему показателю 3-кратного значения стандартного отклонения ПТС_{год}:

$$\text{Макс.ПТС}_{\text{год}} = \text{ср.ПТС}_{\text{год}} + 3\text{сигма} * \text{ПТС}_{\text{год}}$$

- iii) наконец, путем суммирования величин макс.ПТС_{год} за все года был рассчитан максимальный пробег транспортного средства в течение срока службы (ПТС_{срок службы}):

$$\text{ПТС}_{\text{срок службы}} (\text{км}) = \sum \text{макс.ПТС}_{\text{год}}$$

Затем были выделены и проанализированы данные по коммерческим транспортным средствам, поскольку такие транспортные средства имеют более высокий пробег по сравнению с автомобилями индивидуального пользования;

- iv) путем деления показателя ПТС_{срок службы} на частотность заправки было рассчитано число заправок в течение срока службы. На этапе 1 разработки ГТП № 13 ООН для транспортных средств малой грузоподъемности за величину пробега на одно наполнение было взято значение в 320 км (200 миль). И хотя в настоящее время серийные ТСВТЭ имеют гораздо более значительный запас хода, применительно к ТСМГ — в порядке сохранения преемственности с прежней методикой — использовалось то же значение, что указано выше. В случае ТСБГ величина пробега в 400 км (250 миль) была сочтена обоснованной, поскольку такие транспортные средства обычно имеют большую емкость топливного бака и, следовательно, большой запас хода. Хотя установить единый подкрепленный соответствующими данными показатель частотность заправки для ТСБГ, работающих на водороде, довольно сложно, за достаточно консервативное значение может быть взята величина пробега в 400 км (250 миль);

- v) наконец, была осуществлена фильтрация данных, дабы их наборы позволяли обойти ограничения, налагаемые счетчиком пробега транспортного средства (рассчитанным на пяти- или шестизначные цифры), и отсеять учетные записи с резко отклоняющимися значениями. В рамках исследования за пороговую величину максимального реального ПТС_{год} было взято максимальное значение, полученное путем суммирования усредненного ПТС_{год} и 6-кратного стандартного отклонения за первые пять лет срока службы транспортного средства. Как показывают данные, показатель ПТС_{год} в первые годы эксплуатации автомобиля выше, чем в последующие, поэтому транспортные средства, в случае которых величина максимального реального ПТС_{год} оказалась превышена, были исключены. И хотя такие величины максимального реального ПТС_{год} едва ли возможны на японском автомобильном рынке (1000 км/день и 365 000 км/год), они все же были сохранены, поскольку лишь единичные транспортные средства приближались к этому максимальному пределу, а посему их влияние на общую картину ничтожно мало.

b) Германия — От Федерального управления автомобильного транспорта Германии (КВА) были получены последние имеющиеся данные о пробеге седельных тягачей большой грузоподъемности. Эти данные, почерпнутые из учетных записей официальных проверок за период 2014–2018 годов, касаются новых седельных тягачей после одного года эксплуатации. Как явствует из данных, средний показатель ПТС за 20 или 25 лет ниже среднего показателя за первые три года, что согласуется с отраслевой практикой, согласно которой наибольший километраж грузовики наезжают в первые несколько лет эксплуатации. По итогам анализа данных в основу для целей расчетов был положен — в качестве весьма консервативного значения — взятый из данных по новым грузовикам наибольший годовой ПТС, а не средний показатель за фактический срок службы. Соответствующие допущения включают следующее:

- грузовики на протяжении срока их службы наезжают каждый год одинаковый километраж (115 017 км ежегодно), что представляет собой экстремальный режим эксплуатации;
- среднестатистический водитель грузовика в Европе работает 9 часов в день;
- максимальная скорость движения грузовиков на немецких автомагистралях составляет 80 км/ч;
- запас хода полностью заправленного грузовика, работающего на водородном топливе, составляет — по консервативным оценкам — 500 км.

Исходя из вышеуказанных допущений, расчетный суммарный суточный пробег равен 720 км, что дает примерно 1,5 цикла заправки в день. Поскольку на этапе 1 разработки ГТП № 13 ООН возможность частичной заправки не рассматривалась, это число было округлено до двух. Путем экстраполяции величины ПТС на 20 и 25 лет были получены следующие показатели количества циклов заправки:

Таблица 2
Результаты немецкого исследования

| Тип транспортного средства | Макс. срок службы | Макс. пробег в течение срока службы | Число заправок | |
|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|---|--|
| | | | в течение срока службы (“испытательные циклы изменения давления”) | Ссылка: предложение на этапе 2 разработки ГТП № 13 ООН |
| Коммерческие ТСБГ | 20 лет | 2 300 340 км | 6 390 | 11 000 |
| Седельные тягачи | 25 лет | 2 875 425 км | 7 987 | 11 000 |

c) Соединенные Штаты — В 2021 году Национальная лаборатория по возобновляемым источникам энергии (НЛВИЭ) опубликовала исследование, в котором были проанализированы условия выработки ресурса топливных баков транспортных средств, работающих на сжатом природном газе. Основной акцент делался на изучении аспектов целостности конструкции топливных баков КПП, эксплуатируемых при номинальных условиях, в конце срока их службы, с тем чтобы содействовать изготовителям в деле “более точного выявления, более четкого уяснения характера и более эффективного сокращения рисков для безопасности, равно как устранения препятствий и задействования возможностей, связанных с хранением КПП на борту транспортных средств”. От Управления городского пассажирского

транспорта Лос-Анжелеса было получено в общей сложности 60 топливных баков (КПГ) типа II и IV, снятых с междугородных автобусов, эксплуатировавшихся на протяжении 15 лет.

Конструкции этих баков были сертифицированы на основании стандарта CSA/ANSI NGV 2, однако точные сервисные данные по каждому отдельному баку получить не удалось. Тем не менее каждый бак, предположительно, шесть раз в неделю на протяжении 15 лет подвергался циклическому изменению давления от 1000 до 4400 фунтов на квадратный дюйм, что дает оценочным итогом в общей сложности 4680 циклов усталостного нагружения за весь срок его эксплуатации.

Эти баки были подвергнуты т. н. “неразрушающей” оценке (по методу модальной акустической эмиссии, МАЭ) и физическим испытаниям (согласно стандарту CSA/ANSI NGV 2). Двадцать из 60 баков были испытаны на разрыв, без причинения им каких-либо дополнительных повреждений, для получения общего представления о целостности конструкции бака на момент окончания срока его службы.

Еще 20 баков с нанесенными на них искусственными надрезами и с повреждениями, полученными от удара, были подвергнуты циклическому испытанию на усталость и испытанию на давление разрыва для определения долговечности конструкции. Оставшиеся 20 баков были подвергнуты циклическому испытанию на усталость под гидравлическим давлением с последующим испытанием на разрыв для имитации случая дальнейшего использования бака после истечения расчетного срока его эксплуатации.

Результаты испытаний на целостность конструкции топливных баков (КПГ) типа III и IV по истечении 15-летнего расчетного срока их эксплуатации свидетельствуют о “потенциальной возможности дальнейшего использования баков”, поскольку, хотя все 60 рассматриваемых баков уже выработали свой штатный 15-летний ресурс, они — судя по итогам первоначального визуального осмотра и обследования методом МАЭ, — по всей видимости, остаются конструкционно прочными. Баки, имевшие на момент изготовления требуемую прочность на разрыв под действием внутреннего давления, в процессе их эксплуатации не подвергаются сколь-либо значительной усталостной деградации, что подтверждается результатами испытания на давление разрыва.

Даже после дополнительного циклического испытания на усталость под гидравлическим давлением с последующим испытанием на разрыв баки сохраняют целостность, что “предполагает возможность продления срока службы баков КПГ по истечении расчетного срока их эксплуатации”.

79. Предъявляемое ныне в рамках ГТП № 13 ООН требование относительно 11 000 базовых циклов изменения давления для новых резервуаров и без того является весьма консервативным применительно к резервуарам со сроком службы 15 лет. Как явствует из данных по японским и немецким грузовикам, находящимся в эксплуатации, 25-летний показатель ПТС и, следовательно, число циклов заправки гораздо ниже по сравнению со значениями, уже фигурирующими в ГТП № 13 ООН. Кроме того, результаты испытаний баков КПГ на окончательный выход из строя, сконструированных с учетом требований, аналогичных предъявляемым по ГТП № 13 ООН, свидетельствуют о сохранении резервуарами приемлемой целостности конструкции даже после причинения им дополнительных повреждений и дальнейшего воздействия циклическим давлением. В силу этих причин группа по этапу 2 разработки ГТП № 13 ООН согласилась с возможностью распространения ныне предусмотренных Правилами требований в 11 000 базовых циклов для новых резервуаров и 22 000 циклов при испытании на “утечку до разрыва” на продленный срок службы, составляющий 25 лет.

b) Обоснование пункта 5.1.2 — Проверочные испытания на ресурс прочности в условиях дорожной эксплуатации (последовательные испытания под гидравлическим давлением)

80. Проверочное испытание на ресурс прочности в условиях дорожной эксплуатации позволяет установить, способна ли система в полном объеме противостоять разрыву в экстремальных условиях эксплуатации, к которым относятся высокая частота заправок (возможно, связанная с заменой компонентов электрической трансмиссии), физическое повреждение и суровые климатические условия. Задачей таких испытаний на ресурс прочности является прежде всего определение уровня структурного сопротивления разрыву. Внимание уделяется также сопротивлению разрыву при наличии суровых внешних условий, поскольку: i) вероятность возникновения серьезных последствий в результате разрыва является весьма значительной; и ii) разрыв нельзя предотвратить за счет вторичных факторов (утечки частично компенсируются бортовой системой обнаружения течи, которая инициирует контрмеры). Поскольку такие экстремальные условия ведут к возникновению в первую очередь структурного напряжения и усталости, их воспроизводят с использованием гидравлических средств, что позволяет увеличить кратность воздействия стрессовых факторов за время проведения испытания.

i) Допущения, использованные при разработке протокола испытания по пункту 5.1.2

81. Соответствующие допущения включают нижеследующее.

- a) Случай наиболее длительной эксплуатации в экстремальных условиях соответствует самым неблагоприятным режимам полной заправки (125 % НРД при температуре 85 °С, 80 % НРД при температуре -40 °С) на протяжении всего срока службы при длительной эксплуатации в суровых условиях; превышение давления при заправке на станции воспроизводится 10 раз.
- b) Последовательное проведение испытаний позволяет воспроизвести дорожную обстановку, в которой один и тот же резервуар многократно подвергается воздействию многочисленных и разнообразных, причем экстремальных, внешних факторов; нереалистично ожидать, что резервуар в течение всего срока службы транспортного средства будет подвергаться только одному виду воздействия.
- c) Эксплуатация в суровых условиях: факторы физического воздействия
 - i) Испытание на сбрасывание (ударную нагрузку) (пункт 5.1.2.2) — опасность возникает в первую очередь в ходе послепродажного ремонта автомобиля, когда имеет место падение новой системы хранения или старой системы, снятой в ходе обслуживания автомобиля, с вилочного погрузчика во время ее транспортировки. Процедура испытания предусматривает сбрасывание под несколькими углами с максимальной высоты обычного вилочного погрузчика. Испытание призвано продемонстрировать, что резервуары способны выдерживать характерные ударные нагрузки при падении, предшествующем установке.
 - ii) Испытание на повреждение поверхности (пункт 5.1.2.3) — нанесение насечек, имитирующих следы износа от крепежных хомутов, что способно вызвать серьезное абразивное нарушение внешней обмотки из композиционных материалов. Поэтому все металлические резервуары освобождаются от проведения испытаний на повреждение поверхности.
 - iii) Факторы воздействия в условиях дорожной эксплуатации, которые снижают конструкционную прочность и/или ведут к нарушению защитных покрытий (например, в результате попадания камней, вылетающих из-под колес автомобилей) (пункт 5.1.2.3) — имитация ударом маятника.

- d) Эксплуатация в суровых условиях: воздействие химических веществ в условиях дорожного движения (пункт 5.1.2.4)
- i) Растворы химических веществ включают жидкости, используемые в транспортных средствах (электролит и жидкость для обмыва ветрового стекла), химические вещества, применяемые на дорогах или вблизи них (нитратные удобрения и щелочь), и жидкости, используемые на заправочных станциях (метанол и бензин).
 - ii) По имеющимся сведениям, основной причиной разрыва используемых на транспортных средствах резервуаров высокого давления (резервуаров КПП), помимо возгорания и физического повреждения, является разрыв в результате коррозионного растрескивания; в таких случаях разрыв происходит в результате одновременного воздействия коррозионных химических веществ и давления.
 - iii) Разрыв используемых в дорожных условиях резервуаров с обмоткой из композиционного стекловолокна в результате коррозионного воздействия электролита воспроизводится на основе предложенного протокола испытания; другие химические вещества дополнительно включаются в протокол испытаний после установления факта наличия общих рисков воздействия химических веществ.
 - iv) Нарушение покрытия в результате ударного воздействия и ожидаемого в дорожных условиях износа может воспрепятствовать выполнению защитными покрытиями своих функций, что признается в качестве одного из факторов риска для коррозионного растрескивания (разрыва); в связи с этим необходимы средства для управления такими рисками.
 - v) Предельные значения температуры окружающей среды были изменены, если не указано иное, на 20 ± 15 °C. Требование в 20 ± 5 °C устанавливает неоправданно жесткий диапазон испытательных температур для оболочки резервуара и гидравлической жидкости. Новые предельные значения допускают нагревание оболочки и жидкости до умеренной температуры, не способной пагубно сказаться на надежности резервуара или существенно повлиять на параметры испытания. Кроме того, такие предельные значения согласуются с указанными в стандарте ISO 554:1976 (“Стандартные климатические условия для кондиционирования и/или испытания — технические требования”).
 - vi) Испытание на химическую стойкость может продолжаться вплоть до последних 10 циклов, и воздействие химических веществ может быть прекращено по завершении циклического изменения давления. Надлежит удостовериться, что воздействие на резервуары химическими веществами еще в течение нескольких часов никак не сказывается на них. Внесение такого изменения позволяет сделать испытание менее обременительным без ущерба для общего уровня его строгости.
- e) Предельный показатель числа наполнений/опорожнений
- Обоснование числа циклов свыше 7500 и менее 11 000 приводится в вышеуказанных пунктах 76–79 раздела E.1 a) ii) b.
- f) Экстремальные условия давления для циклов наполнения/опорожнения (пункт 5.1.2.4)
- i) Превышение давления на заправочных станциях ограничивается требованиями к таким станциям, причем за основу берется

топливораздаточная система, рассчитанная на МДРД, составляющее 137,5 % НРД, с защитным предохранительным устройством, выставленным на максимально разрешенное значение, равное 137,5 %, которое не допускает превышения давления — при сбое в работе топливораздаточной колонки — до уровня свыше 150 % НРД. Местными кодексами и/или правилами для заправочных станций может устанавливаться более низкий защитный порог по давлению, однако уровень в 150 %, скорее всего, будет “наихудшим сценарием”, который — учитывая обеспечиваемые контроллером топливораздаточной колонки защитные функции, — как ожидается, возможен только в условиях множественных сбоев.

- ii) Данные с мест о частоте сбоев на заправочных станциях высокого давления, приведших к активации предохранительных устройств сброса давления, отсутствуют. Опыт эксплуатации транспортных средств на КПП свидетельствует о том, что избыточное давление на заправочных станциях не увеличивает в значительной степени риск разрыва резервуара.
 - iii) Способность противостоять многочисленным случаям превышения давления в силу неисправности оборудования заправочных станций обеспечивается обязательной проверкой на отсутствие утечки путем проведения 10-кратной заправки под давлением, соответствующим 150 % НРД, с последующей постановкой транспортного средства на стоянку, в ходе которой не должно происходить утечки, после чего производится наполнение/опорожнение.
- g) Экстремальные климатические условия для циклов наполнения/опорожнения (пункт 5.1.2.6)

Как показывает анализ метеорологических сводок, в странах, расположенных к северу от 45-й параллели, температура воздуха может падать до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже; в пустынях же стран, расположенных в более низких широтах, температура может подниматься примерно до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; и для тех, и для других в районах, по которым имеются достоверные данные государственных органов, такие экстремальные показатели могут устойчиво отклоняться примерно в 5 % случаев. Фактические данные свидетельствуют о том, что в ~5 % дней минимальная температура не достигает $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Соответственно, период устойчивого воздействия температур ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет менее 5 % от продолжительности срока службы транспортного средства, поскольку минимальная дневная температура не держится в течение всех 24 часов. Примеры зафиксированных рекордных температур (Министерство по охране окружающей среды Канады, 1971–2000 годы):

https://climate.weather.gc.ca/climate_normals/index_e.html#1971.

- h) Длительная эксплуатация в суровых условиях

Стоянка в условиях высокой температуры с полностью заправленным резервуаром при эксплуатации сроком до 25 лет (длительное воздействие высокого давления) (пункт 5.1.2.5). Во избежание необходимости проведения испытания на проверку эффективности в течение 25 лет проводят ускоренное испытание при повышенном давлении на основе экспериментальных данных о свойствах используемых в настоящее время металлов и композитных материалов, причем для целей испытания используют армированный стекловолокном композитный материал как наиболее подверженный разрыву под действием нагрузки. Порядок использования лабораторных данных для установления эквивалентности испытаний на разрыв под действием нагрузки при 100 % НРД для периода 25 лет и при 125 % НРД для периода 1000 часов (при которых

существует одна и та же вероятность выхода из строя в результате разрыва под действием нагрузки) излагается в техническом документе SAE 2009-01-0012 (Слоун, “Обоснование основанного на эксплуатационных параметрах аттестационного испытания систем хранения сжатого водорода”, 2009 год). Полученные лабораторные данные о характеристиках композиционных жил резервуаров высокого давления — документальное подтверждение зависимости момента разрыва от времени нахождения под статической нагрузкой без воздействия коррозионных веществ — кратко излагаются в докладе “Aerospace Corp” № ATR92(2743)-1 (1991 год) и в содержащихся в нем ссылках.

- i) Официальные данные о продолжительности стоянки транспортного средства при различных уровнях заправки отсутствуют. Примерами ожидаемых случаев продолжительного хранения при полной заправке являются транспортные средства, владельцы которых стремятся держать их практически всегда полностью заправленными, брошенные автотранспортные средства и коллекционные автомобили. Таким образом, 25-летний срок хранения полностью заправленного транспортного средства рассматривается в качестве критерия испытания.
 - ii) Испытание проводят при температуре +85 °C, поскольку для некоторых композитных материалов характерно накопление усталости в зависимости от температурного режима (что потенциально связано с окислением смол) (журнал “Композитные материалы” № 11, стр. 79 английского текста (1977 год)). Температура +85 °C была выбрана в качестве максимально возможной, поскольку замеры дали максимальную температуру под капотом +82 °C для транспортного средства темного цвета, помещенного на асфальтовую стоянку под прямыми солнечными лучами и температуре окружающего воздуха 50 °C. Кроме того, поверхность выкрашенного в черный цвет и не закрытого кожухом резервуара с сжатым газом в отсеке черного “пикапа” под прямыми солнечными лучами при наружной температуре 49 °C нагревается до максимальной/средней температуры 87 °C (189 °F)/70 °C (159 °F).
 - iii) Опыт дорожной эксплуатации резервуаров КПП. Не поступало сообщений о каких-либо случаях разрыва под давлением в дорожных условиях без воздействия коррозионных веществ (коррозионное растрескивание) или при отсутствии недостатков в конструкции (растяжение намотки в виде обручей при сжатии оболочки без автофреттирования). Предусмотренные в пункте 5.1.2 испытания, которые включают испытание на химическую стойкость и испытание при полном статическом давлении в течение 1000 часов, имитируют влияние таких ведущих к возникновению неисправности условий.
- i) Испытание на соответствие остаточному давлению (пункт 5.1.2.7)
 - i) Превышение давления на заправочных станциях ограничивается требованиями к таким станциям, согласно которым оно не должно превышать 150 % НРД. (Это требование для заправочных станций должно быть включено в местные кодексы/правила для заправочных станций.)
 - ii) Для определения эквивалентной вероятности разрыва композиционных жил под действием нагрузки после 4 минут при 180 % НРД, равно как после 10 часов при 150 % НРД, что является наихудшим сценарием, были использованы полученные лабораторные данные о разрыве под действием статической

нагрузки (технический доклад SAE 2009-01-0012). Ожидается, что на автозаправочных станциях будет обеспечена защита от превышения давления до уровня 150 % НРД.

iii) Испытание “на окончательный выход из строя” гарантирует защиту от превышения давления в результате неисправности оборудования заправочных станций на протяжении всего срока службы.

j) Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв (пункт 5.1.2.8)

Требование в отношении менее 20-процентного снижения давления разрыва после выдерживания в течение 1000 часов под статическим давлением связано (согласно техническому докладу 2009-01-0012 Общества инженеров автомобильной промышленности и транспорта (SAE)) с предусмотренным для данного требования допуском $\pm 10\%$ на различия по производителям в отношении гарантирования 25-летнего срока сопротивления разрыву при 100 % НРД.

k) Обоснование невключения требования об испытании на кручение приливов

Следует принять к сведению, что повреждения резервуара в результате ошибок в обслуживании в данном случае не учитываются, поскольку такие ошибки, как, например, приложение излишнего крутящего момента к концевому приливу резервуара, рассматриваются в рамках процедур и способов подготовки специалистов по обслуживанию, а также в контексте конструкционной безопасности. Аналогичным образом не учитываются повреждения резервуаров в результате злонамеренных действий и умышленного манипулирования.

с) Обоснование пункта 5.1.3 — Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные пневматические испытания)

82. Проверочное испытание на ожидаемую эффективность в дорожных условиях призвано продемонстрировать способность выполнять основные функции обеспечения безопасности в наиболее неблагоприятных ожидаемых условиях воздействия различных факторов. “Ожидаемые” условия воздействия (для обычного транспортного средства) включают в себя: использование соответствующего вида топлива (водорода), климатические условия (например, распространенные случаи резкого колебания температуры) и условия обычной эксплуатации (например, ожидаемый пробег транспортного средства за весь срок службы, пробег на полную заправку, условия и частотность заправки и стоянка). В условиях ожидаемой эксплуатации все транспортные средства неизбежно будут подвергаться последовательному влиянию стрессовых факторов, возникающих в условиях стоянки и заправки, поэтому способность противостоять их совокупному воздействию необходима для безопасного функционирования всех транспортных средств на протяжении ожидаемого срока службы.

83. При пневматическом испытании с использованием газообразного водорода резервуар подвергают воздействию стрессовых факторов, связанных с быстрым и одновременным повышением внутреннего давления, наряду с резкими колебаниями температуры, а также диффундированием водорода в материалы; таким образом, пневматическое испытание сосредоточено на проверке внутреннего состояния резервуара и напрямую увязано с моментом появления утечки. Сбой в результате утечки отчасти компенсируется средствами вторичной защиты — мониторинг функционирования систем транспортного средства и выключение двигателя в случаях, когда это оправдано (до достижения критического уровня, при котором появляется риск воспламенения в гараже), что, в принципе, позволяет весьма своевременно провести ремонт до возникновения более серьезной утечки, так как транспортное средство будет изъято из эксплуатации. Для целей протокола испытания в

соответствии с пунктом 5.1.3.3 с) была определена максимально допустимая скорость утечки.

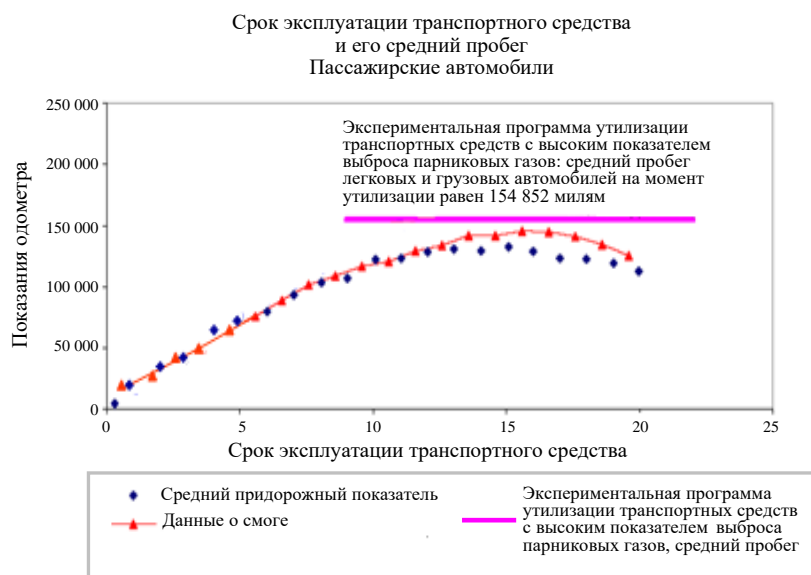
84. В систему хранения топлива транспортного средства могут входить несколько полнокомплектных и функционально независимых систем хранения сжатого водорода, как они определены в пункте 3.8. Допускается признание такой системы хранения топлива, состоящей из идентичных повторяющихся элементов (т. е. двух или более СХКВ, каждая с резервуарами одинаковых размеров и одними и теми же элементами оборудования), отвечающей квалификационным требованиям на базе последовательных пневматических испытаний одной отдельной СХКВ.

85. Данные, использованные при разработке протокола испытания по пункту 5.1.3.

- a) Испытание на соответствие давлению (пункт 5.1.3.1) — В процессе обычного производства резервуаров высокого давления предусматривается проведение контрольного или проверочного заводского испытания под давлением, которое составляет 150 % НРД согласно отраслевой практике, т. е. на 20 % превышает максимальное рабочее давление.
- b) Испытание на отсутствие утечки при заправке (пункт 5.1.3.2)
 - i) Ожидаемые климатические условия: как показывает анализ метеорологических сводок, в странах, расположенных к северу от 45-й параллели, температура воздуха может падать до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже; в пустынях же стран, расположенных в более низких широтах, температура может подниматься примерно до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; и для тех и для других в районах, по которым имеются достоверные данные государственных органов, такие экстремальные показатели могут устойчиво отклоняться примерно в 5 % случаев. Фактические данные свидетельствуют о том, что приблизительно в 5 % дней минимальная температура не достигает $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Соответственно, период устойчивого воздействия температур ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет менее 5 % от продолжительности срока службы транспортного средства, поскольку минимальная дневная температура не держится в течение всех 24 часов. Примеры зафиксированных рекордных температур (Министерство по охране окружающей среды Канады, 1971–2000 годы):
https://climate.weather.gc.ca/climate_normals/index_e.html#1971.
 - ii) Число циклов наполнения/опорожнения
 - a. Число полных заправок, необходимых для демонстрации способности функционировать без утечки в течение ожидаемого срока службы, принимается равным 500.
 - i. Ожидаемый пробег транспортного средства за весь срок службы принимается равным 250 000 км (155 000 миль).

Рис. 9

Срок эксплуатации транспортного средства и его средний пробег



Источник: Доклад “Sierra Research” № SR2004-09-04 от 22 сентября 2004 года, озаглавленный “Обзор выдвинутого в августе 2004 года предложения о правилах контроля за выбросами парниковых газов механическими транспортными средствами: анализ эффективности затрат для владельца или оператора транспортного средства”.

- ii. Ожидаемый пробег транспортного средства на полную заправку принимается равным не менее чем 500 км (300 миль) (согласно рыночным данным крупных производителей пассажирских транспортных средств из Европы, Северной Америки и Японии за 2006–2007 годы).
- iii. $500 \text{ циклов} = 250\,000 \text{ миль} / 500 \text{ миль на цикл} \sim 150\,000 \text{ миль} / 300 \text{ миль на цикл}$.
- iv. Некоторые транспортные средства могут иметь более короткий пробег из расчета на одну полную заправку, и в их случае может потребоваться более 500 полных заправок, если такое транспортное средство в течение срока службы не заправлялось частично. Демонстрация способности выдерживать без утечки 500 полных заправок имеет целью подтвердить факт пригодности для эксплуатации в дорожных условиях, при этом существуют дополнительные средства компенсации утечки, которые обеспечивают ее выявление и выключение двигателя транспортного средства до возникновения реальной угрозы для безопасности.
- v. Поскольку давление при полной заправке превышает давление при частичной заправке, испытанием на проверку конструкции предусматривается существенный дополнительный запас прочности для демонстрации способности обеспечить отсутствие утечки при заправке/опорожнении.

- b. Квалификационное требование в отношении 500 циклов изменения пневматического давления с учетом прошлых отказов систем является весьма консервативным:
- i. Опыт дорожной эксплуатации: в системах хранения водорода, рассчитанных на давление 70 МПа, возникла утечка по периметру O-образного кольца в ходе краткосрочной дорожной эксплуатации (менее 50 полных заправок) демонстрационных прототипов транспортных средств.
 - ii. Опыт дорожной эксплуатации: в системах хранения водорода, рассчитанных на давление 70 МПа, возникла временная утечка (впоследствии ликвидированная путем повторной герметизации) в ходе краткосрочной дорожной эксплуатации (менее 50 полных заправок) демонстрационных прототипов транспортных средств.
 - iii. Опыт дорожной эксплуатации: механические поломки в системах хранения КПП транспортных средств, приводившие к проникновению газа в намотку/оболочку и межслоевое пространство, имели место после краткосрочной дорожной эксплуатации (менее 50 полных заправок).
 - iv. Опыт дорожной эксплуатации: сбои в функционировании системы хранения КПП транспортного средства, обусловленные накоплением внутреннего отстоя и коронным стравливанием в месте повреждения оболочки, не рассматриваются как неисправности, поскольку статический отстой образуется в резервуарах в силу попадания в них содержащихся в топливе макрочастиц примесей, при этом предъявляемые стандартом ISO 14687-2 (и SAE J2719) требования к топливу ограничивают наличие взвешенных частиц в водородном топливе. Кроме того, силовые установки на топливных элементах плохо переносят примеси в виде макрочастиц, и такие примеси, как ожидается, будут выводить транспортные средства из строя в случае их заправки неподходящим топливом.
 - v. Опыт, накопленный в ходе проведения испытаний: механические поломки в системах хранения транспортных средств, приводившие к проникновению газа в намотку/оболочку и межслоевое пространство, возникают после примерно 50 полных заправок.
 - vi. Опыт, накопленный в ходе проведения испытаний: системы хранения водорода, рассчитанные на давление 70 МПа, которые выдержали испытание на соответствие требованиям стандарта CSA/ANSI NGV 2, не прошли испытание, проводившееся согласно условиям пункта 5.1.3, при этом характер возникших неисправностей таков, что можно ожидать их повторения в условиях дорожной эксплуатации. В докладе "Powertech" (Макдугал, М., "Заключительный доклад о программе проверочных испытаний «Powertech» на основе SAE J2579", доклад № SR-5600-49867 Национальной

лаборатории по возобновляемым источникам энергии (www.nrel.gov/docs/fy11osti/49867.pdf) упоминаются два случая в работе систем с резервуарами, которые были признаны пригодными для эксплуатации: утечка через клапан в случае резервуара из композитного материала с металлической оболочкой и внутренняя утечка через соленоид в случае резервуара из композитного материала с полимерной оболочкой по причине ее пробоя. Утечка из резервуара из композитного материала с полимерной оболочкой была зафиксирована в случае одного резервуара, признанного пригодным согласно требованиям стандарта CSA/ANSI NGV 2, скорректированным с учетом характеристик водорода. Клапан изготовленного из композитного материала резервуара с полимерной оболочкой, не выдержавший испытания, отвечал требованиям пересмотренного варианта 12b КЕПВ. В докладе был сделан следующий вывод: “Процедуры испытаний, предусмотренные стандартом SAE J2579, показали, что резервуары, не имевшие поломок в период практической эксплуатации, либо выдерживают надлежащие испытания, либо не проходят их по вполне понятным причинам, отражающим типичные условия будущей эксплуатации”.

iii) Условия наполнения

- a. Хронометраж наполнения изначально был задан в 3 минуты, что соответствует самому быстрому времени наполнения порожнего резервуара в случае быстрой заправки при 70 МПа и температуре топлива $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; однако, как показывает опыт, накопленный в ходе проведения испытаний, разовая 3-минутная подача под давлением является чрезмерным упрощением процесса заправки, что нередко приводит к переполнению резервуаров с превышением 100 % их емкости. Поэтому на основе стандарта SAE J2601 (Регламент по заправке наземных транспортных средств малой грузоподъемности, работающих на газообразном водороде) была разработана и включена в пункт 6.2.4.1 таблица 7b, в которой — применительно к различным температурным условиям окружающей среды и значениям температуры подаваемого топлива, фиксируемым в протоколе испытания, — указаны более надлежащие величины перепада порогового давления в зависимости от объема СХКВ.

Поскольку основным предметом стандарта SAE J2601 является заправка транспортных средств малой грузоподъемности, соответствующие таблицы были консервативно экстраполированы на резервуары СХКВ большей емкости по приведенной в этом стандарте формуле. Кроме того, в случае СХКВ объемом 50 л и 100 л при температурах окружающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ перепады порогового давления были скорректированы с учетом различий в оборудовании для подачи топлива, используемом на реальных заправочных станциях, когда большая термальная масса (т. е. масса, умноженная на удельную теплоемкость) быстроразъемных соединений, раздаточных шлангов, заправочных пистолетов и

заправочных блоков может негативно сказаться на температуре подаваемого в СХКВ топлива, и в испытательных лабораториях, где не нужны либо не используются быстроразъемные соединения, раздаточные шланги, заправочные пистолеты и заправочные блоки.

С учетом корректировки значений скорости нагнетания давления, определенных выше для небольших резервуаров, значения данного параметра по таблице 7b в пункте 6.2.4.1 обычно уменьшаются по мере увеличения объема СХКВ; следовательно, исходя из объема одной отдельно взятой испытуемой СХКВ можно вывести консервативное значение скорости нагнетания давления. Если же результирующая температура, измеренная внутри резервуара СХКВ, превышает 85 °С, то перепад порогового давления можно уменьшить для поддержания внутренней температуры на требуемом уровне. В качестве альтернативы, для предупреждения возникновения внутри резервуара СХКВ экстремальных температур подпунктом с) пункта 6.2.4.1 предусматривается возможность использования регулирующих и/или контрольных устройств, которыми оборудовано транспортное средство.

Применительно к заправке топливом при температуре окружающей среды в таблице 7b в конечном итоге будут отражены значения таблиц H70TA из стандарта SAE J2601/4 (в настоящее время находится в стадии разработки). Поскольку SAE J2601/4 еще не опубликован, величина перепада порогового давления, указанная в таблице 7b пункта 6.2.4.1, была рассчитана по стандарту SAE J2601.

- b. Ожидаемые условия максимального термоудара предусмотрены для системы, термостатированной при температуре окружающей среды примерно 50 °С, которую наполняют топливом, имеющим температуру -40 °С, и для системы, термостатированной при температуре -40 °С, наполнение которой производят в закрытом помещении при температуре приблизительно +20 °С.
- c. Систему поочередно подвергают воздействию стрессовых факторов, возникающих при заправке и во время стоянки.
- d. Температура окружающей среды при испытании на циклическое изменение давления газа при низкой температуре изменена с -40 °С на -25 °С. Предписанное значение -25 °С является более реалистичным для реальных условий эксплуатации при скорости опорожнения, требуемой в ходе испытания. Данное обоснование уже используется применительно к испытанию на циклическое изменение давления газа при высокой температуре, для которого указана температура окружающей среды +50 °С, между тем как элементы оборудования рассчитаны на работу при температуре +85 °С. Как показало исследование НАБДД, испытания при температуре -40 °С дают те же результаты, что и испытания при -25 °С (М. Макдугалл и Д. Стивенс (август 2013 года). "Суммарный эксплуатационный ресурс топливной системы и испытание водородных резервуаров на долговечность" (доклад № DOT HS 811 832). Вашингтон, округ Колумбия. Национальная администрация по безопасности дорожного движения).

Вышеуказанное изменение никоим образом не сказывается на безопасности испытания, поскольку — хотя температура газа в резервуаре и будет достигать $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — поведение резервуара при экстремально низкой температуре внутри его корпуса уже проверено в ходе гидравлических испытаний на циклическое изменение давления при температурах $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, внесенное изменение также позволяет снизить нагрузку на испытательные площадки ввиду установленного для элементов оборудования эксплуатационного ограничения в $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- e. Температура газа при испытании на циклическое изменение давления газа при низкой температуре изменена следующим образом: вместо допуска $\leq -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ для технических условий заправки указывается “окно” в диапазоне от $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 секунд после начала заправки. Это согласуется с регламентом по заправке газом T40 по стандарту SAE J2601.
 - f. Были добавлены процедуры испытания (пункты 6.2.3.6 и 6.2.3.7) на циклическое изменение давления при экстремальных температурах, включая информацию по измерениям температуры окружающей среды и гидравлической жидкости. Предъявляемые требования не претерпели никаких изменений; были лишь детализированы различные этапы для содействия проведению испытания в надлежащей последовательности и обеспечения согласованности с процедурами, подробно описанными в пункте 6.2.3.
- c) Стоянка, не сопровождающаяся утечкой, при полном заполнении (пункт 5.1.3.3)
- i) Утечка и просачивание являются факторами, чреватými опасностью возгорания в случае стоянки в замкнутом пространстве, например в гаражах.
 - ii) Предельный показатель утечки/просачивания зависит от множества возможных комбинаций “транспортное средство/ гараж” и связанных с этим условий проведения испытания. Целью определения этого предельного показателя является недопущение случаев повышения объемной концентрации водорода до 25 % нижнего предела воспламеняемости (НПВ). Консервативный показатель в 25 % НПВ хорошо подходит — в качестве максимального значения, эквивалентного 1-процентной концентрации водорода в воздухе, — для покрытия различий в концентрации. Данные о поведении водородной дисперсии, различные варианты с точки зрения размещения транспортного средства в гараже, в том числе сведения о площади и кубатуре гаражей, показателях воздухообмена и температурных режимах, а также методика соответствующих расчетов приводятся в следующем справочнике, подготовленном по линии Европейской сети обмена передовым опытом (СОПО) “HySafe”: П. Эдемс, А. Бенгауэр, Б. Карито, В. Молков, А. Г. Венецанос, “Допустимая скорость просачивания водорода для дорожных транспортных средств”, Международный журнал по водородной энергетике, том 36, выпуск 3, 2011 год, стр. 2742–2749 английского текста.
 - iii) Как ожидается, вентиляция в помещениях, где допускается стоянка водородных транспортных средств, при наихудших гаражных условиях не будет превышать 0,18 воздухообмена в час,

хотя точное расчетное значение в значительной степени зависит от типа и места расположения оборудованных автомобильных стоянок. В случае пассажирских транспортных средств малой грузоподъемности за пример стояночных мест с крайне низкой кратностью воздухообмена (0,03 объемной части в час) были взяты “тесные” деревянные каркасные сооружения (с пароизоляционным пластиковым покрытием, уплотняющими накладками на дверях и без вентиляционных отверстий), защищенные от ветра, очень жаркие (55 °С) и с небольшими суточными колебаниями температуры, что способно привести к инфильтрации, обусловленной плотностью паров. Результирующий предельно допустимый расход для транспортного средства малой грузоподъемности, стоящего в гараже объемом 30,4 м³, составляет 150 мл/мин (при 115 % НРД в условиях полного наполнения при 55 °С). Поскольку предельно допустимый расход, как было установлено, довольно точно может быть пересчитан с учетом габаритов транспортного средства, коэффициент пересчета

$$R = (V_{\text{width}} + 1) * (V_{\text{height}} + 0,5) * (V_{\text{length}} + 1)/30,4,$$

где V_{length} , V_{width} и V_{height} — это длина, ширина и высота автомобиля в метрах, позволяет рассчитать предельно допустимый расход применительно к различным комбинациям “гараж/транспортное средство”, альтернативным той, которая использовалась для определения вышеуказанного показателя в 150 мл/мин.

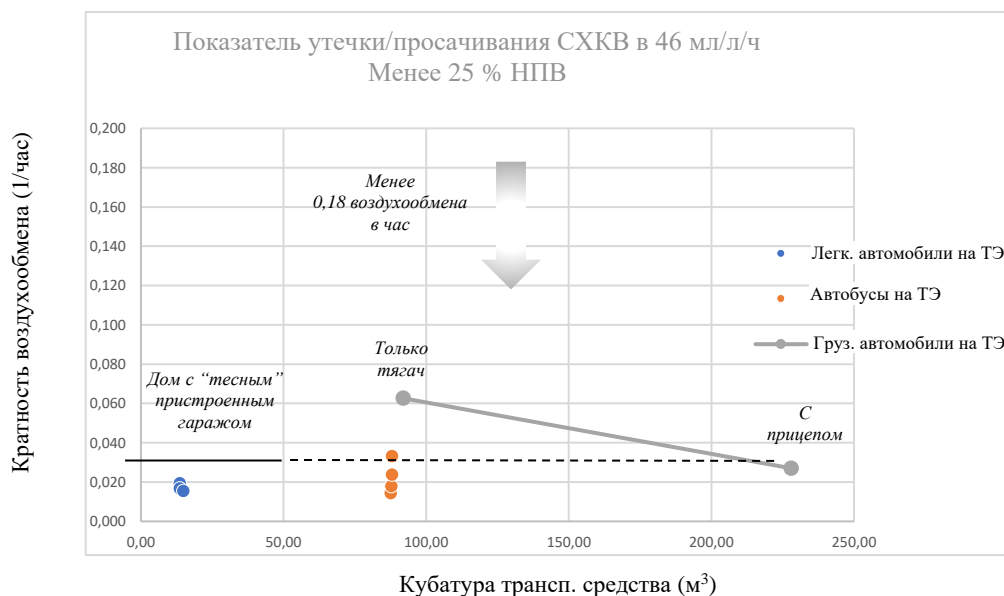
- iv) Такие требования в отношении показателя утечки/просачивания для транспортных средств согласуются с предложениями, разработанными по линии “HySafe” Европейского союза (СОПО) (см. ссылку выше в пункте 85 с) ii)). Вместе с тем, для того чтобы облегчить проверку соблюдения, требование в отношении расхода было указано применительно к допустимой скорости утечки/просачивания из каждого резервуара в системе хранения, а не к предельно допустимому расходу для транспортных средств (подпункт iii) выше); такой способ проверки соблюдения согласуется с предложениями, разработанными по линии СОПО “HySafe”. В данном случае предельный показатель утечки/просачивания, измеренный при 55 °С и 115 % НРД, составляет 46 мл/ч на литр емкости по воде для каждого резервуара в системе хранения, так что допустимый расход для транспортных средств не превышен. Данный предельный показатель применим к транспортным средствам малой грузоподъемности, менее или более крупным по сравнению с базовым автомобилем, оговоренным в подпункте iii) выше. Если, например, общая вместимость системы хранения транспортного средства малой грузоподъемности по воде составляет 330 л (или меньше), а кубатура гаража — 50 м³, то при соблюдении требования 46 мл/ч на литр емкости системы по воде получаем концентрацию водорода в установившемся состоянии не более 1 %. Рассчитав допустимый расход для транспортного средства малой грузоподъемности исходя из требования 46 мл/ч на литр емкости резервуара (т. е. 46 мл/ч на литр x 330 л/(60 мин/ч) = 253 мл/мин), можно убедиться, что данный показатель сопоставим с показателем допустимого расхода, полученным на основе гаража объемом 50 м³ при кратности воздухообмена 0,03 объемной части в час (т. е. 150 мл/мин x 50 м³/30,4 м³ = 247 мл/мин). Поскольку оба полученных результата по существу являются одинаковыми, в случае транспортных средств малой грузоподъемности с системами хранения вместимостью 330 л (или меньше) при

кубатуре гаража 50 м³ концентрация водорода в гараже едва ли превысит 1 %.

- v) Требование в 46 мл/ч на литр емкости резервуаров системы хранения по воде также применимо — с определенными оговорками и допусками при пересчете — к транспортным средствам большой грузоподъемности. На рис. 10 показана требуемая кратность воздухообмена для гаража с учетом различных габаритов транспортных средств на примере уже эксплуатируемых или планируемых в настоящее время к внедрению автомобилей. Предполагается, что транспортные средства малой грузоподъемности, которые вполне могут парковаться в тесных, очень жарких гаражах (аналогичных описанным выше с кратностью воздухообмена 0,03 объемной части в час), будут отвечать предельному показателю по водороду на уровне 25 % НПВ во всем возможном диапазоне габаритов автомобилей. Для большинства транспортных средств большой грузоподъемности также требуется воздухообмен 0,03 объемной части в час (или меньше), даже хотя их и не предполагается держать в таких “тесных” гаражах, как в случае ТСМГ. Поскольку транспортные средства большой грузоподъемности скорее всего будут размещаться на более открытых площадках (имеющих естественную вентиляцию) или в помещениях с принудительной вентиляцией, требование в 46 мл/ч на литр емкости резервуаров системы хранения по воде обеспечивает достаточный резерв на случай отказа принудительной вентиляции, в частности, без необходимости введения требования относительно предельного показателя, отличного от уже установленного для транспортных средств малой грузоподъемности.

Рис. 10

Требуемый воздухообмен в окружающем транспортное средство пространстве



- vi) Максимальное давление полностью заполненного резервуара при 55 °С составляет 115 % НРД (эквивалентно зарядке до 125 % НРД при 85 °С и 100 % НРД при температуре 15 °С).
- vii) Испытание на локальную утечку проводят с целью удостовериться, что утечка во внешнюю среду не может поддерживать пламя, способное ослабить материалы и впоследствии привести к нарушению герметичности. Согласно

техническому докладу 2008-01-0726 (“Пределные показатели для прекращения горения при утечке водорода”), минимальный расход H_2 , способный поддерживать горение, равен 0,028 мг/с для типичного устройства под давлением, а минимально возможная утечка из миниатюрной горелки составляет 0,005 мг/с. Поскольку миниатюрная горелка берется за “наихудший сценарий”, в качестве критерия максимальной утечки выбран показатель в 0,005 мг/с.

- viii) Во время стоянки возможно насыщение водородом межслоевого пространства, намотки, материалов оболочки, стыков, O-образных колец и разъемов; воздействие давлением при наполнении осуществляют в условиях насыщения водородом и без таковых. Насыщение водородом характеризуется просачиванием вплоть до стабилизации.
 - ix) В связи с требованием проводить квалификационное испытание в наихудших реальных условиях, характеризующихся повышенной температурой, циклическим изменением давления и насыщенностью водородом, испытание на просачивание позволяет устранить неопределенность по поводу зависимости просачивания от температурного режима и, в долгосрочном плане, ухудшения из-за старения и износа.
- d) Испытание на соответствие остаточному давлению (пункт 5.1.3.4)
- i) Превышение давления на заправочных станциях ограничивается требованиями к таким станциям, согласно которым оно должно быть ниже 150 % НРД. (Это требование для заправочных станций должно быть включено в местные кодексы/правила для заправочных станций.)
 - ii) Для определения эквивалентной вероятности разрыва композиционных жил под действием нагрузки были использованы полученные лабораторные данные о разрыве под действием статической нагрузки. Согласно этим данным и применительно к наихудшему сценарию, вероятность разрыва после 4 минут при 180 % НРД является такой же, как и после 10 часов при 150 % НРД (технический доклад SAE 2009-01-0012). Ожидается, что на автозаправочных станциях будет обеспечена защита от превышения давления до уровня 150 % НРД.
 - iii) Данные с мест о частоте сбоев на заправочных станциях высокого давления, приведших к активации предохранительных устройств сброса давления, отсутствуют. Ограниченность имеющихся в настоящее время заправочных станций, обеспечивающих давление 70 МПа, не позволяет получить надежные статистические данные.
- e) Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв (пункт 5.1.3.5)
- Требование в отношении менее 20-процентного снижения давления разрыва после окончания срока службы призвано обеспечить стабильность структурных компонентов, от которых зависит степень сопротивления разрыву; оно увязывается (согласно техническому докладу SAE 2009-01-0012) с предусмотренным для данного требования допуском 10 % на различия по производителям в отношении гарантирования более чем 25-летнего срока сопротивления разрыву при 100 % НРД по пункту 5.1.2.5.

Что касается оболочек резервуаров, то предлагается уделить внимание вопросу их разрушения. После разрыва оболочка резервуара может быть подвергнута осмотру. Затем такая оболочка и место состыковки оболочки/оконечного прилива могут быть проверены на предмет

выявления любых признаков разрушения, таких как растрескивание в результате накопления “усталости”, отслоение пластика, нарушение герметизирующих покрытий или повреждение в результате электростатического разряда. Полученные результаты следует доводить до сведения изготовителя данного резервуара.

Ожидается, что регулирующие органы и изготовители будут следить за состоянием и эффективностью систем хранения на протяжении срока их службы, насколько это представляется практически возможным и целесообразным, с тем чтобы быть всегда уверенным в том, что требования к эффективности по пункту 5.1.3 отражают требования, предъявляемые к дорожной эксплуатации. Данная рекомендация призвана стимулировать изготовителей и регулирующие органы к сбору дополнительных данных.

d) Обоснование пунктов 5.1.4 и 6.2.5 — Проверочное испытание на окончательный выход системы из строя при возгорании

86. Проверка функционирования в условиях, имитирующих окончательный выход системы из строя, имеет целью не допустить разрыв при воздействии экстремальных факторов. Возгорание является единственным условием выхода из строя, принимаемым в расчет при установлении квалификационных требований к конструкции.

87. Тщательное обследование случаев отказа резервуаров КПП при эксплуатации, проводившееся на протяжении последнего десятилетия (технический документ SAE 2011-01-0251 (Шефлер, Маклори и др., “Разработка методов испытания на локальное воздействие огня и распространение стандартов безопасности на ТСТЭ и водородные транспортные средства”), показало, что, хотя возгоранию в отдельных случаях и были подвержены системы хранения, не оборудованные надлежащим образом сконструированными устройствами сброса давления, срабатывающими под воздействием тепла (УСДТ), по большей части произошло несрабатывание предохранительных УСДТ, поскольку они были установлены с нарушениями и не реагировали на тепловое воздействие, хотя в результате локального возгорания была нарушена прочность стенок резервуара для хранения, что в конечном итоге привело к его разрыву. Локальное воздействие огня в предыдущих правилах или отраслевых стандартах не рассматривалось. Метод испытания на огнестойкость, изложенный в пункте 6.2.5, предусматривает использование как локального огня, так и охватывающего пламени.

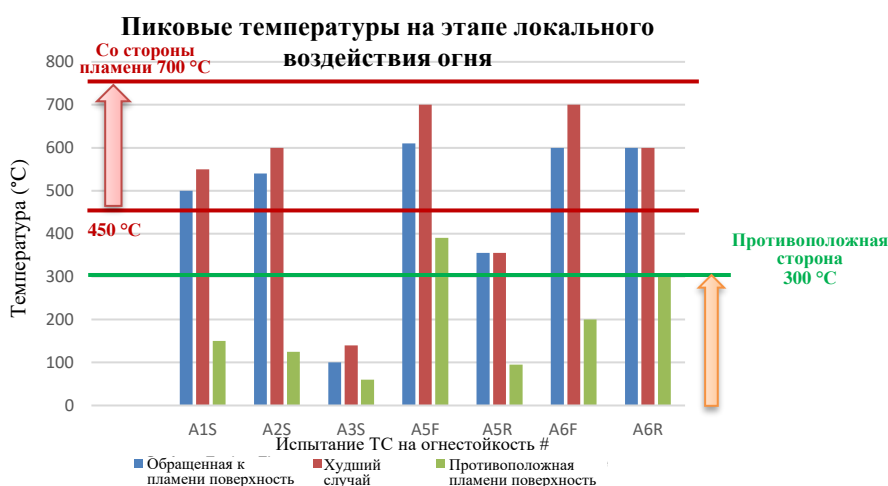
88. Условия проведения испытания на огнестойкость, изложенные в пункте 6.2.5, основаны на методике испытаний транспортных средств, проводимых Научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта Японии (ЯАРИ) и изготовителями в США. Сводные данные по ним можно найти в техническом документе SAE 2011-01-0251. При подготовке требований, подлежащих включению в настоящие Правила, и в целях улучшения воспроизводимости результатов испытаний на огнестойкость были проанализированы различные материалы и данные. Ниже приводятся основные выводы.

- a) В ходе примерно 30–50 % рассмотренных лабораторных испытаний транспортных средств на огнестойкость возникали условия, которые можно охарактеризовать как локальное возгорание, поскольку данные свидетельствуют о том, что содержащий сжатый газ резервуар из композитных материалов мог получить местное повреждение еще до срабатывания обычных УСДТ, установленных на оконечных приливах (удаленных от зоны локального воздействия огня). Температура 300 °C была выбрана в качестве температуры, при которой возникает локальное возгорание, поскольку тепловой гравиметрический анализ (ТГА) указывает на начало процесса быстрой деградации композитных материалов, из которых изготовлен резервуар, при этой температуре.

- b) Хотя лабораторные испытания транспортных средств на огнестойкость зачастую длились 30–60 минут, деградация стенок резервуаров под воздействием локального огня занимала менее 10 минут.
- c) Как показано на рис. 11, пиковые температуры на поверхности баллонов, использовавшихся при испытании транспортного средства на огнестойкость, достигали на этапе локального воздействия огня 700 °С. Хотя эта температура и не столь высока, как при температурных режимах на последующем этапе воздействия охватывающим пламенем, ее достаточно для того, чтобы вызвать серьезную деградацию материалов, а также помешать срабатыванию УСДТ и выполнению их функции по обеспечению стравливания газов из резервуара.

Рис. 11

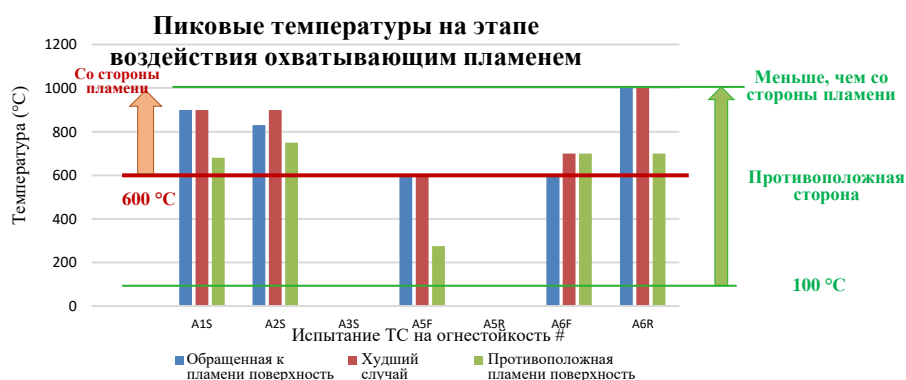
Значения температуры на поверхности баллона на этапе локального воздействия огня при испытании транспортного средства на огнестойкость



- d) Увеличение пиковой температуры к концу периода локального воздействия огня зачастую свидетельствовало о переходе к охватывающему пламени.
- e) Как показано на рис. 12, пиковые температуры на поверхности баллонов, использовавшихся при испытании транспортного средства на огнестойкость, достигали на этапе воздействия охватывающим пламенем 1000 °С.

Рис. 12

Значения температуры на поверхности баллона на этапе воздействия охватывающим пламенем при испытании транспортного средства на огнестойкость



89. С учетом вышеупомянутых выводов были определены основанные на показателях эффективности предельные значения, показанные на рис. 11 и 12, служащие для характеристики тепловых режимов на этапах локального воздействия огня и воздействия охватывающим пламенем. В порядке обеспечения допуска на испытания максимальная температура на обращенной к пламени поверхности баллона на этапе локального воздействия огня была установлена на 50 °C выше самого высокого значения, отмечавшегося в ходе проводившихся ЯАРИ испытаний транспортных средств на огнестойкость. В установлении максимального предельного значения для этапа воздействия охватывающим пламенем не было необходимости, поскольку температура естественным образом ограничивается температурой пламени. Минимальная температура на обращенной к пламени поверхности баллона была установлена на уровне самого низкого значения в диапазоне данных, полученных на этапе воздействия охватывающим пламенем, однако ограничена одним стандартным отклонением ниже отмечавшегося на этом этапе среднего значения, с тем чтобы — даже в условиях существенного асимметричного сдвига всего диапазона данных — обеспечить более-менее подходящий (но целесообразный) тепловой режим.

90. Как показывает опыт проведения испытаний резервуара на огнестойкость, также требуется регулирование температуры на стороне баллона, противоположной зоне намечаемого огневого воздействия, для сведения к минимуму расхождений между испытаниями на разных площадках, поскольку различия в длине фронта и факела пламени во время испытания на огнестойкость могут непреднамеренно привести к температурам на стороне, противоположной зоне намечаемого огневого воздействия, превышающим отмечавшиеся в ходе проводившихся ЯАРИ испытаний транспортных средств на огнестойкость, и впоследствии стать причиной чрезмерной деградации материалов на верхней поверхности резервуара, а в ряде случаев и вызвать преждевременное срабатывание предохранительных УСДТ. Поэтому как минимальная, так и максимальная допустимые температуры на этапе воздействия охватывающим пламенем были установлены исходя из диапазона данных, полученных в ходе испытаний транспортных средств на огнестойкость, причем минимальная и максимальная температуры на этапе локального горения были ограничены на уровне чуть меньше одного стандартного отклонения от среднего значения, с тем чтобы обеспечить поддержание более-менее подходящего (но целесообразного) теплового режима.

91. Пиковые температуры, показанные на рис. 11 и 12, также легли в основу установления максимальных и минимальных допустимых температур по таблице 10 в части II для целей отладки и проверки горелок, используемых в ходе испытания на огнестойкость. Поскольку (как показано на рис. 13) при испытании на огнестойкость резервуар устанавливается над горелкой, причем его основание обращено к пламени, а верхняя поверхность является стороной, противоположной зоне огневого воздействия, в таблице 10 части II определены критерии применительно — согласно принятой в связи с испытаниями резервуаров на огнестойкость терминологии — к основанию и верхней поверхности резервуара. Кроме того, максимальное значение температуры, принятое для основания баллона, касается и точек размещения термопар как у основания резервуара по центру, так и по боковым сторонам посередине его высоты, поскольку в ходе проводившихся ЯАРИ испытаний транспортных средств на огнестойкость все эти участки являлись зонами теплового воздействия.

Рис. 13
Испытание резервуара на огнестойкость



92. В качестве топлива для испытательной горелки был выбран сжиженный нефтяной газ (СНГ), поскольку он доступен во всем мире и легко поддается контролю для поддержания требуемых тепловых режимов на этапах локального воздействия огня и воздействия охватывающим пламенем. Использование СНГ было сочтено оптимальным для воспроизведения на поверхности баллона показанных на рис. 11 и 12 термических условий, наблюдавшихся во время испытаний транспортного средства на огнестойкость, без опасения образования углеродистых отложений (т. е. нагара), что может произойти при использовании жидкого топлива. Кроме того, относительно низкое соотношение Н/С в СНГ, составляющее порядка 2,67, позволяет обеспечить характеристики излучения факела пламени (от продуктов сгорания углерода), более схожие с параметрами горения нефтепродуктов (с соотношением Н/С примерно 2,1), а не природного газа, у которого соотношение Н/С приближается к 4,0.

93. Горелки для зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем, описание которых приводится в пункте 6.2.5.3, были отлажены и выверены по таблице 10 части II таким образом, чтобы можно было беспрепятственно воспроизвести схему и порядок проведения испытаний резервуара на огнестойкость, используемые в лабораторных условиях, не прибегая к необходимости выполнения особого протокола отладки и настройки горелки. Использование горелки в стандартной конфигурации представляется оптимальным подходом к проведению испытания на огнестойкость, позволяющим уменьшить вариативность результатов испытаний за счет унификации аппаратных средств.

94. Один из примеров конфигурации горелки показан на рис. 14 и 15. В комплект горелки обычно входят имеющиеся в продаже трубопроводы или патрубки, фитинги и топливные форсунки. См. рис. 16 и таблицу 3. Поскольку указанные в таблице 3 форсунки изготавливаются коммерческими партиями, испытательным лабораториям — в порядке обеспечения равномерного распределения расхода газа и, следовательно, тепловыделения в зонах воздействия пламенем — необходимо удостовериться, путем осмотра или стендовой проверки, что форсунка отвечает техническим требованиям по таблице 8 части II.

Рис. 14

Предписанные форсунки бунзеновского типа с предварительным смешением газа и воздуха

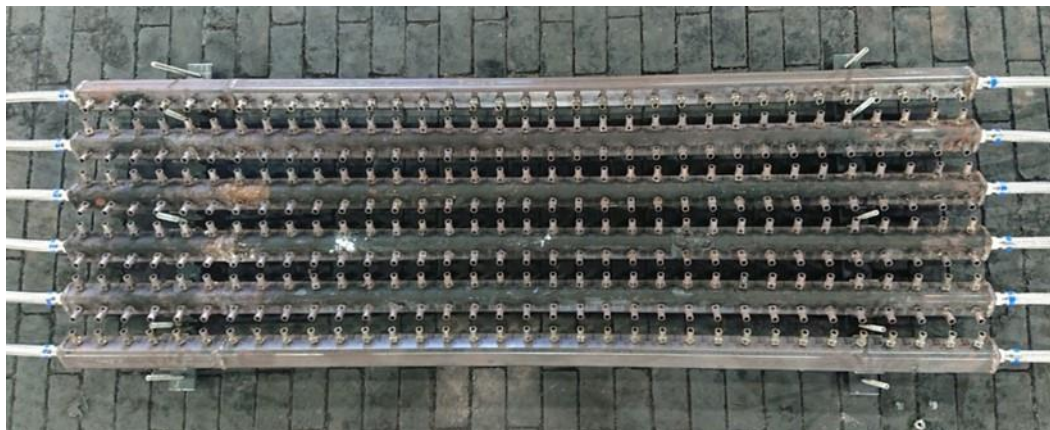


Рис. 15

Предписанное расположение форсунок с предварительным смешением газа и воздуха

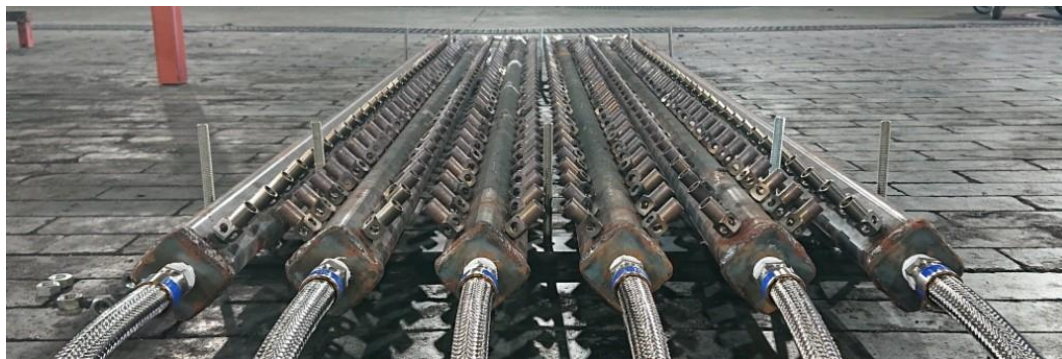


Рис. 16

Топливные форсунки горелки



Таблица 3

Характеристики форсунок для горелки предписанного образца

| <i>Позиция</i> | <i>Описание</i> |
|-----------------------|--|
| Описание форсунок | Пропановое сопло из нержавеющей стали для струйной горелки |
| Изготовитель форсунок | “Термонова” — Нинбо, Китай |
| Фирменное название | ИОО |
| Номер детали | ZZ15002 |
| Закрепление форсунок | Резьбовое соединение 5/16-24 (по эталону ЕНЭТО) |

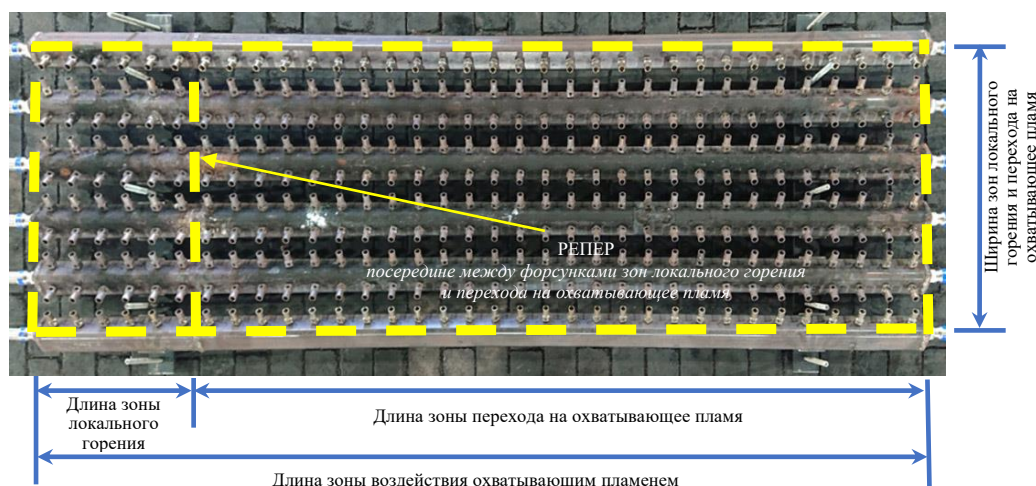
95. Общие требования, предъявляемые к размерам зон воздействия пламенем, приводятся в пункте 6.2.5.3.2. Ширина (W) как зоны локального горения, так и зоны воздействия охватывающим пламенем составляет 500 ± 50 мм вне зависимости от диаметра/ширины резервуара. Длина зоны локального воздействия огня (L_{LOC}) также установлена на уровне 250 ± 50 мм для всех испытаний на огнестойкость. Хотя максимальная длина зоны перехода на охватывающее пламя (L_{EXT}) определена в 1400 ± 50 мм, допускается возможность использования горелки с более короткой рабочей поверхностью при условии, что опытный баллон и испытательный образец СХКВ в положении установки для проведения испытания на огнестойкость не выходят за пределы рабочей поверхности горелки. Поскольку зона воздействия охватывающим пламенем включает как зону локального горения, так и зону перехода на охватывающее пламя, общая длина зоны воздействия охватывающим пламенем (L_{ENG}) представляет собой сумму L_{LOC} и L_{EXT} .

96. Точные размеры зон воздействия пламенем зависят от количества форсунок, насчитываемых по длине горелки, шага их размещения, а также шага соединения коллекторов или форсуночных магистралей по ее ширине. Например, длина горелки локального огневого воздействия (L_{LOC}) может составлять либо 200 мм в случае наличия 4 форсунок, либо 250 мм — в случае 5 форсунок, либо 300 мм — в случае 6 форсунок, при постоянном шаге их размещения (S_N), за который взято номинальное значение 50 мм, указанное в таблице 8 части II. Аналогичным образом, длина зоны перехода на охватывающее пламя (L_{EXT}) может варьироваться от 1350 мм (27 форсунок) до 1450 мм (29 форсунок), при том же шаге размещения форсунок (S_N) в 50 мм, что и в случае зоны локального горения из предыдущего примера.

97. На рис. 17 показан трубный массив горелки с шагом размещения форсунок 50 мм, зоной локального горения, насчитывающей 6 форсунок, так что ее результирующая длина составляет 300 мм, и зоной перехода на охватывающее пламя с 28 форсунками, так что ее результирующая длина составляет 1,4 м; таким образом, общая длины горелки охватывающего пламени доходит до 1,7 м. Стоит отметить, что все значения длины находятся в пределах допустимых допусков по пункту 6.2.5.3.2.1.

98. На рис. 17 отмечены границы зон локального воздействия огня и перехода на охватывающее пламя. Граничная линия, разделяющая обе зоны, проходит посередине между последним рядом форсунок в зоне локального горения и первым рядом форсунок в зоне перехода на охватывающее пламя. Эта линия служит в качестве репера, считая от которого противоположный конец зоны локального воздействия огня длиной L_{LOC} расположен слева, а противоположный конец зоны перехода на охватывающее пламя длиной L_{EXT} — справа. Ширина (W) обеих зон горения равняется расстоянию от центра верхней форсуночной магистрали до центра нижней магистрали.

Рис. 17
Определение границ зон воздействия пламенем



99. В ходе предварительной проверки, имеющей целью удостовериться в штатном режиме работы зон воздействия пламенем, используется опытный баллон (изготовленный из стальной трубы с торцевыми крышками), аналогичный баллонам, использовавшимся во время проводимых ЯАРИ испытаний транспортных средств на огнестойкость, что необходимо в порядке обеспечения технической обоснованности эмпирического процесса теплового картирования зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем с последующей выверкой полученных итогов по критериям на базе результатов испытаний ЯАРИ. Опытный баллон оснащается теми же приборами, что и резервуары, используемые при испытаниях транспортных средств на огнестойкость, и устанавливается над горелкой аналогично СХКВ, подлежащей испытанию на огнестойкость (см. рис. 18). После первичного доводочного испытания по линии ЯАРИ были проведены межлабораторные испытания. Картирование тепловых режимов проводилось путем ступенчатого увеличения расхода топлива в ожидаемом рабочем диапазоне значений УСТВ для горелки. Полученные результаты сопоставлялись затем с критериями по таблице 10 в части II и использовались для определения допустимых рабочих диапазонов горелки, равно как настройки подачи топлива в зоны локального горения и воздействия охватывающим пламенем.

Рис. 18
Установка опытного баллона над горелкой для картирования тепловых режимов



100. Результаты картирования тепловых режимов горелки локального огневого воздействия на основе имеющихся данных, полученных при межлабораторных испытаниях, представлены на рис. 19–22. В основу этих значений положены 60-секундные скользящие средние показаний, зарегистрированных в ходе вышеуказанных межлабораторных испытаний. Схема размещения различных термодатчиков для замера температуры приводится в пункте 6.2.5.4.3. Как явствует из графиков, допустимый рабочий диапазон был установлен испытательными лабораториями в 200–500 кВт/м². За предлагаемый настроечный параметр применительно к локальному испытанию на огнестойкость было взято значение 300 кВт/м², позволяющее обеспечить более-менее подходящий режим, приемлемый для большинства лабораторий. Указанные в таблице 4 типичные значения температуры на этапе локального воздействия огня основаны на 60-секундных скользящих средних показаний при 300 кВт/м² и служат для наладки и проверки горелки с целью удостовериться, что она работает в штатном режиме.

Таблица 4

Типичные значения температуры для опытного баллона и датчика пламени горелки локального огневого воздействия (при 300 кВт/м²)

| Параметр | Заданный температурный диапазон на основе 60-секундных скользящих средних значений |
|---|--|
| T _{BLOC} | 450–750 °C |
| T _{MFLOC} и T _{MRLoc} | 200–600 °C |
| T _{ULoc} | 80–265 °C |
| T _{BLOC25} | 600–900 °C |

Рис. 19

Значения температуры на основании (снизу) опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки локального огневого воздействия

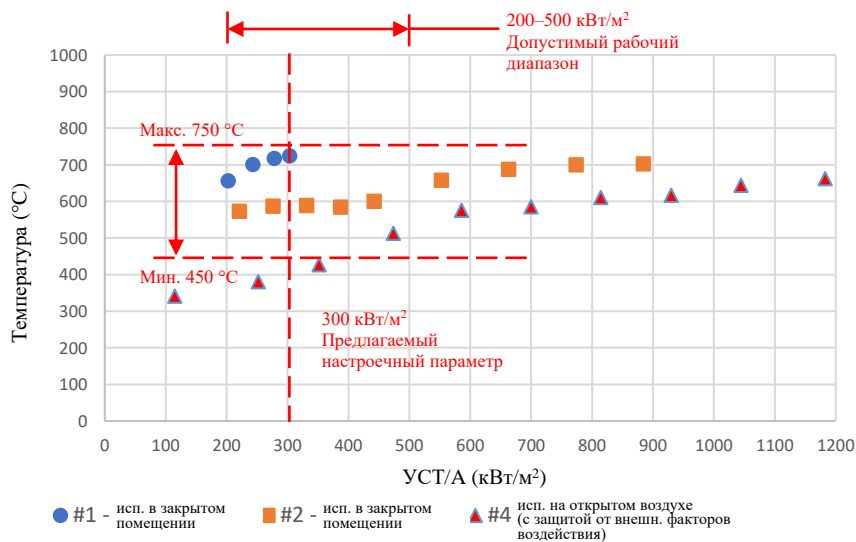


Рис. 20а
Значения температуры по бокам опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки локального огневого воздействия (передняя сторона)

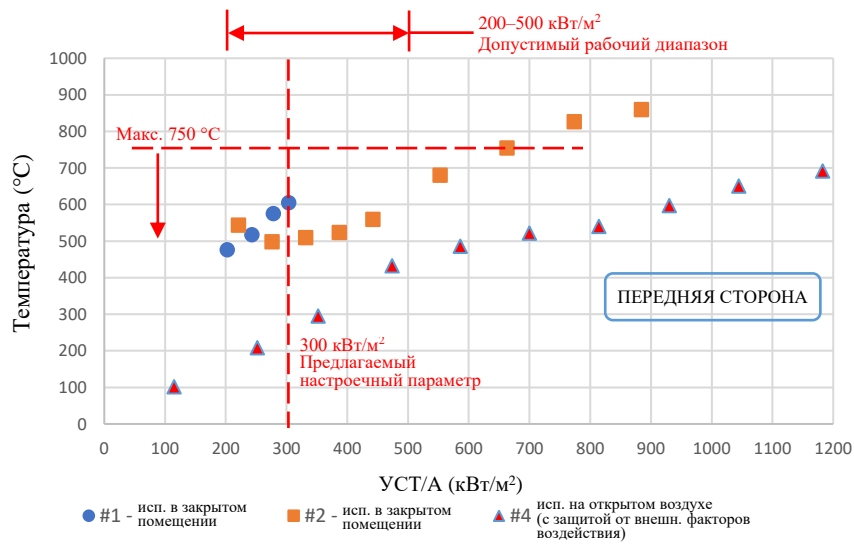


Рис. 20б
Значения температуры по бокам опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки локального огневого воздействия (задняя сторона)

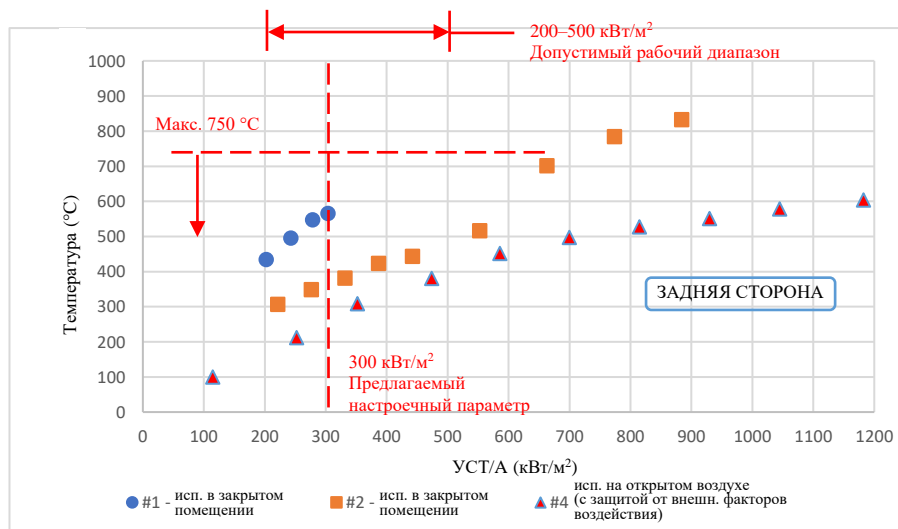


Рис. 21

Значения температуры на верхней поверхности опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки локального огневого воздействия

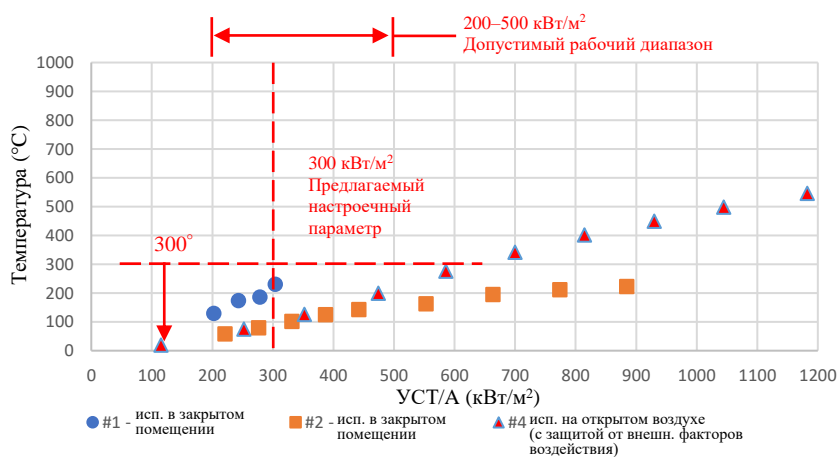
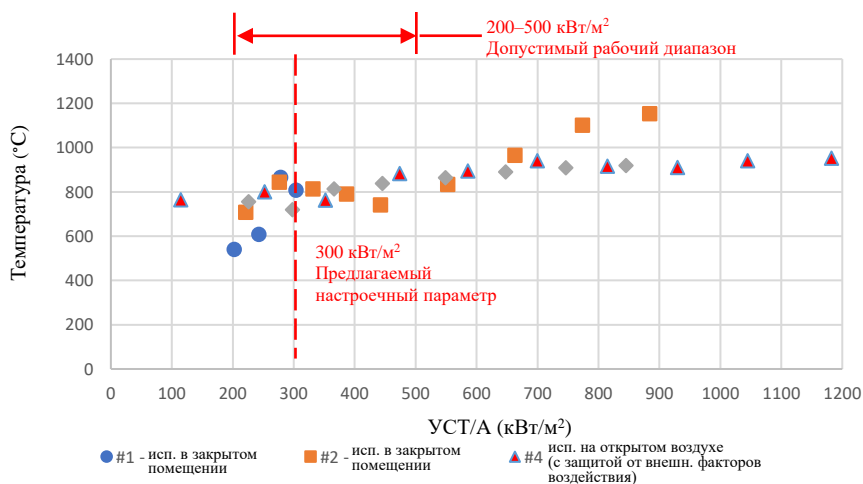


Рис. 22

Значения температуры, регистрируемые датчиком пламени при картировании тепловых режимов горелки локального огневого воздействия



101. Результаты картирования тепловых режимов горелки охватывающего пламени представлены на рис. 23–26. Как и в случае теплового картирования горелки локального огневого воздействия, в основу этих значений положены 60-секундные скользящие средние показаний, зарегистрированных испытательными лабораториями, принимавшими участие в межлабораторных испытаниях; схема размещения различных термпар для замера температуры приводится в пункте 6.2.5.4.3. Как явствует из графиков, допустимый рабочий диапазон был установлен испытательными лабораториями в 400–1000 кВт/м². За предлагаемый настроечный параметр применительно к локальному испытанию на огнестойкость было взято значение 700 кВт/м², позволяющее обеспечить более-менее подходящий режим, приемлемый для большинства лабораторий.

Таблица 5
Типичные значения температуры для опытного баллона и датчика пламени горелок охватывающего пламени (при 700 кВт/м²)

| Параметр | Типичные значения температуры на основе 60-секундных скользящих средних значений |
|--|--|
| T _{BENG} | 600–950 °C |
| Среднее значений T _{MF_{ENG}} и T _{MR_{ENG}} | 600–950 °C |
| T _{U_{ENG}} | 400–850 °C |
| T _{BENG25} | 800–1 050 °C |

Рис. 23
Значения температуры на основании (по центру) опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки охватывающего пламени

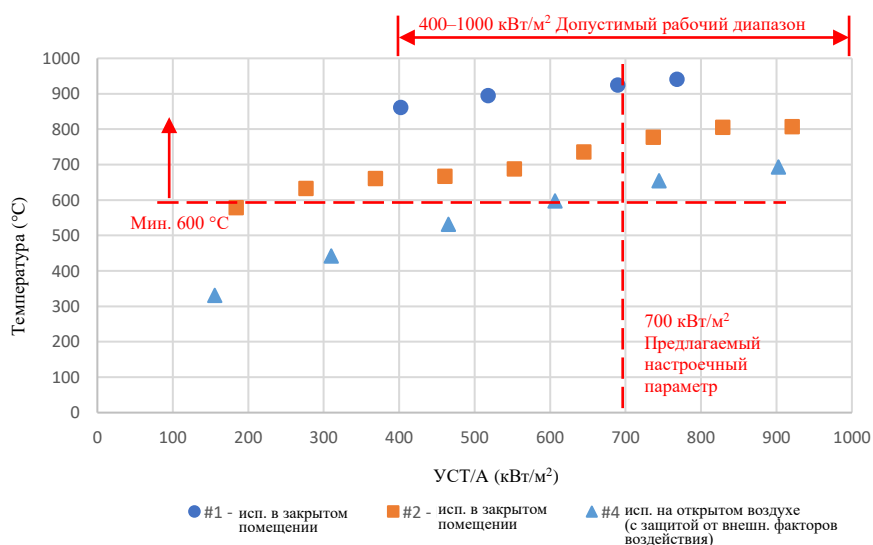


Рис. 24
Значения температуры по боковым сторонам опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки охватывающего пламени

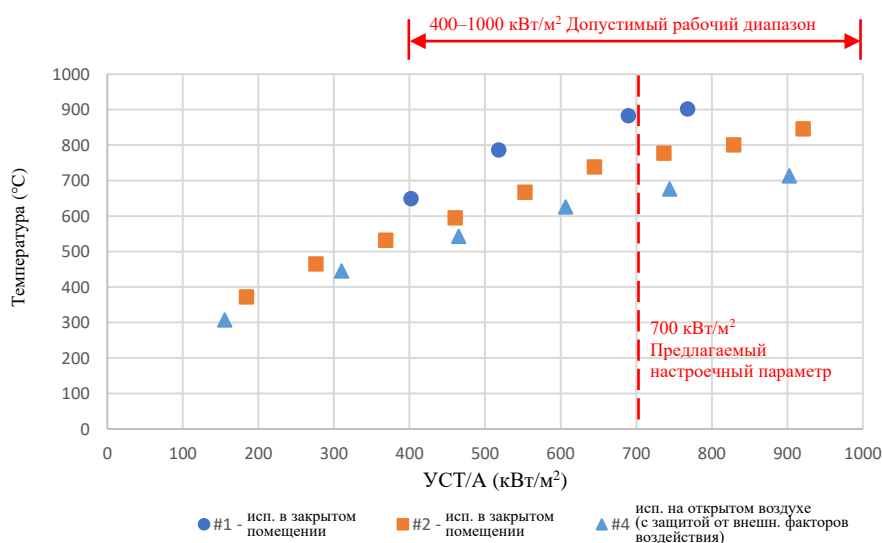


Рис. 25

Значения температуры на верхней поверхности опытного баллона при картировании тепловых режимов горелки охватывающего пламени

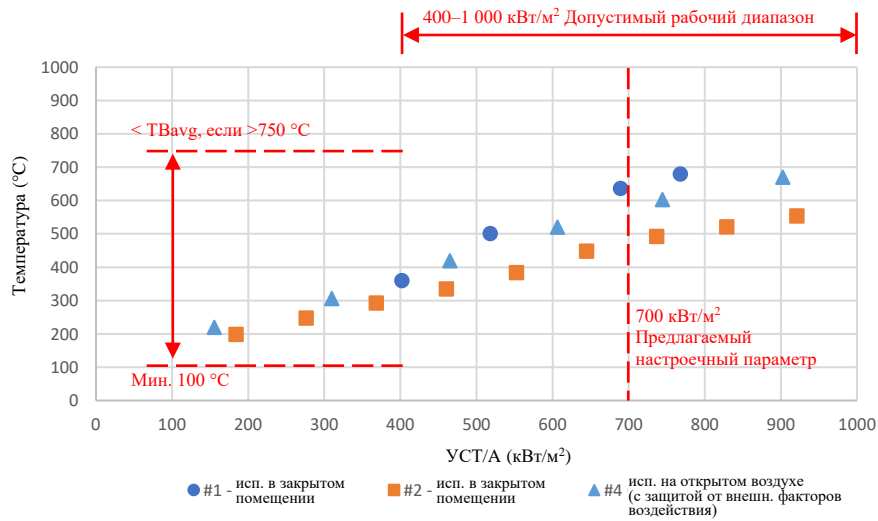
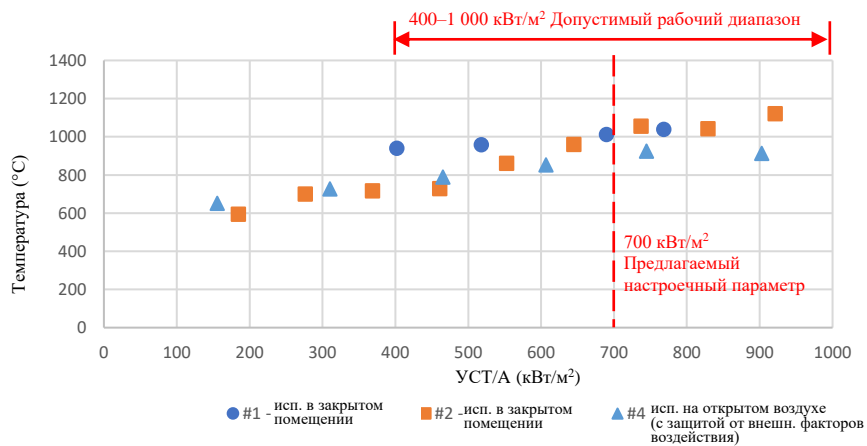


Рис. 26

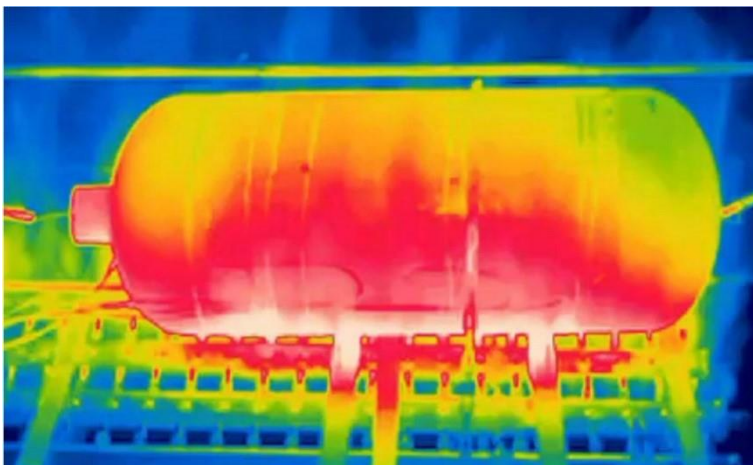
Значения температуры, регистрируемые датчиком пламени при картировании тепловых режимов горелки охватывающего пламени



102. В ходе испытаний на огнестойкость также проводилась тепловизионная съемка резервуара с целью удостовериться, что горелка предписанного образца обеспечивает в намеченной зоне огневого воздействия единый тепловой режим. См. рис. 27.

Рис. 27

**Пример результатов тепловизионной съемки для конфигурации горелки
предписанного образца**



103. В зависимости от того, проводится ли испытание в закрытом помещении или на открытом воздухе, а также от местных погодных условий — если оно проводится на открытом воздухе, — для обеспечения в ходе испытаний на огнестойкость заданного теплового режима может потребоваться ветрозащита. С тем чтобы при испытаниях ветровые экраны не препятствовали созданию тяги, поддерживающей горение, и не приводили к вариативности результатов, установка экранов, оговоренных в пункте 6.2.5.2, требуется как во время предварительной проверки горелки и испытательной установки перед испытанием, так и в ходе фактического испытания СХКВ на огнестойкость.

104. Перед проведением испытания СХКВ на огнестойкость проводят соответствующую предварительную проверку горелки с целью удостовериться, что горелка и испытательное оборудование находятся в исправном состоянии и готовы к работе. Как и при картировании тепловых режимов, описанном выше, для целей технической достоверности требуется использование испытательного резервуара, изготовленного из стали, в порядке обеспечения того, чтобы эмпирический подход к выверке результатов проверки отвечал критериям по таблице 10 в части II и согласовывался с результатами предшествующего испытания горелки, показанными на рис. 19–26. Кроме того, использование для предварительной проверки опытного баллона позволяет избежать возможной деградации материалов резервуара, способной негативно сказаться на полученных результатах. После успешного завершения проверки опытный баллон изымают и испытательный образец СХКВ устанавливают над горелкой для целей испытания системы на огнестойкость. Необходимость (или периодичность) такой предварительной проверки определяется исходя из оценки риска, проводимой испытательным учреждением, применяемых им технологических процессов, а также конкретных требований Договаривающейся стороны, под юрисдикцией которой проводится испытание.

105. Испытание СХКВ на огнестойкость проводят с использованием только газообразного водорода, причем таким образом, чтобы имелась возможность выявить и измерить любую потенциальную утечку, приводящую к образованию языков пламени длиной более 0,5 м. Следует избегать проведения испытания непосредственно с использованием сжатого воздуха, поскольку повышенное парциальное давление содержащегося в нем кислорода чревато возникновением опасных условий, когда воздух под высоким давлением соединяется с незначительными остатками тяжелого топлива и другими загрязняющими веществами.

106. Перед испытанием на огнестойкость СХКВ надлежит заполнить до 100-процентной степени зарядки (СЗ), но не до 100 % НРД, поскольку давление варьируется в зависимости от температуры, а СЗ — нет. Целью является добиться полной зарядки (т. е. наполнения) резервуара на 100 % СЗ.

107. Двухэтапное испытание на огнестойкость при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени, указанное в пункте 6.2.5, опирается на предварительную работу, проделанную Министерством транспорта Канады и Национальной администрацией по безопасности дорожного движения (НАБДД) в Соединенных Штатах Америки, и изначально предназначалось для оценки СХКВ при общей (конкретно не оговоренной) комплектации, когда оцениваются только защитные устройства (например, тепловые экраны и термобарьеры), а также другие не находящиеся под давлением несущие части, прочно прикрепленные к резервуару. На стадии первоначального использования данного метода практически все проводившиеся испытания были направлены на проверку общей приемлемости СХКВ для всех транспортных средств, однако впоследствии — с тем чтобы охватить усовершенствованные современные конфигурации, требующие учета элементов оборудования, предусмотренных комплектацией конкретного транспортного средства, для точного отражения параметров, характеризующих возгорание транспортного средства, — рамки испытания СХКВ на огнестойкость были расширены в порядке обеспечения возможности проведения квалификационных испытаний СХКВ на транспортных средствах не только в общей, но и конкретно оговоренной комплектации. Если изготовитель транспортного средства предпочитает использовать подход на базе конкретной комплектации, то фронт огневого воздействия ориентируется в направлении конкретного транспортного средства и СХКВ не разворачивают для получения наиболее неблагоприятного положения установки, как это делается при квалификационных испытаниях на всех транспортных средствах в общей комплектации.

108. Двухэтапное испытание на огнестойкость при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени по пункту 6.2.5 начинают с этапа локального воздействия огня. По истечении 10 минут переходят к этапу воздействия охватывающим пламенем. Хотя распространение огня, в сущности, может происходить во всех направлениях, при испытании на огнестойкость акцент делается на технически наиболее значимой области, а именно от участка СХКВ, который подвергается термической нагрузке на этапах как локального горения, так и воздействия охватывающим пламенем, в направлении ближайшего УСДТ, которое, как ожидается, сработает под воздействием огня и обеспечит стравливание содержимого резервуара до его потенциального разрыва. Таким образом, для целей квалификационного испытания всех разновидностей СХКВ, которые будут подпадать под область применения настоящих Правил, может использоваться единая горелка стандартного образца. Ситуации, с которыми, возможно, придется столкнуться в ходе испытаний на огнестойкость, проиллюстрированы на рис. 28–35. В случаях, когда ширина или диаметр СХКВ превышает ширину горелки, горелку надлежит размещать относительно СХКВ по диагонали, с тем чтобы при испытании распространение огня оценивалось в технически значимом направлении (из зоны локального горения в сторону ближайшего УСДТ).

109. Максимальная длина зоны перехода на охватывающее пламя составляет 1,4 м, отмеряемых от 250 мм, приходящихся на зону локального горения, что дает максимальную длину зоны воздействия охватывающим пламенем в 1,65 м. В основу при установлении предельного значения 1,65 м для охватывающего пламени положены нормы, действующие в Канаде и Соединенных Штатах Америки, а также накопленный данными странами опыт, причем как эта длина, так и время перехода от одного этапа к другому подкрепляются данными проводившихся ЯАРИ испытаний транспортных средств на огнестойкость.

110. Ниже приводятся примеры часто встречающихся ситуаций с учетом указанных выше требований относительно ориентации пламени зоны локального горения в направлении СХКВ и расположения рабочей поверхности зоны воздействия охватывающим пламенем под СХКВ.

- а) На рис. 28–30 рассматриваются случаи резервуаров, оснащенных одним предохранительным УСДТ.

На рис. 28 представлен пример резервуара цилиндрической формы. Горелка локального огневого воздействия размещается под торцевой

стороной резервуара, противоположной месту установки УСДТ, для обеспечения максимального удаления от УСДТ (не выступая за обрез сферического днища резервуара). Максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности горелки охватывающего пламени влево (в направлении УСДТ) составляет 1400 ± 50 мм. В случае 1 расстояние от горелки локального огневого воздействия до УСДТ не превышает максимально допустимую длину зоны перехода на охватывающее пламя, так что горелка охватывающего пламени может выступать за контуры резервуара. В случае же 3 расстояние от горелки локального огневого воздействия до УСДТ превышает максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности, так что зона воздействия охватывающим пламенем не доходит до УСДТ.

В приведенных на рис. 28 примерах изображен резервуар в сборе с расположением УСДТ вдоль осевой линии баллона, так что зона перехода на охватывающее пламя также сцентрирована по осевой линии, как показано в примере 1 на рис. 29. Если же изготовитель транспортного средства решил учитывать элементы оборудования, предусмотренные конкретной комплектацией (как определено в пункте 6.2.5.1), при которой ближайшее УСДТ расположено на боковой стороне резервуара (и не по осевой линии), а диаметр баллона превышает ширину горелки, то — как показано в примере 2 на рис. 29 — горелку поворачивают таким образом, чтобы зона перехода на охватывающее пламя была ориентирована в направлении (ближайшего) УСДТ.

Рис. 28

Расположение зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем при наличии УСДТ, установленного на одном торце баллона

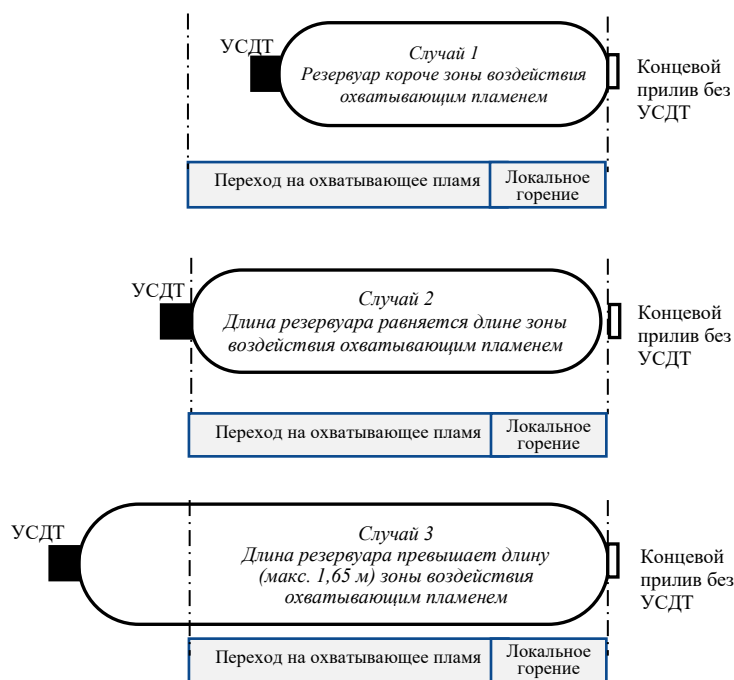
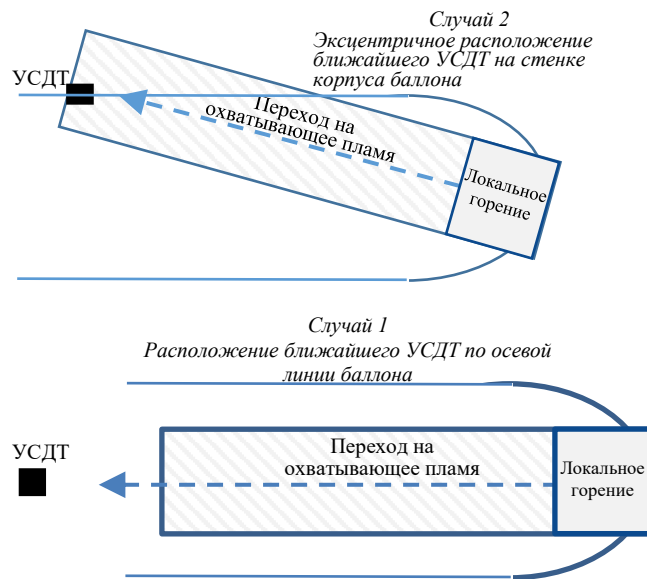


Рис. 29

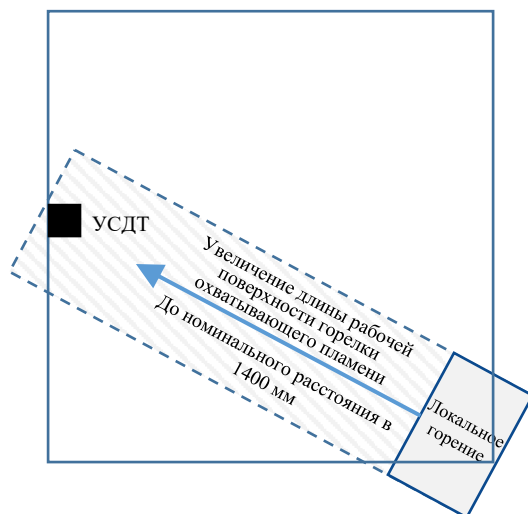
Увеличение рабочей поверхности зоны воздействия охватывающим пламенем в направлении ближайшего УСДТ, установленного на баллоне (вид сверху)



На рис. 30 представлен пример резервуара с большой площадью проекции, у которого ширина/диаметр превышает ширину горелки. Такая конфигурация может, в частности, встречаться у резервуаров конформной конструкции, применительно к которой и для целей установки СХКВ под полом автомобиля изготовитель транспортного средства решил учитывать элементы оборудования, предусмотренные конкретной комплектацией (как определено в пункте 6.2.5.1); поэтому при выборе ориентации СХКВ для оценки характера огневого воздействия на основании резервуара исходят из пожара пролива под транспортным средством. В этом случае горелка локального огневого воздействия размещается в углу, противоположном УСДТ, для обеспечения максимального удаления от УСДТ, причем зона локального горения не должна выходить за пределы этого угла. Поскольку зона воздействия охватывающим пламенем располагается относительно УСДТ под углом, допускается разворачивание горелки локального огневого воздействия таким образом, чтобы ее рабочая поверхность находилась в одной плоскости с зоной перехода на охватывающее пламя. Максимальная длина перехода от зоны локального горения составляет 1400 ± 50 мм, причем горелка может выступать за контуры УСДТ, если расстояние от горелки локального огневого воздействия до УСДТ не превышает максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности.

Рис. 30

Расположение зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем при наличии УСДТ, установленного на одном торце резервуара конформной конструкции (вид снизу)

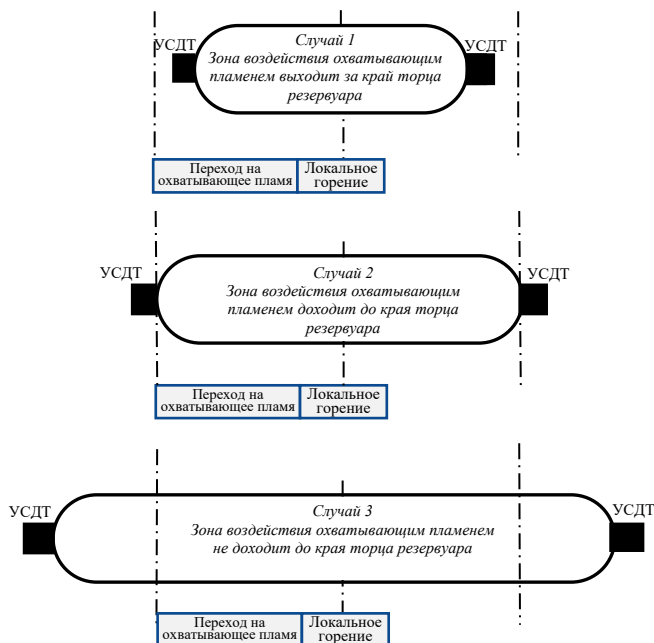


- b) На рис. 31 и 32 рассматриваются случаи резервуаров, оснащенных двумя предохранительными УСДТ (т. е. две точки установки).

В отличие от рис. 28, на рис. 31 представлен пример типичного резервуара цилиндрической формы, оснащенного предохранительными УСДТ, установленными на обоих торцах, а не только на одном торце. В этом случае горелка локального огневого воздействия размещается посередине цилиндрической части под ней для обеспечения максимального удаления от обоих УСДТ, а горелка охватывающего пламени может быть ориентирована по осевой линии резервуара в любом направлении (поскольку УСДТ являются равноудаленными) до максимально допустимого увеличения длины ее рабочей поверхности, составляющего 1400 ± 50 мм. В случае 1 расстояние от горелки локального огневого воздействия до любого УСДТ не превышает максимально допустимую длину перехода от центрально расположенной зоны локального горения на охватывающее пламя, так что горелка охватывающего пламени может выступать за торец резервуара. Так обстоит дело с резервуарами длиной менее ($1,4 \text{ м} + 0,25 \text{ м} + 1,4 \text{ м} =$) $3,05 \text{ м}$. В случае же 3 расстояние от горелки локального огневого воздействия до предохранительных УСДТ превышает максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности, так что зона воздействия охватывающим пламенем ни с одной стороны не доходит до УСДТ. Так обстоит дело с резервуарами длиной свыше $3,05 \text{ м}$. Случай 2 касается ситуации, когда резервуар имеет ровно такую длину, что наиболее удаленный край зоны перехода на охватывающее пламя достигает торца резервуара. Так может обстоять дело с резервуарами номинальной длиной $3,05 \text{ м}$.

Рис. 31

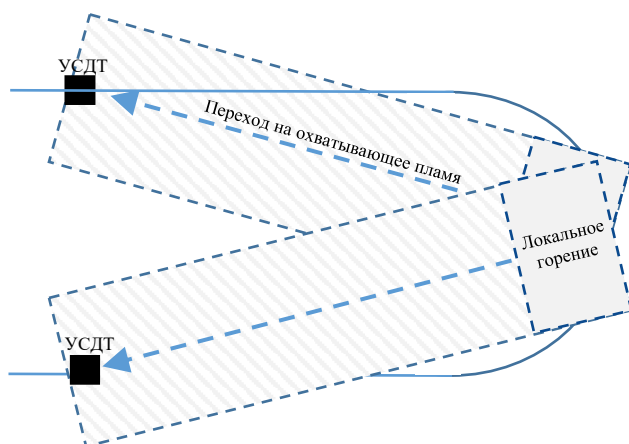
Расположение зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем при наличии УСДТ, установленных на обоих торцах баллона



Как и в случае 2, показанном на рис. 29, на рис. 32 представлен пример резервуара, у которого ширина/диаметр превышает ширину горелки, а предохранительные УСДТ расположены на стенках баллона по обеим сторонам. Подобная ситуация возможна либо при разворачивании баллона для получения наиболее неблагоприятного положения установки, либо если изготовитель транспортного средства решает проводить испытание с учетом защитных устройств, предусмотренных комплектацией конкретного транспортного средства. Поскольку расстояние до любого из УСДТ является одинаковым, допускается поворачивание горелки в направлении любого УСДТ, тем более что полученный результат должен быть эквивалентным.

Рис. 32

Два равноудаленных УСДТ, расположенных эксцентрично на стенках баллона по обеим сторонам

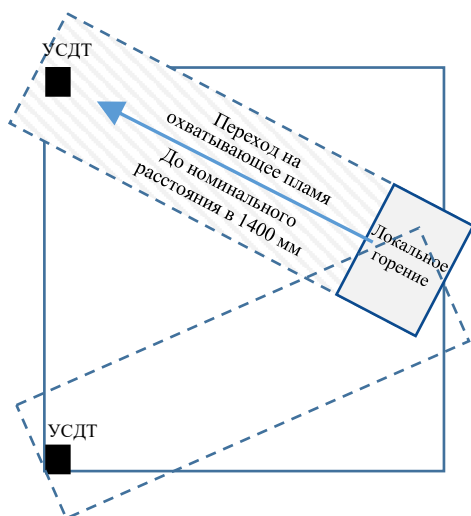


Аналогично рис. 30, на рис. 33 представлен пример резервуара с большой площадью проекции, у которого ширина/диаметр превышает ширину горелки, причем баллон оснащен предохранительными УСДТ, установленными на обеих торцевых оконечностях с одной стороны. В этом случае горелка локального огневого воздействия размещается

посередине противоположной стороны под ней, а горелка охватывающего пламени может быть ориентирована в направлении любого из равноудаленных УСДТ до максимально допустимого увеличения длины ее рабочей поверхности, составляющего 1400 ± 50 мм. Если расстояние от горелки локального огневого воздействия до УСДТ не превышает длины зоны перехода на охватывающее пламя, то горелка охватывающего пламени может выступать за контуры резервуара. Если же расстояние от горелки локального огневого воздействия до УСДТ превышает максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности, то зона воздействия пламенем не будет доходить до УСДТ.

Рис. 33

Расположение зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем при наличии УСДТ, установленных на обеих торцевых оконечностях резервуара конформной конструкции (вид снизу)

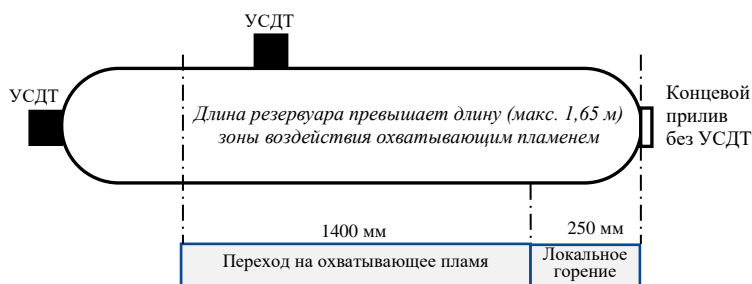


- с) Если на резервуаре, входящем в комплект СХКВ, предусмотрены дополнительные (или размещаемые в других местах) УСДТ либо точки установки, помимо указанных в подпунктах а) и б) выше, то зону локального воздействия огня располагают на максимальном удалении от любого УСДТ, а зону воздействия охватывающим пламенем продолжают от края зоны локального горения в направлении ближайшего УСДТ до максимального увеличения длины рабочей поверхности горелки охватывающего пламени, определенного выше.

На рис. 34 показан случай баллона, оснащенного одним УСДТ, установленным на левом торце, и вторым УСДТ — на расстоянии, равном части длины резервуара. Горелка локального огневого воздействия размещается под правым торцом резервуара для обеспечения максимального удаления от ближайшего УСДТ (не выступая за обрез сферического днища). Максимально допустимое увеличение номинальной длины рабочей поверхности горелки охватывающего пламени влево (в направлении предохранительных УСДТ) составляет 1400 ± 50 мм. Кроме того, как уже рассматривалось в подпункте а) выше и показано на рис. 29 (случай 2), если ширина/диаметр испытательного образца СХКВ превышает ширину горелки, то горелку надлежит повернуть таким образом, чтобы зона перехода на охватывающее пламя была ориентирована в направлении ближайшего УСДТ.

Рис. 34

Конфигурация горелки охватывающего пламени при смещении зоны локального воздействия огня к торцу резервуара



На рис. 35 приведен еще один пример, на этот раз баллона, оснащенного тремя УСДТ. В этом случае горелка локального огневого воздействия размещается под правым торцом резервуара для обеспечения максимального удаления от ближайшего УСДТ (не выступая за обрез сферического днища), а максимально допустимое увеличение длины рабочей поверхности горелки охватывающего пламени влево (в направлении предохранительных УСДТ) составляет 1400 ± 50 мм. Кроме того, поскольку ближайшее УСДТ расположено не по осевой линии баллона, — и когда диаметр баллона превышает ширину горелки — горелку надлежит повернуть таким образом, чтобы зона перехода на охватывающее пламя была ориентирована в направлении (ближайшего) УСДТ, установленного на стенке корпуса баллона. См. подпункт а) выше и случай 2 на рис. 29.

Рис. 35

Конфигурация горелки охватывающего пламени при расположении зоны локального воздействия огня на максимальном удалении от различных УСДТ



111. Испытание завершается после опорожнения СХКВ и падения давления до уровня, составляющего менее 1 МПа, причем в течение 1 часа в случае СХКВ для ТСМГ или 2 часов в случае СХКВ для ТСБГ без разрыва резервуара. Такие консервативные временные рамки были установлены с целью учета возможного длительного воздействия огня при возгорании аккумуляторной батареи или пожаре в гараже, с тем чтобы — когда речь идет о баллоне, имеющем теплозащитное покрытие и снабженном теплозащитными экранами, — обеспечить достаточное время для стравливания газообразного содержимого СХКВ. Значение минимального давления было выбрано с таким расчетом, чтобы свести к минимуму риск разрыва резервуара под действием нагрузки, а в основу значений времени окончания испытания положены данные испытаний транспортных средств. Во избежание опасных ситуаций любое газовыделение через стенки корпуса или соединения резервуара допускается только при условии, что длина образующихся языков пламени не превышает 0,5 м. Если стравливание происходит через предохранительные УСДТ, то этот процесс должен происходить постепенно и непрерывно, что свидетельствует об отсутствии периодически возникающих блокировок отводимого через УСДТ и продувочные магистрали потока, способных в отдельных случаях воспрепятствовать надлежащему процессу стравливания.

112. Если испытание СХКВ на огнестойкость по пункту 6.2.5.7 прервано, то система считается не прошедшей данное испытание. Газообразное содержимое СХКВ подлежит стравливанию во избежание возможных выбросов высокоэнергетичного газа на этапе последующего манипулирования, а СХКВ нужно продуть инертным газом, прежде чем в резервуар сможет попасть окружающий воздух с потенциальных образованием внутри СХКВ легковоспламеняющейся газовой смеси.

113. Испытательным лабораториям предлагается — наряду с окончательным результатом (ПРОЙДЕНО или НЕ ПРОЙДЕНО) испытания СХКВ на огнестойкость, определенным на основе критериев по пункту 5.1.4, — представлять следующую информацию:

- a) диаграммы и фотографии, дающие наглядное представление о горелке, резервуаре в сборе и испытательной установке;
 - b) расход топлива и показатель УСТВ в ходе испытания;
 - c) показания температуры датчиков пламени ($T_{B_{LOC25}}$ и $T_{B_{ENG25}}$), регистрируемые с 10-секундными интервалами, и одноминутные скользящие средние показаний этих датчиков (служащие для подтверждения или аннулирования результата испытания);
 - d) уровень давления внутри резервуара в ходе испытания;
 - e) при проведении испытания на открытом воздухе — температура окружающей среды и скорость и направление ветра;
 - f) хронология значимых событий, определивших окончательный результат испытания.
- e) **Обоснование пунктов 5.1.5 и 6.2.6 — Квалификационные испытания запорных устройств (для ограничения расхода) системы хранения водорода**

114. Надежность и износостойчивость запорных устройств отсечки водорода имеют важнейшее значение для обеспечения целостности всей системы хранения. Одним из элементов проверки запорных устройств является проводимая в ходе эксплуатационных испытаний всей системы (пункт 5.1) квалификационная оценка их функционирования. Кроме того, эти запорные устройства по отдельности подвергаются квалификационным испытаниям, с тем чтобы не только удостовериться в исключительной надежности их подвижных частей, но и обеспечить возможность замены эквивалентных компонентов системы хранения без повторного освидетельствования всей системы. К числу запорных устройств, обеспечивающих изоляцию находящегося под высоким давлением водорода от остальной части топливной системы и окружающей среды, относятся:

- a) предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла (УСДТ). УСДТ срабатывает и остается в открытом положении, когда система находится под воздействием огня;
- b) контрольный клапан. Контрольный клапан предотвращает возврат водорода в заправочный трубопровод транспортного средства. Он является эквивалентом обратного клапана;
- c) запорный клапан. Автоматический запорный клапан, устанавливаемый между резервуаром для хранения и системой подачи топлива, при отключении электропитания автоматически переходит в закрытое положение.

115. Процедуры квалификационных испытаний запорных устройств отсечки водорода, устанавливаемых в системе хранения водорода, были разработаны Международной организацией предприятий автомобильной промышленности (МОПАП) по итогам обсуждений в рамках рабочих групп CSA по CSA/ANSI HPRD 1 и CSA/ANSI HGV 3.1, а также на основе докладов для этих рабочих групп относительно проводимого под эгидой МЭ США компанией “Powertech Laboratories” апробирования обсуждаемых в рамках CSA процедур испытания запорных устройств.

i) *Обоснование квалификационных требований к УСДТ*

116. Соответствие квалификационным требованиям позволяет удостовериться, что устройство, после его приведения в действие, обеспечит полное стравливание газов из топливного резервуара, причем даже при окончательном выходе системы из строя, в условиях перепадов давления и колебания температур в результате наполнения/опорожнения, а также в условиях воздействия внешних факторов. Адекватность расхода применительно к конкретной комплектации проверяется согласно требованиям, предъявляемым к испытанию системы хранения водорода на огнестойкость (пункт 5.1.4).

ii) *Обоснование квалификационных требований к контрольному клапану*

117. Указанные требования не имеют целью не допустить разработку и производство элементов оборудования (например компонентов, выполняющих множественные функции), которые конкретно не предусмотрены настоящим стандартом, при условии, что такие альтернативы были учтены в ходе испытания соответствующих элементов оборудования. При рассмотрении альтернативной конструкции или процесса производства орган, проводящий испытание, оценивает используемые материалы или применяемые методы на предмет их эквивалентности требованиям в отношении эффективности, надлежащей надежности и безопасности, предъявляемым настоящим стандартом. В этом случае количество образцов и порядок применимых испытаний подлежат взаимному согласованию между изготовителем и проводящим испытание органом. Если не указано иное, все испытания проводят с использованием газообразного водорода, отвечающего требованиям стандарта SAE J2719 (“Справочный доклад о разработке требований к качеству водорода для транспортных средств, работающих на топливных элементах”), или ISO 14687:2019 (“Водородное топливо — спецификация продукции”). Общее число рабочих циклов должно составлять 15 000 (циклы наполнения) для контрольного клапана и 50 000 (рабочие циклы) для автоматического запорного клапана.

118. Перекрытие подачи топлива автоматическим запорным клапаном, устанавливаемым на резервуаре системы хранения сжатого водорода, должно быть отказоустойчивым. Термин “отказоустойчивый” относится к устройству, которое переходит в безопасный режим или обеспечивает безопасное полное отключение системы при всех предсказуемых случаях отказа.

119. Электрические испытания автоматического запорного клапана, устанавливаемого на резервуарах системы хранения сжатого водорода (пункт 6.2.6.2.7), направлены на подтверждение его гарантированного срабатывания в следующих случаях: i) при превышении заданной температуры в результате увеличения напряжения и ii) при возможном пробое изоляции между силовым кабелем элемента оборудования и его корпусом. Испытание на воздействие предварительно охлажденным водородом (пункт 6.2.6.2.10) проводят с целью удостовериться, что все компоненты, обеспечивающие поступление топлива, — на участке от заправочного блока до резервуара, — которые при наполнении вступают в контакт с предварительно охлажденным водородом, продолжают безопасно функционировать.

f) **Обоснование пункта 5.1.6 — Маркировка**

120. Минимальная маркировка резервуаров для хранения водорода выполняет три функции: i) содержит информацию о дате снятия системы с эксплуатации, ii) содержит информацию, необходимую для отслеживания производственных условий на случай отказа в процессе дорожной эксплуатации, iii) указывает НРД с целью обеспечить соответствие устанавливаемого резервуара топливной системе транспортного средства и параметрам используемого для наполнения интерфейса. Договаривающиеся стороны могут оговорить дополнительные предписания в отношении маркировки. Поскольку число циклов изменения давления, используемое при квалификационных испытаниях по пункту 5.1.1.2, для разных Договаривающихся сторон может быть различным, это число указывают на каждом резервуаре.

2. Требования к топливной системе транспортного средства и потребности с точки зрения безопасности

а) Требования, предъявляемые в условиях эксплуатации

i) Обоснование требований к заправочному блоку по пункту 5.2.1.1

121. Конструкция заправочного блока транспортного средства должна обеспечивать при наполнении такое давление, которое соответствует параметрам системы хранения топлива. Примеры конструкции заправочного блока приводятся в стандартах ISO 17268, SAE J2600 и SAE J2799. Вблизи заправочного блока помещают наклейку для информирования лица, осуществляющего наполнение/водителя/владельца, о виде топлива (сжиженный или газообразный водород), НРД и дате снятия резервуаров для хранения с эксплуатации. Договаривающиеся стороны могут оговорить дополнительные предписания в отношении маркировки.

ii) Обоснование пункта 5.2.1.2 — Защита системы низкого давления от избыточного давления

122. На выходе регулятора давления система хранения водорода должна быть защищена от возникновения избыточного давления, обусловленного возможным выходом регулятора из строя.

iii) Обоснование пункта 5.2.1.3 — Система стравливания водорода

а. Обоснование пункта 5.2.1.3.1 — Системы сброса давления

123. Выходное отверстие вытяжного трубопровода для стравливания водорода из систем хранения (через УСДТ и УСД) должно быть защищено во избежание его закупоривания, например грязью, осколками камней и льдом. Следует избегать горизонтального — т. е. параллельно поверхности дороги — стравливания водорода в целях защиты сотрудников служб экстренного реагирования, других участников дорожного движения и прилегающих зданий от чреватого опасностью воспламенения выброса струи газа. При стравливании же водорода в вертикальном направлении надлежит учитывать потенциальные риски, связанные с выбросами газа в туннелях и подземных гаражах. Кроме того, газы, отводимые через УСДТ, не рекомендуется сбрасывать в направлении выходов из автобусов, дабы не помешать пассажирам покинуть транспортное средство в случае поломки или аварии.

124. За исключением стравливания через предохранительные УСДТ, срабатывающие при возгорании транспортного средства, никакие другие выбросы газа высокого давления из СХКВ не допускаются. Газы, отводимые через редукторы давления, могут быть как высокого, так и низкого давления, однако продолжительность выброса чаще всего является сравнительно короткой, поэтому образование длинных шлейфов случается не всегда.

125. Поскольку воспламенение струи газа низкого давления может и не происходить непосредственно в точке выброса, ко многим ситуациям применима концепция разбавления до уровня ниже предела воспламеняемости. Следовательно, задача состоит в том, чтобы избежать непосредственного контакта легковоспламеняющихся газов (как правило >100 % НПВ) с источниками возгорания (например, горячими поверхностями с температурой выше температуры самовоспламенения, электромоторами с дуговым искрением, электрическими переключателями и т. д.).

б. Обоснование пункта 5.2.1.3.2 — Системы выпуска транспортных средств

126. В целях обеспечения безопасности выпуска из транспортного средства предусматривается испытание на эффективность, призванное продемонстрировать, что выбросы не являются воспламеняющимся. Требование в отношении 3-секундного скользящего среднего предусматривает возможность исключительно краткосрочного неопасного повышения концентрации до 8 % без возгорания. Как показали испытания на выбросы газа, распространение пламени от источника возгорания происходит при

уровне концентрации водорода свыше 10 %, однако при концентрации водорода ниже 8 % огонь дальше не распространяется (технический доклад SAE 2007-01-437, Корфу и др., “Разработка критериев безопасности для потенциально легковоспламеняющихся выбросов водорода из транспортных средств на топливных элементах”). При установленном для любого момента времени 8-процентном предельном уровне концентрации водорода исключается опасность для людей, находящихся вблизи точки выброса, даже при наличии источника возгорания. Длительность скользящего среднего определяется с целью обеспечить, чтобы пространство вокруг транспортного средства оставалось неопасным по мере смешения водорода из выбросов с окружающим воздухом; так обстоит дело, когда транспортное средство работает на холостом ходу в закрытом гараже. Для того чтобы должностные лица, отвечающие за эксплуатацию зданий, и эксперты по вопросам безопасности в полной мере осознавали такую ситуацию, надлежит добиваться признания того, что, согласно государственным/муниципальным строительным кодексам и таким международно признанным стандартам, как стандарт 60079 Международной электротехнической комиссии (МЭК), соответствующее помещение должно иметь объем, отвечающий требованию менее 25 % НПВ (или 1 % водорода). Временной предел для скользящего среднего был определен исходя из предполагаемого чрезвычайно высокого показателя выброса водорода, эквивалентного мощности в 100 кВт на входе в батарею топливных элементов. Затем был рассчитан промежуток времени, требуемый для заполнения водородом при таких показателях выброса номинального пространства, занимаемого одним пассажирским транспортным средством (4,6 м x 2,6 м x 2,6 м), до уровня 25 % НПВ. Согласно консервативным оценкам, результирующий временной предел для скользящего среднего составляет 8 секунд, что свидетельствует о допустимости 3-секундного скользящего среднего, которое используется в настоящем документе и учитывает различия в размерах гаражей и двигателей. Стандартное требование ISO в отношении контрольно-измерительных приборов в 6–10 раз меньше измеренного значения. Таким образом, в ходе процедуры испытания по пункту 6.1.4 3-секундное скользящее среднее требует срабатывания соответствующего датчика (в 90 % случаев) и фиксации показаний менее чем за 300 миллисекунд.

iv) Обоснование пункта 5.2.1.4 — Защита от условий, чреватых опасностью воспламенения

127. Единичная неисправность. Если в результате непредвиденной утечки водорода его концентрация достигает уровня воспламенения, то могут возникать опасные ситуации.

- a) Любой единичный сбой на выходе основного запорного клапана не должен приводить к превышению предельного уровня концентрации водорода в воздухе в каком-либо месте пассажирского салона.
- b) Важное значение имеет защита от повышения концентрации водорода в воздухе в закрытых или полужакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства, где имеются незащищенные источники возгорания.
 - i) Эта цель может быть достигнута за счет соответствующих конструкционных решений для транспортных средств (например, путем обеспечения вентиляции в целях недопущения повышения концентрации водорода).
 - ii) Если достижение этой цели обеспечивается за счет обнаружения концентрации водорода в воздухе в объеме $2 \pm 1,0$ % или более, то в этом случае предусматривается подача предупреждающего сигнала. Если объемная концентрация водорода в воздухе в закрытых или полужакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает $3 \pm 1,0$ %, то должен срабатывать основной запорный клапан, полностью перекрывая систему хранения.

с) Были изменены процентные показатели утечки по пункту 5.2.1.4.3 (“Защита от условий, чреватых опасностью воспламенения: единичная неисправность”), требующие определенного реагирования, во избежание их взаимного наложения. Ранее предъявлялось следующее требование: подача предупреждающего сигнала предусматривалась при концентрации на уровне 1–3 %, а срабатывание запорного клапана — на уровне 2–4 %, так что в диапазоне от 2 до 3 % имелся перехлест. Внесенные изменения (> 3,0 % для подачи предупреждающего сигнала и > 4,0 % для срабатывания запорного клапана) позволяют устранить взаимное наложение и обеспечивают большую ясность.

v) *Обоснование пункта 5.2.1.5 — Утечка в топливной системе*

128. Поддающаяся обнаружению утечка из заправочного трубопровода и системы подачи водородного топлива не допускается.

vi) *Обоснование пункта 5.2.1.6 — Система подачи визуального сигнала/предупреждения*

129. Система подачи визуального сигнала/предупреждения предназначена для оповещения водителя о возникновении утечки водорода, в результате которой уровень объемной концентрации водорода в пассажирском салоне, багажном отделении и пространствах, где имеются незащищенные источники возгорания, достигает 4 % и выше. Система подачи визуального сигнала/предупреждения должна также предупреждать водителя в случае несрабатывания системы обнаружения утечки водорода. Кроме того, эта система должна срабатывать в обеих указанных ситуациях и незамедлительно предупреждать водителя. Сигнальное устройство о срабатывании запорного клапана должно быть установлено внутри пассажирского салона перед водителем в зоне его прямой видимости. Данные в подтверждение того, что эффективность функции предупреждения при подаче сигнала только в визуальной форме снизится, отсутствуют. В случае отказа системы обнаружения предупреждающий сигнал должен быть желтого цвета. В случае аварийного срабатывания запорного клапана предупреждающий сигнал должен быть красного цвета.

vii) *Нижний предел воспламеняемости (НПВ)*

130. (Справочная информация по пункту 3.34): Минимальный уровень концентрации водорода в газовой смеси, при которой она будет способствовать распространению фронта пламени (т. е. становится воспламеняющейся). Национальные и международные нормативные органы (например, Национальная противопожарная ассоциация (НПА) и МЭК) признают, что 4-процентная объемная концентрация водорода в воздухе составляет НПВ (Министерство внутренних дел США, Бюллетень 503 Горнорудного бюро, 1952 год; Хуф и Шефер, “Прогнозирование возникновения излучающих тепловых потоков и мест возгорания в результате ненамеренного выброса водорода”, Международный журнал по водородной энергетике, выпуск 31, стр. 136–151 английского текста, 2007 год; NASA RD-WSTF-0001, 1988 год). НПВ, который зависит от температуры, давления, направления горения и присутствия разрежающих газов, был определен с использованием конкретных методов испытания на базе предварительно полностью перемешанной покоящейся смеси (например, E681-09 (2015) Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM)). Таким образом, определение НПВ ограничивается предварительно полностью перемешанными невозмущенными средами. В реальных (неспокойных) условиях распространение горения находится в зависимости от гидродинамической среды, что всегда повышает теоретический НПВ. Хотя показатель НПВ, равный 4 %, и является подходящим для общей оценки воспламеняемости вблизи транспортных средств или внутри пассажирских салонов, этот критерий, возможно, носит слишком ограничительный характер для случаев, связанных с подачей газа, когда для воспламенения водорода его концентрация часто должна превышать 4 %. Способность источника возгорания в каждом конкретном случае поджечь образовавшийся в результате утечки шлейф газа зависит от характера утечки и вида такого источника. При концентрации водорода в находящейся в

состоянии покоя смеси комнатной температуры на уровне 4 % горение может происходить только в вертикальном направлении. В случае же смеси, содержащей приблизительно 8–10 % водорода, горение может также распространяться вниз и горизонтально, при этом смесь становится легко воспламеняемой независимо от местонахождения источника возгорания. НПВ обычно выражается в процентах (%) (объемная доля топливного газа в смеси). Коуард Х.Ф. и др., “Пределы воспламеняемости газов и паров”, Бюллетень 503 Горнорудного бюро, 1952 год; Бенц Ф.Дж. и др., “Воспламеняемость и термическая опасность отдельных видов используемых в космонавтике жидкостей”, RD-WSTF-0001, НАСА, Космический центр им. Джонсона, Лаборатория “Уайт сэндс”, Лас Крусес, НМ, США, октябрь 1988 года; Хуф У.Г. и др., “Прогнозирование возникновения излучающих тепловых потоков и мест возгорания в результате ненамеренного выброса водорода”, Международный журнал по водородной энергетике, выпуск 32, стр. 136–141 английского текста, 2007 год.

viii) *Рекомендуемые конструкционные особенности системы на водородном топливе*

131. Поскольку ни одни технические правила, регламентирующие эксплуатационные характеристики, не в состоянии охватить требования к испытаниям применительно ко всем возможным сценариям, в настоящем разделе изготовителям предлагается следующий перечень пунктов, которые они должны учитывать при разработке систем на водородном топливе в целях сокращения утечки водорода и обеспечения безопасности производимой продукции:

- a) Система на водородном топливе должна функционировать безопасным и надлежащим образом и иметь такую конструкцию, чтобы свести к минимуму потенциальную возможность утечки водорода (например, по мере возможности ограничить число магистральных подсоединений).
- b) Система на водородном топливе должна надежно выдерживать химические, электрические, механические и термические условия, которые могут возникнуть в ходе нормальной эксплуатации транспортного средства.
- c) Используемые соответствующие материалы должны быть совместимы с газообразным или жидким водородом.
- d) Система на водородном топливе должна устанавливаться таким образом, чтобы она была защищена от повреждений в нормальных условиях эксплуатации.
- e) Жесткие топливопроводы должны быть надежно закреплены, с тем чтобы они не подвергались критической вибрации или другому напряжению.
- f) Система на водородном топливе должна обеспечивать защиту от поступления излишнего водорода в случае возникновения неисправности в нижнем контуре.
- g) Ни один элемент оборудования системы на водородном топливе, включая любые защитные материалы, которые являются частью таких компонентов, не должен выступать за пределы контура транспортного средства или защитных устройств.

b) Требования к последствиям столкновения

i) *Обоснование пункта 5.2.2.1 — Предельные уровни утечки после столкновения*

132. Допустимые уровни утечки в течение 60 минут после столкновения, предусмотренные Федеральным стандартом безопасности автотранспорта (FMVSS) 301 (для Соединенных Штатов Америки) и правилами №№ 94 и 95 ООН, различаются не более чем на 6 %. Поскольку данные показатели являются весьма

сходными, за основу при расчете допустимой утечки водорода после столкновения для целей настоящих ГТП ООН был взят показатель Правил № 94 ООН, равный 30 г/мин.

133. При определении предельного уровня утечки водорода после столкновения в основу был положен показатель эквивалентного выброса теплоты сгорания, разрешенный для транспортных средств, работающих на бензине. Исходя из нижней теплотворной способности 120 МДж/кг для водорода и 42,7 МДж/кг для бензина (согласно данным “Transportation Data Book” Министерства энергетики США), эквивалентный показатель допустимой утечки водорода (W_H) для транспортных средств либо с системами хранения сжиженного водорода, либо с системами хранения сжиженного водорода можно рассчитать следующим образом:

$$W_H = 30 \text{ г/мин (утечка бензина)} \times \frac{42,7 \text{ МДж/кг}}{120 \text{ МДж/кг}} = 10,7 \text{ г/мин (утечка водорода)}$$

Таким образом, общий допустимый показатель потери водорода в течение 60 минут после столкновения составляет 642 г.

134. Допустимый расход водорода при утечке — для транспортных средств с системами хранения либо компримированного водорода, либо сжиженного водорода — также может быть указан в объемном выражении (V_H) при нормальных значениях температуры (0 °С) и давления следующим образом:

$$V_H = \frac{10,7 \text{ г/мин}}{2(1,00794) \text{ г/моль}} * 22,41 \frac{\text{нл}}{\text{моль}} = 118 \text{ нл/мин}$$

135. В обоснование показателя скорости утечки водорода ЯАРИ провел испытания на возгорание с имитацией утечки водорода под транспортным средством и внутри моторного отсека при скорости утечки от 131 Нл/мин до 1000 Нл/мин. Как показали результаты, хотя возгорание водорода может сопровождаться громким хлопком, звукового давления и теплового потока (даже при скорости утечки 1000 Нл/мин) недостаточно ни для повреждения днища транспортного средства, ни для открытия капота двигателя, ни для нанесения телесных повреждений человеку, находящемуся на расстоянии 1 м от транспортного средства (технический документ SAE 2007-01-0428 “Характер распространения и воспламенения водорода в случае его утечки из транспортного средства на водородном топливе”).

ii) *Обоснование пункта 5.2.2.2 — Предельная концентрация в закрытых кожухом пространствах после столкновения*

136. Данное требование к испытанию было предусмотрено с целью не допустить скапливания водорода в пассажирском салоне, багажном или грузовом отделениях, что потенциально способно привести к возникновению опасности после столкновения. В качестве соответствующего консервативного критерия был выбран уровень объемной концентрации водорода в 4 %, поскольку это именно тот минимальный уровень, при котором может произойти возгорание (причем горение протекает весьма вяло). Поскольку данное испытание проводят параллельно с испытанием на герметичность после столкновения и, следовательно, оно будет продолжаться не менее 60 минут, нет необходимости предусматривать допуск для критериев в отношении разрежающих зон, так как для распространения водорода по всему салону нужно достаточно времени.

iii) *Обоснование требования в отношении смещения резервуара, предусмотренного в пункте 5.2.2.3*

137. Одним из правил противоаварийной безопасности транспортных средств с топливными системами на компримированном газе является Канадский стандарт безопасности автотранспорта (CMVSS) 301. Среди предусмотренных в нем положений имеется требование к установке топливного резервуара в целях предотвращения его смещения.

F. Обоснование процедур испытаний системы хранения и топливной системы

138. Процедуры испытаний по пункту 6 воспроизводят дорожные условия, предусмотренные требованиями в отношении проверки эксплуатационных характеристик по пункту 5. Большинство процедур испытаний основано на процедурах испытаний, указанных в уже принятых национальных правилах и/или отраслевых стандартах.

1. Обоснование испытаний системы хранения и топливной системы на целостность

a) Обоснование процедуры испытания по пункту 6.1.1 — Испытание систем хранения компримированного водорода на герметичность после столкновения

139. Испытание на утечку после столкновения проводят следующим образом:

6.1.1.1 Процедура испытания с использованием водорода в качестве испытательного газа

6.1.1.2 Процедура испытания с использованием гелия в качестве испытательного газа.

140. Потери топлива представляют собой допустимый расход из всей системы хранения компримированного водорода транспортного средства. Расход водорода после удара может быть определен путем измерения потери давления в системе хранения компримированного газа за период не менее 60 минут после столкновения с последующим расчетом скорости утечки водорода на основе замеренного падения давления и соответствующего временного интервала по уравнению, характеризующему состояние компримированного газа в системе хранения. (См. технический документ SAE 2010-01-0133, “Разработка методики испытания ТСТЭ на утечку топлива после столкновения”, включенный в SAE J2578.) В случае нескольких резервуаров для хранения водорода, которые после столкновения остаются изолированными друг от друга, может потребоваться измерить потери водорода для каждого резервуара по отдельности (с использованием подхода, изложенного в пункте 5.2.2.1), а затем сложить индивидуальные показатели для определения общей утечки газообразного водорода из системы хранения.

141. Допускается также распространение данной методики на случаи использования невоспламеняющихся газов при проведении краш-тестов. Был выбран гелий, который, как и водород, имеет низкий молекулярный вес. В целях определения соотношения объемного расхода гелия и водорода в случае утечки (и установления тем самым необходимой взаимосвязи между объемами утечки водорода и гелия) мы исходим из предположения, что утечку из системы хранения компримированного водорода можно охарактеризовать как дреосселируемый расход через отверстие, площадь которого (A) представляет собой общую эквивалентную площадь утечки из системы после удара. В этом случае массовый расход выражается следующим уравнением:

$$W = C \times C_d \times A \times (\rho \times P)^{1/2},$$

где C_d — коэффициент расхода через отверстие, A — площадь отверстия, P и ρ — плотность и давление (стагнирующей) жидкости в поднапорной части, причем ρ и C рассчитывают следующим образом:

$$\rho = R_u \times T/M$$

и

$$C = \gamma / (\gamma + 1)^{1/2} \times (\gamma + 1)^{1/(\gamma - 1)},$$

где R_u — универсальная газовая постоянная, а T , M и γ — температура, молекулярная масса и соотношение удельных показателей расхода теплоты (C_v/C_p) для конкретного теряемого газа. Поскольку при определении соотношения объемов послеаварийной утечки гелия и водорода C_d , A , R_u , T , и P

являются постоянными, в нижеследующем уравнении соотношение показателей расхода дается по массе:

$$W_{H_2}/W_{He} = C_{H_2}/C_{He} \times (M_{H_2}/M_{He})^{1/2}.$$

142. Таким образом, мы имеем возможность определить соотношение объемного расхода путем перемножения показателей массового расхода и молекулярного веса (M) при постоянной температуре и идентичных условиях давления:

$$V_{H_2}/V_{He} = C_{H_2}/C_{He} \times (M_{He}/M_{H_2})^{1/2}.$$

143. На основе приведенного выше соотношения можно определить, что соотношение показателей объемного расхода (и, следовательно, соотношение объемной концентрации газа) применительно к гелию и водороду составляет примерно 75 % при наличии тех же самых повреждений в системе хранения. Таким образом, уровень утечки водорода после столкновения может быть рассчитан по формуле:

$$V_{H_2} = V_{He}/0,75,$$

где V_{He} — уровень утечки гелия после столкновения (Нл/мин).

b) Обоснование пункта 6.1.2 (Процедура испытания на определение уровня концентрации в закрытых кожухом пространствах после столкновения для транспортных средств с системами хранения компримированного водорода)

144. Это испытание может проводиться путем измерения либо увеличения концентрации водорода, либо соответствующего уменьшения содержания кислорода. Датчики устанавливаются в конкретных местах в пассажирском салоне, багажном и грузовом отделениях. Поскольку данное испытание проводят параллельно с испытанием на герметичность системы хранения после столкновения и, следовательно, оно будет продолжаться не менее 60 минут, нет необходимости предусматривать допуск для критериев в отношении разрежающих зон, так как для распространения водорода по всему салону нужно достаточно времени.

145. Если транспортное средство подвергают краш-тесту с использованием не водорода, а (для проверки на герметичность) компримированного гелия, необходимо определить предельный уровень концентрации гелия, эквивалентный 4-процентной объемной концентрации водорода. С учетом того, что концентрация водорода или гелия в салоне/отделении (по объему) пропорциональна объемному расходу при утечке соответствующих газов, представляется возможным определить допустимую объемную концентрацию гелия (X_{He}) на основе уравнения, выведенного в пунктах 139–143 преамбулы, путем умножения предельного уровня концентрации водорода на 0,75. Таким образом, предельный уровень концентрации для гелия составляет:

$$X_{He} = 4 \% H_2 \text{ (по объему)} \times 0,75 = 3,0 \% \text{ (по объему)}.$$

Следовательно, предельный уровень объемной концентрации гелия в пассажирском салоне, багажном и грузовом отделениях составляет 3 %, если краш-тест транспортного средства с системой хранения компримированного газа проводится с использованием не компримированного водорода, а компримированного гелия.

146. Примеры участков, где проводят измерения уровня концентрации водорода, приводятся в документе “Примеры точек для измерения уровня концентрации водорода при проведении испытания” (доклад МОПАП для ПГБ-3 на основе приложения к правилам серии 100 Японии).

2. Обоснование пункта 6.2 (Процедуры испытаний систем хранения компримированного водорода)

147. Большинство процедур испытаний систем хранения водорода основано на процедурах испытаний, указанных в уже принятых национальных правилах и/или отраслевых стандартах. Основными отличительными особенностями в данном случае

являются последовательное проведение испытаний (в отличие от предыдущих испытаний, проводившихся параллельно, каждое — на отдельном новом резервуаре) и замедление скорости наполнения при испытании на разрыв, с тем чтобы она соответствовала эксплуатационной скорости наполнения. Кроме того, продолжительность приложения нагрузки в момент доведения ее до давления разрыва была увеличена до 4 минут. Эти изменения имеют целью снизить порог чувствительности первоначальных замеров при испытании на разрыв и оценить способность системы выдерживать давление. Оценка требований настоящего документа с изложением ГТП ООН с точки зрения их достаточности и жесткости по сравнению с ранее существовавшими требованиями ЕС приводится в докладе по проекту RPN1742 Лаборатории транспортных исследований “Транспортные средства на водороде: сопоставление европейского законодательства и проекта глобальных технических правил ЕЭК”, К. Висвикис.

- a) Поскольку гидравлическое испытание на циклическое изменение давления может проводиться с различной частотой циклов, было добавлено положение о том, что изготовитель резервуара может указать режим цикла нагнетания гидравлического давления (пункт 6.2.2.2). Это позволит избежать преждевременного выхода резервуара из строя ввиду условий испытания, выходящих за рамки расчетного предела прочности конструкции, при сохранении общего уровня строгости испытаний.
- b) Процедура испытания на сбрасывание была оптимизирована с таким расчетом, что разовому сбрасыванию подвергаются только один резервуар, который должен выдерживать одно сбрасывание в любом из положений, предусмотренных процедурой испытания.

148. Требования в отношении запорных устройств системы хранения водорода (УСДТ, автоматический запорный клапан и контрольный клапан) были разработаны и опубликованы в виде стандартов CSA/ANSI HGV 3.1 и CSA/ANSI HPRD 1.

- a) Оценка способности противостоять циклическому изменению давления в течение 50 000 циклов (пункт 6.2.6.2.3) отражает воздействие многократных импульсов давления на контрольные клапаны в период наполнения и многократного срабатывания автоматических запорных клапанов между наполнениями.
- b) Испытание на виброустойчивость (пункт 6.2.6.2.8) было разработано с целью проверки на воздействие частотами в диапазоне 10–40 Гц, поскольку — согласно сообщению ряда органов, проводящих испытания элементов оборудования, — резонансных частот может быть несколько. Частота 17 Гц, использовавшаяся ранее при испытаниях элементов оборудования на виброустойчивость, была отобрана на основе данных о прохождении одним транспортным средством участков дороги с различным покрытием, причем она учитывает воздействие близко расположенного двигателя. Однако резонансная частота, как ожидается, может меняться в зависимости от конструкции данного элемента оборудования и требований к монтажу; поэтому для обеспечения охвата наиболее неблагоприятных условий требуется развертка до 40 Гц.
- c) Результаты испытаний запорных устройств регистрируются испытательной лабораторией и предоставляются изготовителю. В контексте испытания на расход регистрируемый расход в Нл/мин (при 0 °C и 1 атмосфере) соответствует наименьшему измеренному значению по восьми подвергнутым испытанию предохранительным устройствам сброса давления, скорректированному по водороду.
- d) Испытание на воздействие атмосферных условий (пункт 6.2.6.2.6) основывается на двух предыдущих испытаниях. Испытание на окислительное старение было предусмотрено в NGV3.1 CSA/ANSI и согласовано с ISO 12619-2 (“Дорожные транспортные средства — компоненты топливной системы, работающей на компримированном газообразном водороде (КГН₂) и топливных смесях водорода с

природным газом — Часть 2: Эксплуатационные характеристики и общие методы испытания”, и ISO 15500-2 (“Дорожные транспортные средства — компоненты топливной системы, работающей на сжатом природном газе (КПГ) — Часть 2: Эксплуатационные характеристики и общие методы испытания”). Требования и процедура испытания на озоностойкость взяты из Правил № 110, касающихся элементов оборудования, по которым проходит КПГ, и добавлены к документам CSA, касающимся элементов оборудования, через которые проходит как водород, так и КПГ.

- e) Был скорректирован порядок проведения испытаний по пункту 6.2.6.1.1 для приведения его в соответствие с требованиями пункта 5.1.5.1. В частности, теперь стендовое испытание на срабатывание предшествует испытанию на проверку расхода. Кроме того, предъявляемые к испытанию требования были согласованы со стандартом ISO 19882 (“Газообразный водород — предохранительные устройства сброса давления, срабатывающие под воздействием тепла, для топливных резервуаров транспортных средств, работающих на сжатом природном газе”). Наконец, для наглядности была добавлена сводная таблица по условиям циклического изменения давления.
- f) Было включено новое уравнение, которым выражается температура при ускоренном испытании на долговечность (пункт 6.2.6.1.2), устраняющее ряд пробелов, имевшихся в прежнем уравнении. Например, результаты, получаемые на базе старого уравнения, не позволяли уравновесить сквозные значения и характеризовались расхождениями при измерениях температуры в градусах по Цельсию и Кельвину. Новая формула, выведенная по итогам анализа фактических характеристик ползучести эвтектических сплавов, дает результаты, аналогичные рассчитываемым по старой формуле при диапазоне температур, обычно использовавшемся ранее, однако обеспечивает получение более реалистичных значений в более широком температурном диапазоне, причем с любыми входными переменными.
- g) Испытание на стойкость к солевой коррозии (пункт 6.2.6.1.4) было обновлено с учетом стандарта CSA/ANSI HPRD 1, которым предусматривается более репрезентативное испытание на воздействие жидкостей, используемых в автомобилях. Этому испытанию подвергают как УСДТ, так и контрольный и запорный клапаны.
- h) Было решено отказаться от применения при испытании на воздействие жидкостей, используемых в транспортном средстве (пункт 6.2.6.1.5), гидроксида натрия и нитрата аммония. Поскольку гидроксид натрия вступает в реакцию с алюминием (основной материал корпуса многих предохранительных УСДТ) и разрушает его, проводить испытание в условиях погружения (особенно после обработки серной кислотой, которая воздействует на анодированное покрытие, не вызывая механохимической деструкции) весьма сложно. Вместо этого разрешается проводить испытание аэрозольным методом, причем в качестве тестовой среды была добавлена смесь бензина с этанолом как предусмотренная стандартами CSA/ANSI HPRD 1:21 и CSA/ANSI HGV 3.1-2015 для сценариев столкновения транспортных средств, т. е. воздействие горючим, пролившимся их других автомобилей. Данное изменение касается запорных и контрольных клапанов. В перечне жидких сред метанол (M5) был заменен на этанол (E10), поскольку последний является более репрезентативным из представленных сегодня на рынке видов топлива.
- i) Обновленной процедурой испытания УСДТ на сбрасывание допускается сбрасывание одного УСДТ во всех шести положениях, либо, в качестве альтернативы, можно использовать до шести отдельных блоков для осуществления шести сбрасываний. Возможность выбора вариантов

предусмотрена в порядке обеспечения не различных уровней жесткости требований, а более целесообразного способа проведения испытания.

- j) Для целей стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) требуются не два, а три блока УСДТ, с тем чтобы их количество соответствовало используемому при испытании на проверку расхода. Кроме того, с добавлением испытаний трех образцов на срабатывание под высоким давлением и на проверку расхода отпадает необходимость в испытании единичного образца при 100 % НРД.
- k) Поскольку проведение испытания неметаллических материалов на воздействие водорода не предусмотрено, было добавлено испытание предохранительных УСДТ на воздействие атмосферных условий (пункт 6.2.6.1.11), которое также согласуется с испытанием по пункту 6.2.6.2.6 для контрольных и запорных клапанов.
- l) Применительно к испытанию на циклическое изменение давления при экстремальных температурах (пункт 6.2.6.2.3) было изменено число рабочих циклов для контрольного клапана и запорного клапана в порядке обеспечения согласования со стандартом CSA/ANSI HGV 3.1.

G. Факультативные требования: транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода: обоснование

149. Поскольку транспортные средства на водородном топливе находятся на ранних этапах разработки и коммерческого внедрения, в последние годы велась работа по проведению испытаний и оценке методов испытаний для целей освидетельствования транспортных средств на предмет эксплуатации в дорожных условиях. Вместе с тем системы хранения сжиженного водорода (СХСжВ) значительно реже подвергались оценке, нежели системы хранения компримированного газа. На момент разработки настоящего документа транспортное средство с СХСжВ было предложено только одним производителем, при этом опыт дорожной эксплуатации транспортных средств на СХСжВ является весьма ограниченным. Предлагаемые в настоящем документе требования к СХСжВ обсуждались в техническом плане, и хотя они представляются разумными и обоснованными, они не были официально утверждены. Ввиду ограниченности опыта эксплуатации транспортных средств с СХСжВ некоторые Договаривающиеся стороны обратились с просьбой предоставить им дополнительное время для проведения испытаний и подтверждения их результатов. В связи с этим требования в отношении СХСжВ, изложенные в разделе G, носят факультативный характер.

1. Справочная информация по системам хранения сжиженного водорода

a) Газообразный водород имеет низкую энергетическую плотность на единицу объема

150. Для того чтобы преодолеть этот недостаток, в системе хранения сжиженного водорода (СХСжВ) водород содержится в сжиженном состоянии в условиях криогенного охлаждения.

b) Схема типичной системы хранения сжиженного водорода (СХСжВ) приводится на рис. 36

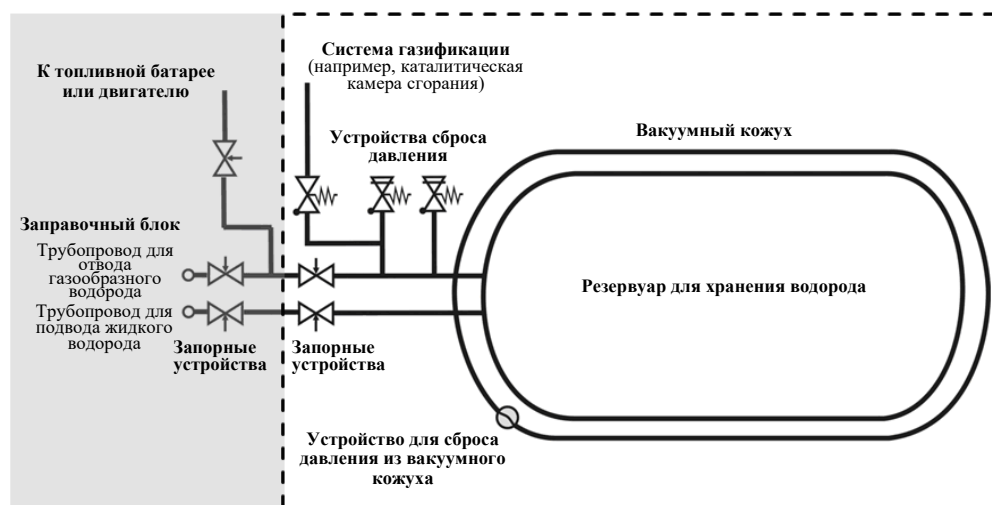
151. На практике системы будут различаться по типу, количеству, конфигурации и расположению своих функциональных частей. В конечном итоге внешние контуры СХСжВ определяются стыковочными блоками, которые позволяют изолировать хранящийся сжиженный (и/или газообразный) водород от остальной части топливной системы и окружающей среды. Все элементы оборудования, размещенные в пределах этого контура, должны соответствовать требованиям, указанным в настоящем разделе, в то время как на внешние элементы оборудования распространяются общие

требования раздела 4. Так, типичная СХСЖВ, показанная на рис. 36, состоит из следующих обязательных элементов:

- a) резервуар(ы) для хранения сжиженного водорода;
- b) запорное(ые) устройство(а);
- c) система газификации;
- d) устройства сброса давления (УСД);
- e) трубопроводы (если таковые имеются) и фитинги для подсоединения указанных выше элементов оборудования.

Рис. 36

Схема типичной системы хранения сжиженного газа



- c) **При заправке сжиженный водород поступает из системы подачи топлива в резервуар(ы) для хранения**

152. В процессе заправки газообразный водород из СХСЖВ вытесняется обратно в резервуар заправочной станции, с тем чтобы сжиженный водород мог подаваться в резервуар(ы) системы хранения сжиженного водорода без превышения в ней давления. Для предотвращения утечки в случае единичного сбоя предусматриваются два отсечных клапана — на трубопроводе, по которому сжиженный водород закачивается в систему, и на газозвратном трубопроводе.

- d) **Сжиженный водород хранится в условиях криогенного охлаждения**

153. Для сохранения водорода в жидком состоянии резервуар требуется обеспечить хорошей термоизоляцией, включая его помещение в вакуумный кожух. В целях надлежащего проектирования резервуара для хранения и вакуумного кожуха рекомендуется руководствоваться общепринятыми нормативами или стандартами (например, перечисленными в пункте 7).

- e) **При продолжительной стоянке транспортного средства теплопередача будет приводить к повышению давления в резервуаре(ах) для хранения водорода**

154. Система газификации ограничивает повышение давления в резервуаре(ах) для хранения водорода, обусловленное теплопритоком, до уровня, указанного изготовителем. Водород, выводимый из СХСЖВ, может быть подвергнут переработке или использован в поднапорных системах. Выбросы из транспортного средства в результате стравливания избыточного давления следует рассматривать в контексте допустимой общей утечки/просачивания.

f) Сбой

155. На случай сбоя в работе системы газификации, нарушения вакуума или внешнего возгорания резервуар(ы) для хранения водорода защищен(ы) от избыточного давления двумя независимыми устройствами для сброса давления (УСД), а вакуумный(ые) кожух(и) — собственным(и) устройством(ами) сброса давления.

g) При поступлении в тяговую установку водород из СХСжВ проходит через запорный клапан, установленный на системе подачи водородного топлива

156. В случае выявления неполадки в двигателе или заправочном блоке системами обеспечения безопасности транспортного средства обычно предусматривается срабатывание запорного клапана резервуара, который не позволяет водороду попасть в поднапорные системы и окружающую среду.

2. Обоснование приведенных в пункте 7.2 квалификационных требований к конструкции систем хранения сжиженного водорода

157. Удержание водорода в системе хранения сжиженного водорода является необходимым условием его успешного изолирования от окружающей среды и поднапорных систем. Испытания на эффективность всей системы, изложенные в пункте 7.2, были разработаны с целью продемонстрировать достаточный уровень прочности резервуара на разрыв и его способность выполнять важнейшие функции на протяжении всего срока службы, в том числе при циклическом изменении давления в процессе нормальной эксплуатации, при ограничении давления в экстремальных условиях, при возникновении сбоев и в случае возгорания.

158. Требования к испытаниям на эффективность для всех систем хранения сжиженного водорода, используемых на дорожных транспортных средствах, оговорены в пункте 7.2. Данные критерии применяются для квалификационной оценки систем хранения на предмет использования в новых транспортных средствах серийного производства.

159. В настоящем разделе приводится обоснование требований к эффективности, установленных в пункте 7.2, в отношении целостности системы хранения сжиженного водорода. Ожидается, что изготовители будут обеспечивать соответствие всей производимой продукции требованиям, предъявляемым к проверочным испытаниям на эффективность по пунктам 7.2.1–7.2.4.

a) Обоснование испытаний для проверки базовых параметров СХСжВ по пункту 7.2.1

160. Испытание на соответствие давлению и проверка базового показателя давления разрыва для новых резервуаров призваны продемонстрировать структурные возможности внутреннего корпуса резервуара.

i) Обоснование требований в отношении соответствия давлению по пунктам 7.2.1.1 и 7.4.1.1

161. В силу конструкционных особенностей резервуара и спецификации предельных показателей давления в ходе обычной эксплуатации и в момент возникновения сбоя (как показано в пунктах 7.4.2.2 и 7.4.2.3) давление во внутреннем корпусе резервуара может подниматься до 110 % максимально допустимого рабочего давления (МДРД) на момент срабатывания — при возникновении сбоя — первичного устройства сброса давления, но не будет превышать 150 % МДРД даже при “наихудшем сценарии” сбоя, когда первичное устройство сброса давления не срабатывает и для защиты системы должно быть приведено в действие вторичное предохранительное устройство. Испытание на соответствие давлению в 130 % МДРД имеет целью удостовериться, что при таком давлении внутренний корпус резервуара сохраняет свою минимальную прочность на разрыв.

- ii) *Обоснование требований в отношении базового показателя давления разрыва для новых резервуаров по пунктам 7.2.1.2 и 7.4.1.2*

162. В силу конструкционных особенностей (и как показано в пункте 5.2.3.3) давление может достигать 150 % МДРД, при котором может возникнуть необходимость в приведении в действие вторичного(ых) (резервного(ых) устройства (устройств) сброса давления. Испытание призвано продемонстрировать запас прочности на разрыв при таком “наихудшем сценарии”. Используемые для целей испытания уровни давления, соответствующие либо максимально допустимому рабочему давлению (в МПа) плюс 0,1 МПа, умноженному на 3,25, либо МДРД (в МПа) плюс 0,1 МПа, умноженному на 1,5 и на R_m/R_p (где R_m — минимальный предел прочности материала резервуара на растяжение, а R_p — его минимальная прочность на разрыв), представляют собой общие значения, при которых обеспечивается такой запас прочности для металлических оболочек.

163. Кроме того, выбранные для целей испытания высокие значения давления разрыва (в сочетании с надлежащим подбором материалов) позволяют продемонстрировать, что уровень испытываемой нагрузки является приемлемо низким, а посему возникновение проблемы усталостной прочности с металлическими резервуарами маловероятно, что подкрепляется конструкторскими расчетами. В случае же неметаллических резервуаров пунктом 7.4.1.2 предусмотрено дополнительное испытание с целью продемонстрировать такую прочность на разрыв, поскольку процедуры расчетов для этих материалов еще не унифицированы.

- b) Обоснование пункта 7.2.2 — Проверка ожидаемой эффективности в дорожных условиях**

- i) *Обоснование требования в отношении утечки паров по пунктам 7.2.2.1 и 7.4.2.1*

164. В процессе нормальной эксплуатации система газификации обеспечивает ограничение по давлению на уровне ниже МДРД. Наихудшими с точки зрения функционирования системы газификации являются условия стоянки после дозаправки до максимального уровня заполнения системы хранения сжиженного водорода с ограниченным периодом охлаждения в течение максимум 48 часов.

- ii) *Обоснование требований в отношении утечки водорода по пунктам 7.2.2.2 и 7.4.2.2*

165. Испытание на стравливание водорода проводят при поддержании в системе хранения сжиженного газа давления на уровне давления вскипания. Изготовители, как правило, предпочитают учитывать весь водород (или большую его часть), убывающий из резервуара, однако для получения предельно допустимого расхода водорода, сопоставимого с показателями, которые используются для систем хранения компримированного водорода, следует принимать во внимание любой расход водорода из систем газификации наряду с другими утечками, если таковые имеются, для определения суммарного расхода водорода применительно к транспортным средствам.

166. С учетом такой корректировки допустимый расход водорода из системы хранения сжиженного водорода транспортного средства будет таким же, как и из системы хранения компримированного водорода. С учетом анализа, изложенного в пунктах 62 и 63 раздела E.1 с) преамбулы, суммарный расход из системы хранения сжиженного водорода транспортного средства может составлять, таким образом, 150 мл/мин для гаража объемом 30,4 м³. В случае компримированного газа может быть использован коэффициент пересчета $[(V_{\text{ширина}}+1)*(V_{\text{высота}}+0,05)*(V_{\text{длина}}+1)/30,4]$, который применим к различным возможным комбинациям “гараж/транспортное средство”, включая небольшие транспортные средства, которые могут стоять в гаражах меньшего размера.

167. До проведения этого испытания принудительно приводят в действие первичное устройство сброса давления, с тем чтобы подтвердить способность такого предохранительного устройства повторно сработать и обеспечить требуемую герметичность.

iii) *Обоснование требования в отношении потери вакуума по пункту 7.2.2.3 и процедуры испытания по пункту 7.4.2.3*

168. Для проверки надлежащего функционирования устройств сброса давления и соблюдения допустимых ограничений по давлению в системе хранения сжиженного водорода, указанных в разделе G.2 b) преамбулы и подтвержденных в пункте 7.2.2.3, резервуар подвергают резкой потере вакуума в результате подачи воздуха в вакуумный кожух, что рассматривается как “наихудший случай” сбоя. В отличие от попадания в вакуумный кожух водорода, подача в него воздуха ведет к гораздо более сильному нагреванию внутреннего корпуса резервуара в силу конденсации паров воздуха на холодных поверхностях и испарения находящейся в воздухе воды на горячих поверхностях вакуумного кожуха.

169. Первичное устройство сброса давления должно представлять собой предохранительный клапан повторного срабатывания, обеспечивающий прекращение стравливания водорода после ликвидации последствий сбоя. Для таких клапанов, согласно принятым в мире конструкционным стандартам, разрешается повышение давления между началом срабатывания и полной активацией в общей сложности на 10 % с учетом допустимых отклонений для определения самого момента срабатывания. Поскольку предохранительный клапан выставляют на давление не выше МДРД, давление в ходе имитации сбоя, на который реагирует первичное устройство сброса давления, не должно превышать 110 % МДРД.

170. Вторичное(ые) устройство(а) сброса давления не должно(ы) срабатывать в ходе имитации потери вакуума, на которую реагирует первичное предохранительное устройство, поскольку их активация может приводить к излишней нестабильности и необоснованному износу вторичных устройств. Для подтверждения безотказного функционирования устройств сброса давления, а также того, что второе предохранительное устройство срабатывает согласно требованиям пунктов 7.2.2.3 и 7.4.2.3, проводят второе испытание с заблокированным первичным устройством сброса давления. В данном случае могут использоваться либо предохранительные клапаны, либо разрывные мембраны, причем в ходе имитации потери вакуума допускается повышение давления до 136 % МДРД (если в качестве вторичного устройства сброса давления используется предохранительный клапан) или до 150 % МДРД (если в качестве вторичного предохранительного устройства сброса давления используется разрывная мембрана).

c) **Обоснование пункта 7.2.3 — Проверочное испытание на окончательный выход системы из строя**

171. Помимо снижения уровня вакуума или его потери, причиной возникновения в системах хранения сжиженного водорода избыточного давления может стать огонь; поэтому необходимо удостовериться в надлежащем функционировании предохранительных устройств сброса давления путем проведения испытания на огнестойкость.

d) **Обоснование проверки элементов оборудования СХСжВ по пункту 7.2.4 — устройство(а) сброса давления и запорные клапаны**

i) *Обоснование квалификационных требований к устройствам для сброса давления (СХСжВ) по пункту 7.2.4.1*

172. Соответствие квалификационным требованиям позволяет удостовериться, что конструкция устройства (устройств) обеспечивает ограничение по давлению в топливном резервуаре до заданных значений, причем даже при окончательном выходе системы из строя, в условиях перепада давления и колебания температур в результате наполнения/опорожнения, а также в условиях воздействия внешних факторов. Адекватность расхода применительно к конкретной комплектации проверяется согласно требованиям, предъявляемым к испытаниям системы хранения водорода на огнестойкость и на потерю вакуума (пункты 7.2.3 и 7.4.3).

ii) *Обоснование квалификационных требований к запорным клапанам (СХСЖВ) по пункту 7.2.4.2*

173. Указанные требования не имеют целью не допустить разработку и производство элементов оборудования (например, компонентов, выполняющих множественные функции), которые конкретно не предусмотрены настоящим стандартом, при условии, что такие альтернативы были учтены в ходе испытания соответствующих элементов оборудования. При рассмотрении альтернативной конструкции или процесса производства орган, проводящий испытание, оценивает используемые материалы или применяемые методы на предмет их эквивалентности требованиям в отношении эффективности, надлежащей надежности и безопасности, предъявляемым настоящим стандартом. В этом случае количество образцов и порядок применимых испытаний подлежат взаимному согласованию между изготовителем и проводящим испытание органом. Если не указано иное, все испытания проводят с использованием компримированной газовой смеси (например, воздушной или азотной), содержащей по меньшей мере 10 % гелия. Общее число рабочих циклов для автоматических запорных клапанов должно составлять 20 000 (испытательные циклы).

174. Перекрытие подачи топлива автоматическим запорным клапаном, устанавливаемым на резервуаре системы хранения сжиженного водорода, должно быть отказоустойчивым. Термин “отказоустойчивый” относится к устройству, которое способно перейти в безопасный режим или обеспечить безопасное полное отключение системы при всех предсказуемых случаях отказа.

175. Электрические испытания автоматического запорного клапана, устанавливаемого на резервуарах системы хранения сжиженного водорода, направлены на подтверждение его гарантированного срабатывания в следующих случаях: i) при превышении заданной температуры в результате увеличения напряжения и ii) при возможном пробое изоляции между силовым кабелем элемента оборудования и его корпусом.

3. Обоснование квалификационных требований к конструкции топливной системы транспортного средства (СЖН₂)

176. В настоящем разделе оговариваются требования в отношении целостности системы подачи водородного топлива, в которую входят система хранения сжиженного водорода, трубопроводы, соединения и элементы оборудования, по которым проходит водород. Эти требования дополняют требования, указанные в пункте 5.2; все они применяются к транспортным средствам с системами хранения сжиженного водорода, за исключением требований по пункту 2.1.1. На наклейке, помещаемой на заправочном блоке, в качестве вида топлива указывается сжиженный водород. Процедуры испытаний приводятся в пункте 7.5.

4. Обоснование процедур испытания СХСЖВ

177. Обоснование этих процедур испытаний охвачено в рамках обоснования требований к эффективности в разделах G.2 a) и G.2 b) преамбулы.

5. Обоснование пункта 7.5 (Процедура испытания для измерения послеаварийной концентрации для транспортных средств с системами хранения сжиженного водорода (СХСЖВ))

178. Как и в случае транспортных средств с системой хранения компримированного водорода, допустимо проведение непосредственного измерения концентрации водорода или соответствующего уменьшения содержания кислорода.

179. В случае использования для целей краш-теста сжиженного азота уровень концентрации гелия в пассажирском салоне, багажном и грузовом отделениях может измеряться в ходе испытания на герметичность, проводимого после столкновения. Можно определить предельный уровень концентрации гелия, который эквивалентен 4-процентной объемной концентрации водорода, однако данное соотношение необходимо скорректировать на разницу в температуре газа, используемого в СХСЖВ,

и температуре, при которой проводится испытание на утечку гелия, а также на различия в физических свойствах. Сжиженный водород хранится (и является текучим) при криогенных температурах ($-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ или 20 K), в то время как испытание на герметичность проводится приблизительно при комнатной температуре ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ или 293 K). В данном случае уравнения, приводимые в разделе F.1 a), могут быть использованы для соотнесения массового расхода гелия и водорода следующим образом:

$$W_{\text{He}} / W_{\text{H}_2} = C_{\text{He}} / C_{\text{H}_2} \times (M_{\text{He}} / M_{\text{H}_2})^{1/2} \times (T_{\text{H}_2} / T_{\text{He}})^{1/2},$$

а для соотнесения объемного расхода гелия и водорода следующим образом:

$$V_{\text{He}} / V_{\text{H}_2} = C_{\text{He}} / C_{\text{H}_2} \times (M_{\text{H}_2} / M_{\text{He}})^{1/2} \times (T_{\text{He}} / T_{\text{H}_2})^{1/2}.$$

Используемые термины определены в пункте А 5.2.1.1, причем применение вышеуказанного соотношения объемного расхода к системе, которая функционирует в криогенных условиях хранения топлива, но испытывается на герметичность при комнатной температуре и должна отвечать требованию в виде уровня объемной концентрации водорода внутри транспортного средства, не превышающего 4 %, дает показатель объемной концентрации для гелия, составляющий 0,8 %, который принимается в качестве допустимого значения для целей испытания на герметичность СХСЖВ после столкновения с учетом показателя утечки газа из системы.

а) Обоснование пункта 7.5.1: испытание на герметичность после столкновения — системы хранения сжиженного водорода (СХСЖВ)

180. Цель испытания состоит в том, чтобы удостовериться в наличии или отсутствии утечки из транспортных средств с СХСЖВ после краш-теста. При проведении краш-теста СХСЖВ заполняют либо сжиженным водородом (СЖН_2) до максимальной вместимости, либо сжиженным азотом (СЖN_2) до эквивалентного максимального уровня заполнения водородом по весу (соответствует примерно 8 % от максимального объема сжиженного водорода в СХСЖВ), в зависимости от того, какой сжиженный газ планируется использовать для краш-теста. Для моделирования веса топлива систему необходимо заполнить СЖN_2 примерно на 8 %; кроме того, перед началом краш-теста систему охлаждают и продувают с добавлением еще некоторого количества сжиженного азота. Если СХСЖВ может быть подвергнута осмотру после столкновения, то представляется целесообразным провести визуальный осмотр на предмет обнаружения неприемлемой послеаварийной утечки, как она определена в пункте 7.5.1.1. В случае использования стандартной испытательной жидкости средний диаметр образующихся пузырьков, как ожидается, будет составлять приблизительно 1,5 мм. При локальной скорости просачивания $0,005\text{ мг/с}$ (216 Нмл/ч) результирующая допустимая скорость образования пузырьков составляет примерно 2030 пузырьков в минуту. Утечка легко обнаруживается даже в случае образования пузырьков гораздо более крупного размера. Например, для пузырьков диаметром 6 мм допустимая скорость образования пузырей составляла бы примерно 32 пузырька в минуту, что является весьма консервативным критерием в условиях наличия доступа ко всем стыкам и уязвимым частям для проверки после столкновения.

181. Если проведение испытания на герметичность с проверкой на образование пузырьков не представляется возможным или желательным, может проводиться общее испытание на герметичность, позволяющее получить более объективные результаты. В этом случае применяют критерии утечки, аналогичные тем, которые были разработаны для транспортных средств с системами хранения компримированного водорода. Если говорить конкретно, то допустимая утечка водорода из СХСЖВ составляет 118 Нл/мин или $10,7\text{ г/мин}$. Утечка из СХСЖВ может происходить в газообразном, жидком или смешанном (двухфазном) состоянии. Утечка предполагается в газообразном состоянии, поскольку трубопроводы и запорные клапаны поднапорных систем в большей степени подвержены повреждению при столкновении, чем надежно изолированный резервуар СХСЖВ с двойной оболочкой. Тем не менее предписанные в настоящем документе послеаварийные испытания позволяют выявить мельчайшие зоны утечки и таким образом продемонстрировать приемлемость используемых методов даже в случае утечки в жидком состоянии.

Рассматривать возможность двухфазной утечки нет необходимости, поскольку расход будет меньше, чем при утечке в жидком состоянии.

182. Испытание на герметичность после столкновения по пункту 7.5.1.2.1 проводят с использованием гелия под давлением. Это испытание позволяет не только подтвердить приемлемость уровня утечки из СХСЖВ, но также допускает возможность одновременного проведения испытания на определение уровня концентрации гелия после столкновения, описанного в пунктах 144–146 раздела F.1 b) преамбулы. Испытание на утечку гелия проводят при комнатной температуре путем закачки в СХСЖВ гелия и доведения его до нормального рабочего давления. Давление гелия не должно достигать уровня, при котором срабатывают регулирующие устройства и УСД. Ожидается, что испытательное давление для гелия может составлять приблизительно 80 % МДРД.

Утечку водорода в жидком состоянии из системы рассчитывают при помощи следующего уравнения:

$$W_1 = C_d \times A \times (2 \times \rho_1 \times \Delta P_1)^{1/2} \quad \text{уравнение A.7.5.1-1,}$$

где W_1 — массовый расход, C_d — коэффициент общего расхода, A — площадь отверстия, ρ — плотность и ΔP_1 — разница в давлении между эксплуатируемой системой и атмосферой. Это уравнение рассчитано на несжимаемые субстанции, такие как вещества в жидком состоянии. Использование этого уравнения в данной ситуации дает весьма консервативные результаты, поскольку часть сжиженной субстанции при прохождении через отверстие утечки нередко “вспыхивает” (т. е. переходит в газообразное состояние), что ведет к снижению его плотности и, следовательно, к сокращению массового расхода.

Утечку газообразного гелия в ходе испытания на герметичность рассчитывают при помощи следующего уравнения:

$$W_{He} = C \times C_d \times A \times (\rho_{He} \times P_{He})^{1/2} \quad \text{уравнение A.7.5.1-2,}$$

где C_d и A определены выше, ρ и P — плотность и давление (в состоянии стагнации) жидкости в наднапорной части СХСЖВ. C рассчитывают следующим образом:

$$C = \gamma / ((\gamma + 1)/2)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \quad \text{уравнение A.7.5.1-3,}$$

где γ — соотношение удельного расхода теплоты для газообразного гелия, на утечку которого проводится испытание.

Поскольку C_d и A — константы с одними и теми же значениями для жидкого водорода, утечка которого происходит при эксплуатации СХСЖВ, и газообразного гелия, используемого в ходе испытания на герметичность, соотношение показателей утечки гелий–жидкий водород можно рассчитать следующим образом:

$$W_{He} / W_1 = C_{He} \times (\rho_{He} / \rho_1)^{1/2} \times (P_{He} / (2 \times \Delta P_1))^{1/2} \quad \text{уравнение A.7.5.1-4,}$$

объединив уравнения A.7.5.1-1 и A.7.5.1-2. Уравнение A.7.5.1-4 можно использовать для расчета массового расхода гелия в начале испытания под давлением, однако в ходе такого испытания давление будет падать, тогда как давление в эксплуатируемой СХСЖВ будет оставаться приблизительно постоянным до полного удаления всего сжиженного газа.

183. Для того чтобы точно определить допустимое снижение давления в ходе испытания на герметичность необходимо учесть изменение показателя расхода гелия по мере изменения давления. Поскольку плотность гелия (ρ_{He}) варьируется в зависимости от давления, массовый расход гелия в ходе испытания под давлением будет также линейно меняться в зависимости от давления, что отражает следующее уравнение:

$$W_t = P_t \times (W_{He}/P_{He}) \quad \text{уравнение A.7.5.1-5,}$$

где W_t и P_t — массовый расход гелия и его давление во время испытания под давлением, а W_{He} и P_{He} — исходные значения при испытании на герметичность.

Исходя из уравнения для идеального газа

$$P_t V = M_t \times R_g \times T \quad \text{уравнение A.7.5.1-6,}$$

где P_t — испытательное давление, V — объем СХСЖВ, M_t — масса СХСЖВ, R_g — константа газообразного гелия по массе, а T — температура СХСЖВ, расчет производной для уравнения 6 по времени дает следующее:

$$\partial P_t / \partial t = R_g \times T / V \times \partial M_t / \partial t \quad \text{уравнение A.7.5.1-7,}$$

где $\partial P_t / \partial t$ — изменение давления в ходе испытания под давлением с использованием гелия. Поскольку изменение массы газа в СХСЖВ ($\partial M_t / \partial t$) соответствует массовому расходу гелия в течение периода испытания (W_t), уравнение 5 для W_t может быть заменено на уравнение 7. После преобразования членов уравнение приобретает следующий вид:

$$\partial P_t / P_t = R_g \times T / V \times (W_{He} / P_{He}) \times \partial t = (W_{He} / M_{He}) \times \partial t \quad \text{уравнение A.7.5.1-8,}$$

где M_{He} — первоначальная масса гелия в СХСЖВ для испытания под давлением.

Интегрирование приведенных выше дифференциальных уравнений дает уравнения для определения допустимого давления в конце испытания на герметичность с использованием гелия и соответствующей допустимой потери давления в течение периода испытания. Такими уравнениями являются:

$$P_{\text{допустимое}} = P_{He} \times \exp(-W_{He} / M_{He} \times t_{\text{период}}) \quad \text{уравнение A.7.5.1-9}$$

и

$$\Delta P_{\text{допустимое}} = P_{He} \times (1 - \exp(-W_{He} / M_{He} \times t_{\text{период}})) \quad \text{уравнение A.7.5.1-10,}$$

где $t_{\text{период}}$ — период испытания.

184. Использование приведенных выше уравнений наилучшим образом можно проиллюстрировать на примере типичного пассажирского транспортного средства, на котором установлена СХСЖВ объемом 100 литров (л). В качестве исходного берется предположение, что основные параметры безопасности аналогичны тем же параметрам для системы хранения компримированного водорода. В частности, период испытания на герметичность составляет 60 минут, а средний показатель утечки H_2 равен 10,7 г/мин. Подстановка этих параметров дает в данном примере нижеследующие результаты.

Период послеаварийного испытания ($t_{\text{период}}$) = 60 минут

Допустимый показатель утечки сжиженного H_2 (W_1) = 10,7 г/мин = 118 Нл/мин газа после частичного возгорания

МДРД = 6 атм. (манометрическое) = 7 атм. (абсолютное)

Выбранные уровни давления для испытания с использованием гелия (ниже уровней, установленных для регуляторов давления) (P_{He}) = 5,8 атм. (абсолютное)

Коэффициент удельного расхода теплоты (k) для гелия = 1,66

S для гелия = 0,725 (из уравнения A.7.5.1-3)

Плотность гелия при начальном давлении в ходе испытания = 0,956 г/л

Плотность сжиженного водорода = 71,0 г/л

Падение давления при утечке сжиженного водорода (ΔP_1) = 5,8 атм. — 1 атм. = 4,8 атм.

Соотношение утечки гелий-сжиженный H_2 по массе (W_{He} / W_1) = 0,0654

Допустимая первоначальная утечка гелия (W_{He}) = 0,70 г/мин = 3,92 Нл/мин

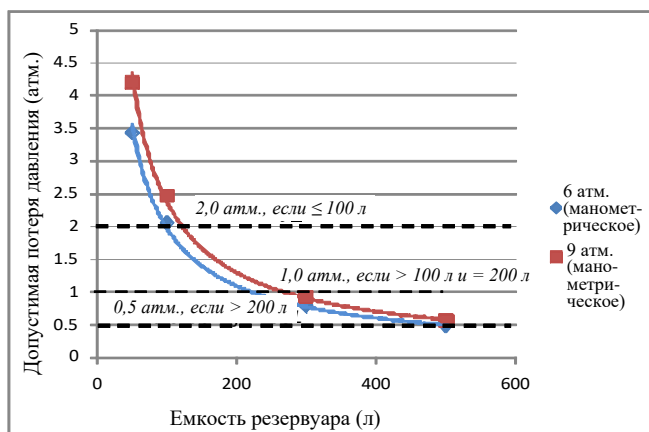
Первоначальная масса гелия в СХСЖВ, подвергаемой испытанию (M_{He}) = 95,6 г
(из уравнения A.7.5.1-6)

Допустимое снижение давления гелия ($\Delta P_{\text{допустимое}}$) = 2,06 атм.
(из уравнения A.7.5.1-10)

185. В приведенном выше примере показано, каким образом данные уравнения могут быть использованы для определения показателя снижения давления гелия в течение 60 минут испытания на герметичность. Расчеты были повторены для резервуаров наиболее вероятного объема (50–500 л) и типичного давления в них (6–9 атм., манометрическое), с тем чтобы определить, как показатель допустимого падения давления реагирует на изменение ключевых параметров (см. рис. 37). Поскольку допустимое падение давления превышает 0,5 атм. (и обычно значительно) для всех вероятных размеров резервуаров, то в целях упрощения проведения испытания на герметичность и определения критериев успешного прохождения испытания было решено использовать для всех резервуаров объемом более 200 литров простой критерий в 0,5 атм. Аналогичным образом критерий в 2 атм. Был принят для резервуаров объемом не более 100 литров, а критерий в 1 атм. — для резервуаров объемом более 100 литров, но не более 200 литров.

Рис. 37

Допустимая потеря давления в ходе испытания на герметичность СХСЖВ



186. Хотя указанная методика предусматривает проведение непосредственного испытания, дающего объективный результат на основе обычно используемого типа испытания, следует отметить, что в данном случае используется весьма консервативный критерий, поскольку эта методика предполагает утечку в жидком состоянии, а не более вероятную газообразную утечку через трубопроводы и клапаны в поднапорную систему резервуара СХСЖВ. Например, скорость утечки газообразного водорода может быть определена на основе уравнения A.7.5.1-2, при этом полученное соотношение допустимой утечки газообразного гелия и газообразного водорода в 5,14 раз выше показателя, который получен при расчетах предполагаемой утечки сжиженного водорода.

Н. Национальные предписания в отношении совместимости материалов (включая водородное охрупчивание) и соответствие производства

1. Совместимость материалов и водородное охрупчивание

187. Подгруппа ПГБ признала важность требований в отношении совместимости материалов и водородного охрупчивания и приступила к работе над этими аспектами. Соответствие материалов предъявляемым квалификационным требованиям обеспечивает неизменное применение изготовителями материалов, прошедших надлежащую сертификацию для целей использования в системах хранения водорода и отвечающих конструкционным спецификациям изготовителей. Однако ввиду

ограничений по времени, а также в силу иных проблем стратегического и технического характера договоренности на этапе 1 достигнуто не было. Поэтому рабочая группа ПГБ рекомендовала Договаривающимся сторонам продолжать применять свои национальные предписания в отношении совместимости материалов и водородного охрупчивания, равно как рекомендовала перенести рассмотрение соответствующих требований на этап 2 деятельности по разработке ГТТ ООН.

188. На этапе 2 эксперты по совместимости материалов от национальных лабораторий и научных кругов стремились добиться стандартизации методов подбора материалов для использования в водородной среде под высоким давлением. Их цель заключалась в разработке подходов к испытанию на основе эксплуатационных характеристик, согласующихся с требованиями в отношении ТСВТЭ. Результатом стала серия из испытаний (включая набор предъявляемых к ним требований) на наработку до усталостного разрушения и на растяжение при малой скорости деформации (РМСД), которые описаны в разделе М. Кроме того, как было установлено японскими экспертами, некоторым алюминиевым сплавам присуще коррозионное растрескивание под воздействием влажного газа (КР-ВГ). Поэтому ими был разработан метод испытания для оценки материалов, характеризующихся повышенной подверженностью КР-ВГ, который отражен в разделе N. В будущем — в порядке дальнейшего расширения ассортимента материалов, которые могут применяться в водородных системах высокого давления, — оба этих комплекса испытаний намечается использовать для оценки безопасности материалов в плане их стойкости к водородному охрупчиванию и КР-ВГ.

2. Национальные требования, дополняющие требования ГТТ ООН

189. Квалификационными требованиями в отношении эффективности (пункт 5) предусматриваются требования, которым должны отвечать системы хранения водорода на предмет их эксплуатации в дорожных условиях. Целью согласования требований, закрепленных в различных глобальных технических правилах Организации Объединенных Наций, является создание возможности разработки транспортных средств, которые могут эксплуатироваться во всех Договаривающихся сторонах, за счет обеспечения единообразного соблюдения и достигаемого благодаря этому глобального эффекта масштаба. Поэтому маловероятно, что требования в отношении официального утверждения типа будут выходить за рамки требований, предусматривающих обеспечение соответствия производства и проведение связанных с этим проверок свойств материалов (включая требования в отношении приемлемости материала с точки зрения водородного охрупчивания).

I. Темы для рассмотрения на следующем этапе разработки ГТТ ООН, касающихся транспортных средств, работающих на водороде

190. Поскольку водородные транспортные средства и технологии топливных элементов находятся на начальных стадиях коммерческого внедрения, ожидается, что опыт достаточно продолжительной практической эксплуатации в дорожных условиях и проводимые технические оценки внесут в эти предписания соответствующие коррективы. Кроме того, ожидается, что с учетом накопленного дополнительного опыта и при наличии дополнительного времени для более обстоятельного технического анализа требования, указанные в настоящем документе (раздел G преамбулы, касающийся транспортных средств с системами СХСЖВ) как факультативные, могут быть утверждены — с соответствующими изменениями — в качестве обязательных.

191. Ожидается, что в число основных тем для рассмотрения на этапе 3 войдут следующие:

- a) требования в отношении совместимости материалов и водородного охрупчивания;
- b) требования к заправочному блоку;

- c) оценка процедуры предложенного на этапе 1 испытания на разрушение под действием длительной нагрузки на основе эксплуатационных характеристик;
- d) анализ результатов исследований, полученных по завершении этапа 2, с особым акцентом на исследования в области систем хранения водорода и послеварийной безопасности;
- e) обзор вариантов, оставляемых на усмотрение ДС, в порядке обеспечения дальнейшего согласования;
- f) требования в отношении целостности топливной системы (тщательное изучение аспектов испытания на ускорение/салазочного испытания применительно ко всем категориям и испытания на боковой удар для ТСБГ, предложенных ЕК и Кореей соответственно);
- g) пересмотр раздела 7 “Транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода”;
- h) усовершенствование процедур испытания на огнестойкость (учет результатов межлабораторных испытаний, критерии жаропрочности резервуаров и т. д.);
- i) усовершенствование процедур испытаний (вопросы оценки рисков, связанных с заправочными станциями, УСДТ с дистанционным управлением и т. д.).

192. Будет рассмотрена нижеследующая процедура испытания на разрушение под действием длительной нагрузки.

- a) Испытанию на разрушение в результате разрыва подвергают три резервуара, изготовленных из новых материалов (например, армированного волокнами композитного полимера); давление разрыва должно находиться в пределах $\pm 10\%$ среднего давления разрыва (BP_0) для намечаемого способа применения. Затем
 - i) три резервуара выдерживают при давлении $>80\%$ BP_0 и температуре $65 (\pm 5) ^\circ\text{C}$; в течение 100 часов на них не должно наблюдаться признаков разрушения; регистрируют время до разрушения;
 - ii) три резервуара выдерживают при давлении $>75\%$ BP_0 и температуре $65 (\pm 5) ^\circ\text{C}$; в течение 1000 часов на них не должно наблюдаться признаков разрушения; регистрируют время до разрушения;
 - iii) три резервуара выдерживают при давлении $>70\%$ BP_0 и температуре $65 (\pm 5) ^\circ\text{C}$; в течение одного года на них не должно наблюдаться признаков разрушения;
 - iv) по истечении одного года испытание прекращают. Каждый резервуар, выдержавший без разрушения одногодичный испытательный период, подвергают испытанию на разрыв, и регистрируют давление разрыва.
- b) Диаметр резервуара должен составлять $>50\%$ диаметра резервуара для намечаемого способа применения и имеющего аналогичную конструкцию. Резервуар может иметь наполнение (для уменьшения внутреннего объема), если свободной остается $>99\%$ площади внутренней поверхности.
- c) Резервуары, изготовленные из композитных материалов на основе углеродного волокна и/или металлических сплавов, освобождаются от проведения данного испытания.

- d) Резервуары, изготовленные из композитных материалов на основе стекловолокна, для которых исходное давление разрыва >350 % НРД, освобождаются от проведения данного испытания; в этом случае исходят из $VP_{\min} = 350$ % НРД применительно к пункту 5.1.1.1 (базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров).
- e) В настоящее время имеются углеродно-волоконные резервуары с защитным покрытием из стекловолокна, которые в ряде случаев позволяют добиться примерно 2-процентного увеличения давления разрыва. В этом случае надлежит продемонстрировать методом расчетов и т. д., что использование углеродного волокна, но без стекловолокна, позволяет обеспечить давление, превышающее не менее чем в два раза максимальное давление наполнения. При наличии возможности продемонстрировать, что использование защитного покрытия из стекловолокна дает увеличение давления разрыва на уровне 2 % или ниже и если давление разрыва составляет 225 % НРД $\times 1,02 = 230$ % НРД или выше, то указанные расчеты можно не производить.

J. Действующие правила, директивы и международные стандарты

193. Ниже перечислены действующие национальные правила и стандарты, а также международные стандарты, относящиеся к настоящим ГТП ООН.

1. Целостность топливной системы транспортного средства

a) Национальные правила и директивы:

- a) Европейский союз: Регламент (ЕС) 2019/2144 по общей безопасности, приложение II, пункт A17 “Водородная безопасность” (отсылка к Правилам № 134 ООН) и пункт A18 “Квалификационные требования к материалам, используемым в системе хранения водорода” (отсылка к Исполнительному регламенту Комиссии (ЕС) 2021/535);
- b) Европейский союз: Исполнительный регламент Комиссии (ЕС) 2021/535, приложение XIV “Совместимость материалов и заправочный блок системы хранения водорода”;
- c) Япония: статья 17 и приложение 17 правил безопасности — Технический стандарт на утечку топлива при столкновении;
- d) Япония: Приложение 100 — Технический стандарт на топливные системы механических транспортных средств, работающих на сжатом газообразном водороде;
- e) Канада: Стандарт на безопасность автотранспорта (CMVSS) 301.1 — Целостность топливной системы;
- f) Канада: Стандарт на безопасность автотранспорта (CMVSS) 301.2 — Транспортные средства, работающие на КПП;
- g) Корея: Стандарт на безопасность автотранспортных средств, статья 17 и статья 91 — Целостность топливной системы;
- h) Соединенные Штаты: Федеральный стандарт на безопасность автотранспорта (FMVSS) № 301 — Целостность топливной системы;
- i) Соединенные Штаты: FMVSS № 303 (1995 год) — Целостность топливной системы транспортных средств, работающих на сжатом природном газе.

b) Национальные и международные стандарты:

- a) ISO 17268:2020: Соединительные устройства для заправки наземных транспортных средств газообразным водородом;

- b) ISO 23273:2013: Дорожные транспортные средства на топливных элементах — требования безопасности — защита от опасностей, связанных с водородом, в транспортных средствах, работающих на сжатом водороде;
- c) ISO 14687:2019: Качество водородного топлива — спецификация на продукцию;
- d) ISO 19880-8:2019: Газообразный водород — заправочные станции — Часть 8: контроль за качеством топлива;
- e) ISO 19880-1:2020: Газообразный водород — заправочные станции — Часть 1: общие требования;
- f) ISO 19881:2018: Газообразный водород — топливные резервуары наземных транспортных средств;
- g) ISO 19882:2018: Газообразный водород — водород — предохранительные устройства сброса давления, срабатывающие под воздействием тепла, для топливных резервуаров транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- h) SAE J2578_201408: Рекомендованная практика обеспечения общей безопасности транспортных средств, работающих на топливных элементах;
- i) SAE J2600_201510: Соединительные устройства для заправки наземных транспортных средств сжатым водородом;
- j) SAE J2601_202005: Регламент по заправке наземных транспортных средств малой грузоподъемности, работающих на газообразном водороде;
- k) SAE J2799_201912: Аппаратные и программные требования для беспроводной связи между наземным транспортным средством, работающим на водороде, и заправочной станцией;
- l) SAE J2719_202003: Качество водородного топлива для транспортных средств на топливных элементах;
- m) Китай: GB/T 24548-2009 — Электромобили, работающие на топливных элементах — терминология;
- n) Китай: GB/T 24549-2020 — Электромобили, работающие на топливных элементах — требования безопасности;
- o) Китай: GB/T 24554-2009 — Методы испытания на эффективность для двигателей, работающих на топливных элементах;
- p) Китай: GB/T 26779-2021 — Заправочный блок электромобилей, работающих на водородных топливных элементах;
- q) Китай: GB/T 26990-2011 — Электромобили, работающие на топливных элементах — бортовая система хранения водорода — технические требования;
- r) Китай: GB/T 26991-2011 — Электромобили, работающие на топливных элементах — максимальная скорость — метод испытания;
- s) Китай: GB/T 29123-2012 — Технические требования к демонстрационным транспортным средствам на водородных топливных элементах;
- t) Китай: GB/T 29124-2012 — Технические требования к объектам для демонстрации транспортных средств, работающих на водородных топливных элементах;
- u) Китай: GB/T 29126-2012 — Электромобили, работающие на топливных элементах — бортовая система хранения водорода — методы испытания;
- v) Китай: GB/T 34425-2017 — Электромобили, работающие на топливных элементах — пистолет для заправки водородом;
- w) Китай: GB/T 34593-2017 — Методы испытания на выброс водорода из двигателей, работающих на топливных элементах;

- x) Китай: GB/T 35154-2018 — Методы испытания на выброс водорода электромобилями, работающими на топливных элементах;
- y) Китай: GB/T 35178-2017 — Электромобили, работающие на топливных элементах — расход водорода — методы испытания;
- z) Китай: GB/T 36288-2018 — Требования к безопасности батареи топливных элементов электромобилей, работающих на топливных элементах;
- aa) Китай: GB/T 39132-2020 — Программа оценки и утверждения конструкции электромобилей, работающих на топливных элементах;
- ab) Китай: QC/T816-2009 — Технические требования к мобильным автозаправщикам водородом.

2. Система хранения

a) Национальные правила и директивы:

- a) (вошел составной частью в стандарт TSG23-2021)
- b) Китай: TSG23-2021 — Правила по технологии обеспечения безопасности газовых баллонов;
- c) Япония: JARI S001 (2004 год) — Технический стандарт на резервуары топливной системы транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- d) Япония: JARI S002 (2004 год) — Технический стандарт на компоненты топливной системы транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- e) Япония: КНК 0128 (2010 год) — Технический стандарт на топливные резервуары транспортных средств, работающих на сжатом водороде, с максимальным давлением заправки до 70 МПа;
- f) Япония: JARI S003 (2018 год) — Технический стандарт на бесшовные резервуары топливной системы транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- g) Япония: приложение 11 к Циркуляру о действии стандартов функциональности в контексте нормативных положений по безопасности резервуаров “Толкование технических стандартов на допущенные к международному использованию резервуары для сжатого водорода, применяемые в топливной системе автомобилей”;
- h) Япония: приложение 12 к Циркуляру о действии стандартов функциональности в контексте нормативных положений по безопасности резервуаров “Толкование технических стандартов на допущенные к международному использованию элементы оборудования для сжатого водорода, применяемые в топливной системе автомобилей”;
- i) Корея: Закон о контроле за безопасностью газа высокого давления;
- j) Корея: Публичное уведомление о стандарте по безопасности систем хранения топлива для автотранспортных средств;
- k) Соединенные Штаты: FMVSS 304 (2022 год) — Целостность топливного резервуара для сжатого природного газа;
- l) Европейский союз: Исполнительный регламент Комиссии (ЕС) 2021/535, приложение XIV “Совместимость материалов и заправочный блок системы хранения водорода”.

b) Национальные и международные стандарты:

- a) CSA B51:19: Кодекс требований в отношении котлов, емкостей высокого давления и трубопроводов высокого давления;

- b) CSA/ANSI HGV 2:21: Топливные резервуары транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- c) CSA/ANSI NGV 2:19: Топливные резервуары транспортных средств, работающих на сжатом природном газе;
- d) CSA/ANSI HPRD 1:21: Устройства сброса давления, срабатывающие под воздействием тепла, для топливных резервуаров транспортных средств, работающих на сжатом водороде;
- e) CSA/ANSI HGV 3.1-2015 (в редакции 2019 года): Компоненты топливной системы транспортных средств, работающих на газообразном водороде;
- f) ISO 13985:2006: Сжиженный водород — топливные баки наземных транспортных средств;
- g) ISO 15869:2009: Газообразный водород и водородные смеси — топливные баки наземных транспортных средств (технические характеристики);
- h) ISO 19881:2018: Газообразный водород — топливные резервуары наземных транспортных средств;
- i) SAE J2579_201806: Стандарт для топливных систем транспортных средств на топливных элементах и других водородных транспортных средств;
- j) Китай: QC/T 816-2009 — Транспортные средства, работающие на водороде и управляемые водородом — технические требования.

К. Выгоды и затраты

194. На первом этапе в ГТП ООН не делается попытки оценить соответствующие затраты и выгоды в количественном выражении. Хотя целью разработки ГТП ООН является стимулирование увеличения рыночной доли ТСВТЭ, все же темпы и масштабы их проникновения на рынок в настоящее время точно не известны или не поддаются оценке. Поэтому проведение количественного анализа затрат-выгод не представлялось возможным.

195. Как ожидается, увеличение рыночной доли ТСВТЭ будет сопряжено с определенными расходами. Например, строительство инфраструктуры, необходимой для превращения ТСВТЭ в жизнеспособную альтернативу обычным транспортным средствам, повлечет за собой значительные инвестиционные затраты, которые — в зависимости от страны — лягут на частный или государственный сектор. Индивидуальным покупателям ТСВТЭ, вероятно, также придется столкнуться с более высокими затратами по сравнению с покупателями обычных бензиновых или дизельных автомобилей, особенно в первые годы продаж; то же самое касается изготовителей новых ТСВТЭ (вместе с тем расходы, которые понесут покупатели и изготовители ТСВТЭ, по сути, носят добровольный характер, поскольку они не будут связаны с ограничением свободы выбора на рынке).

196. Несмотря на ожидаемые определенные затраты, Договаривающиеся стороны полагают, что выгоды от разработки ГТП ООН скорее всего значительно перевешивают издержки. Как предполагается, широкое применение ТСВТЭ, подкрепленное созданием необходимой инфраструктуры для заправки топливом, приведет к сокращению на дорогах числа бензиновых и дизельных транспортных средств, что должно способствовать уменьшению глобального потребления ископаемых видов топлива¹. Наиболее примечательным является, возможно, то, что связанное с широким использованием ТСВТЭ сокращение выбросов парниковых газов и основных загрязняющих веществ (например, NO₂, SO₂ и взвешенных частиц), как

¹ К числу потенциальных возобновляемых источников водорода относятся электролиз, высокотемпературное разложение воды, термохимическая конверсия биомассы, фотолитические и ферментативные системы на базе микроорганизмов и фотоэлектрические системы. См. <http://www.hydrogen.energy.gov/production.html> (последний доступ 24 августа 2011 года).

ожидается, приведет со временем к существенным выгодам для общества в виде смягчения последствий изменения климата и уменьшения расходов, обусловленных воздействием транспорта на здоровье человека. Следствием разработки ГТП ООН может также стать снижение расходов по заправке для операторов ТСВТЭ, поскольку водород в принципе может производиться практически в неограниченных количествах, причем его производство, как ожидается, станет более рентабельным, нежели добыча нефти и ее переработка в топливо для обычных транспортных средств. Кроме того, снижение спроса на нефтепродукты, по всей вероятности, повлечет за собой выгоды в плане энергетической и национальной безопасности для тех стран, которые перейдут на широкомасштабное использование ТСВТЭ, вследствие снижения зависимости от иностранных поставок нефти². Следует добавить, хотя это и не входит в задачу настоящих ГТП ООН, что их разработка может дать выгоды в плане содействия соблюдению ИОО применимых стандартов, касающихся экономии топлива и выбросов парниковых газов, за счет стимулирования более широкого производства и использования ТСВТЭ.

197. Договаривающимся сторонам не удалось также оценить непосредственное воздействие ГТП ООН на занятость. Формирование нового рынка новаторских конструкторских решений и инновационных технологий, имеющих отношение к ТСВТЭ, может дать существенные выгоды с точки зрения занятости для тех стран, которые будут связаны с производством ТСВТЭ. С другой стороны, сокращение рабочих мест, обусловленное снижением объемов производства обычных транспортных средств, может свести эти выгоды на нет. Строительство и модернизация инфраструктуры, необходимой для производства и хранения водорода, по всей вероятности, в обозримом будущем могут способствовать расширению рынка труда.

L. Соображения относительно эксплуатационной совместимости

1. Основные элементы эксплуатационной совместимости

198. Безопасность процесса заправки транспортного средства, работающего на водороде, зависит от надежности и правильности функционирования водородной топливораздаточной колонки и работы блоков управления водородной заправочной станции (ВЗС). Поэтому важно заострить внимание на аспектах, имеющих решающее значение для уяснения характера и учета необходимости обеспечения эксплуатационной совместимости между ВЗС и транспортным средством на водородном топливе.

199. На рис. 38 ниже приводится пример, на котором показаны основные элементы топливораздаточной колонки заправочной станции, а также автомобильная система хранения водорода под высоким давлением, включающая, среди прочего, заправочный блок и системы хранения сжатого водорода (СХКВ) с датчиками и устройством(ами) сброса давления. Для защиты от избыточного давления в результате возгорания СХКВ оборудована предохранительным(и) устройством(ами) сброса давления, срабатывающим(и) под воздействием тепла. Что касается самой станции, то процесс заправки (с соблюдением надлежащего регламента по заправке, в частности установленного стандартом SAE J2601) регулируется посредством автоматизированной системы управления подачей топлива (например, через контроллер с программируемой логикой), равно как предусмотрены процедуры выявления и устранения неисправностей. Кроме того, для защиты топливораздаточной колонки и транспортного средства от избыточного давления заправочная станция оборудуется средствами защиты от барических перегрузок, такими как устройства сброса давления или эквивалентные им устройства.

² Все возобновляемые источники водорода, указанные в сноске [1], обеспечены национальными производственными мощностями. К числу других отечественных источников могут относиться природный газ, атомная энергия и уголь.
См. <http://www.hydrogen.energy.gov/production.html> (последний доступ 24 августа 2011 года).

Рис. 38

Пример с указанием основных элементов топливораздаточной колонки заправочной станции, включая автомобильную систему хранения водорода под высоким давлением



200. Конструкцией топливораздаточной колонки заправочной станции общего пользования для транспортных средств малой грузоподъемности, как правило, предусмотрены отдельные заправочные пистолеты, рассчитанные на номинальное рабочее давление 35 МПа и/или 70 МПа. Заправочный пистолет раздаточной колонки может иметь связной приемник, а транспортное средство может оснащаться связным передатчиком (например, предусмотренные стандартом SAE J2799). Автомобильная система передачи данных в инфракрасном диапазоне (стандарт IrDA) может использовать протокол SAE J2799 для передачи информации о температуре и давлении в автомобильной системе хранения компримированного водорода на приемник раздаточной колонки. Контроллер топливораздаточной колонки может использовать эти данные для регулируемого управления процессом заправки.

201. Подробные руководящие указания по общим требованиям, предъявляемым к эксплуатационной совместимости ВЗС с работающими на водороде транспортными средствами, отвечающими предписаниям ГТП № 13 ООН, приводятся в стандарте ISO 17268:2020 или SAE J2600_201510, касающемся соединительных устройств для заправки наземных транспортных средств, и в стандарте ISO 19880-1:2020 по станциям заправки газообразным водородом. Предполагается, что в процессе заправки водородного транспортного средства, отвечающего требованиям ГТП № 13 ООН, на ВЗС, соответствующей стандарту ISO, будет соблюдаться тот же регламент заправки.

2. Описание стандарта SAE J2601

202. Стандартом SAE J2601 предписывается регламент по заправке водородом транспортных средств малой грузоподъемности, отвечающих требованиям ГТП № 13 ООН, и устанавливаются соответствующие технологические ограничения.

203. В основу предусматриваемых SAE J2601 протоколов заправки положен набор граничных и исходных условий, учитывающих конструкцию СХКВ, которыми оснащаются современные транспортные средства малой грузоподъемности, а также оборудование автомобиля и заправочной станции конкретными устройствами для подачи топлива, влияющими на процесс наполнения.

204. Установленным SAE J2601 регламентом по заправке предусматривается либо подход на базе справочных таблиц с использованием фиксированного перепада порогового давления, либо формульный подход с использованием скользящего перепада порогового давления, рассчитываемого непрерывно на протяжении процесса наполнения. Протоколом на базе справочных таблиц устанавливается конкретное заданное значение конечного давления заправки, тогда как в случае формульного

протокола расчет такого значения производится непрерывно. Обоими протоколами допускается возможность заправки с беспроводной передачей данных или без такой передачи. В случае заправки с беспроводной передачей данных стандарт SAE J2601 используется в сочетании со стандартом SAE J2799.

205. Применительно к водородным станциям, предназначенным для заправки транспортных средств большой грузоподъемности, действует стандарт SAE J2601-2.

3. Беспроводная связь между транспортным средством и заправочной станцией

206. Использование беспроводной связи между транспортным средством и заправочной станцией позволяет оптимизировать процесс заправки за счет передачи на топливораздаточную колонку такой — в противном случае недоступной ей — информации о заправляемой СХКВ, как номинальное рабочее давление СХКВ (например, Н70, Н35), объем СХКВ, давление и температура газа в СХКВ. Она также обеспечивает подачу командного сигнала на заправку, по которому топливораздаточная колонка распознает “готовность к наполнению” или прерывает операцию заправки. Хотя эти данные и обеспечивают дополнительный уровень безопасности, они не служат для целей непосредственного регулирования процесса заправки, поскольку не установлены требования по надежности показаний, снимаемых с транспортного средства, и канала связи. Согласно SAE J2601, данные, передаваемые на заправочную станцию, можно использовать для вторичного подтверждения номинального рабочего давления СХКВ, для определения объема системы, а также установления момента завершения наполнения исходя из заданной СЗ 95–100 %. Передаваемые данные не влияют на перепад порогового давления, на который запрограммирована раздаточная колонка; для СХКВ определенного объема его величина остается неизменной вне зависимости от того, производится ли заправка с беспроводной передачей данных или без такой передачи.

207. Стандартом SAE J2799 предусмотрена однонаправленная связь с проверкой на возникновение ошибок, позволяющей выявлять сбои при передаче данных. В случае обнаружения достаточно серьезной ошибки обмена данными или потери связи контроллер топливораздаточной колонки либо переключается на режим работы “без связи”, либо прекращает операцию заправки.

4. Аттестация протокола заправки и средств беспроводной связи между транспортным средством и заправочной станцией

208. Аттестация заправочной станции имеет важное значение для подтверждения правильности применения на ней протокола заправки и средств беспроводной связи между транспортным средством и заправочной станцией. Такая аттестация может проводиться в рамках заводских приемо-сдаточных испытаний, приемо-сдаточных испытаний на объекте или путем сочетания тех и других. При аттестации заправочных станций, спроектированных с учетом требований SAE J2601 и SAE J2799, надлежит руководствоваться утвержденным аттестационным стандартом, таким как CSA/ANSI HGV 4.3, HYSUT-G 0003 или “Регламент ПЧЭ по аттестационным испытаниям водородных заправочных станций”.

209. Аттестация протокола заправки имеет целью удостовериться, что раздаточная колонка:

- a) обеспечивает правильный отклик на параметры управления;
- b) надлежащим образом срабатывает при нарушении технологического режима;
- c) в состоянии обеспечить определенный уровень производительности заправки (т. е. завершение заправки без выхода за пределы технологических ограничений при наполнении СХКВ до приемлемой итоговой СЗ).

210. Аттестация средств беспроводной связи между транспортным средством и заправочной станцией имеет целью удостовериться, что раздаточная колонка:

- a) получает и правильно считывает переданные данные;
- b) обеспечивает надлежащий отклик на данные, значения которых выходят за допустимые пределы;
- c) обеспечивает надлежащий отклик на пакеты ложных данных;
- d) обеспечивает надлежащий отклик на данные, указывающие на необходимость прекращения операции наполнения:
 - i) поступление команды на “прерывание” заправки;
 - ii) температура газа в СХКВ достигает значения, составляющего не менее 85 °С;
 - iii) заполнение СХКВ до $C3 \geq 100 \%$.

М. Оценка материалов для использования в водородной среде

1. Введение

211. Характер предъявляемых к эффективности требований (пункт 5) свидетельствует о способности системы хранения водорода, смонтированной на платформе транспортного средства, выполнять важнейшие функции на протяжении всего срока службы. В силу ограничений практического свойства эксплуатационными испытаниями не предусматривается испытание на циклическое изменение давления водорода до момента окончательного выхода резервуара из строя. Поскольку в газообразной водородной среде усталостные свойства материалов ухудшаются, налицо потенциальный пробел в плане оценки усталостных характеристик материалов, подвергающихся большому числу циклов напряжений (>500) в газообразном водороде. Разработанная методика оценки материалов для использования в водородной среде предназначена для проверки материалов на их усталостные свойства в газообразном водороде, причем именно в контексте применения на транспортных средствах и с учетом прогнозируемого срока службы последних.

212. Насколько известно, при сопутствующем воздействии газообразным водородом структурные свойства металлов ухудшаются. И если прочность металлов на растяжение в целом не изменяется, то наличие водородной среды негативно сказывается на пластичности, устойчивости к растрескиванию и усталостных свойствах. Применительно к типам элементов оборудования, используемых на транспортных средствах, и условиям их эксплуатации основное значение приобретают обусловленные воздействием водорода признаки усталостной деградации и хрупкость. Если соответствующие режимы неисправности бортовой системы хранения водорода охватываются требованиями к эффективности по пункту 5, то требований, предъявляемых к пневматическим испытаниям, недостаточно для полного учета и оценки усталостных свойств материалов в газообразной водородной среде. В настоящем разделе приводится описание метода испытания, проводимого с целью проверки металлов на достаточную наработку до усталостного разрушения в газообразном водороде под воздействием соответствующих прилагаемых нагрузок и при наиболее неблагоприятных условиях окружающей среды. Указаны критерии оценки результатов испытания, призванные удостовериться, что используемые в конструкции материалы являются подходящими для бортовой системы хранения водорода, имеющей ограниченный ресурс наработки до усталостного разрушения.

2. Обоснование подбора материалов (пункт 220)

213. Подлежащие испытанию материалы должны соответствовать материалам, которые используются в процессе производства, и, соответственно, подбираться исходя из их технических характеристик (спецификации на базе общедоступного стандарта либо защищенного правом собственности стандарта предприятия) и с учетом колебаний компонентного состава, а также минимальных механических

свойств при растяжении (предел текучести (S_y), прочность на растяжение (S_u) и относительное удлинение при растяжении (E_l)). Величины допустимого расчетного напряжения нередко определяют на основе нормативных минимальных прочностных свойств материала, тогда как относительное удлинение позволяет провести качественную оценку стойкости к повреждениям. Подтверждением правильности подбора материала могут служить заводской сертификат качества или результаты испытания, проведенного (либо заказанного) конечным потребителем. Проверочные испытания проводят в лабораторном термостате. Для целей данного функционального подхода предполагается, что материалы довольно нечувствительны к таким переменным свойствам материала, как, например, состав.

214. Метод соединения должен выверяться по техническим условиям на процедуру сварки (ТУС), предусматривающим требования, аналогичные предъявляемым к подбору материалов (особенно в плане механических свойств, хотя значения могут быть иными: $S_y(w)$, $S_u(w)$ и $E_l(w)$). Это служит гарантией того, что свойства сварного материала известны, а минимальные требования определены. Оценка сварной конструкции проводят в газообразной водородной среде по той же процедуре, что и в случае основных материалов, с использованием испытательных образцов, вырезанных — когда это возможно — из сварной конструкции (либо репрезентативного испытательного образца, также отобранного с учетом ТУС); задачей оценки является удостовериться, что соединение отвечает установленным требованиям. Механические свойства металлургического соединения зависят от технологии сварки и конфигурации представленных на испытание образцов со сварным швом. От материалов, способа и условий сварки также зависит степень воздействия водорода на соединение.

3. Обоснование условий проведения испытания на воздействие внешних факторов (пункт 221)

215. Обоснование степени чистоты газа. Наличие даже небольшого количества газовых примесей (особенно кислорода) способно значительно повлиять на измеряемые в газообразном водороде свойства материала. Кислород (и другие химические элементы) может адсорбироваться на поверхности испытательного образца, препятствуя на протяжении отведенного для испытания времени пенетрации атомов водорода. Если в случае испытаний на прочность при растяжении и наработку до усталостного разрушения влияние примесей не было обстоятельно изучено, то результаты испытаний на разрастание усталостных трещин свидетельствуют о безусловном влиянии кислорода на скорость роста трещин (Б. П. Сомердей, П. Софронис, К. А. Найбур, К. Сан-Марчи и Р. Кирхгайм “Выявление факторов, влияющих на ускоренное разрастание усталостных трещин в стальных сплавах под воздействием газообразного водорода при низких концентрациях кислорода”. Журнал “Acta Mater” № 61 (2013 год), стр. 6153–6170 английского текста). Для сведения влияния примесей к минимуму надлежит тщательно продувать зону испытания, с тем чтобы удалить окружающий воздух. Нередко оказывается, что тестовая среда и анализируемый газ не настолько “очищены”, как исходный газ. Поэтому необходимо периодически производить замеры параметров испытательного газа с целью удостовериться в адекватности осуществляемой методом продувки очистки. Проверку качества испытательного газа проводят не реже одного раза в 12 месяцев в соответствии со стандартной практикой проверки датчиков испытательных комплексов. Поскольку продувка не в состоянии обеспечить полное удаление кислорода и влаги, в таблице 6 приводятся допуски на дополнительные примеси (относительно исходного газа). Требования, указанные в таблице 6, согласуются с требованиями стандарта CSA/ANSI CHMC 1 (Методы испытаний для оценки совместимости материалов с компримированным водородом в различных областях его применения).

216. Обоснование давления при испытании. Минимальное испытательное давление составляет 1,25 x НРД в порядке обеспечения учета эффектов давления, характерных для максимального рабочего давления в обычных условиях эксплуатации. Допускается проводить испытание и при более высоких значениях давления (>1,25 НРД); например, данные испытаний при давлении 100 МПа могут быть

использованы для квалификационной оценки материалов системы, рассчитанной на НРД 70 МПа, поскольку испытательное давление должно составлять $\geq 87,5$ МПа. Хотя проверочные испытания допускается проводить при значениях давления до 1,5 x НРД, причем такому же давлению, доходящему до 1,5 x НРД, могут подвергаться и материалы в аномальных условиях, разница в последствиях воздействия водорода при 1,25 x НРД и 1,5 x НРД обычно является незначительной (Х. Кобаяси, Т. Ямада, Х. Кобаяси, С. Мацуока “Критерии отбора материалов для использования в оборудовании станций заправки водородом”, PVP2016-64033. Материалы Конференции 2016 года ASME по проблемам сосудов высокого давления и трубопроводов, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада, 17–21 июля 2016 года). Поэтому — в порядке обеспечения соответствия обычным условиям эксплуатации и испытанию на усталостную прочность — применительно к испытанию на РМСД испытательное давление указано на уровне 1,25 x НРД.

217. Обоснование температуры в ходе испытания. За диапазон температур окружающей среды, в котором эксплуатируется транспортное средство, обычно принимают 233–358 К (от -40 °С до $+85$ °С). Для некоторых материалов характерно резкое снижение пластичности при растяжении при приближении к этой нижней температурной границе; как правило, минимальный показатель пластичности при растяжении отмечается в диапазоне порядка 200–220 К (С. Фукуяма, Д. Сун, Л. Чзан, М. Вэнь и К. Йокогава “Влияние низкой температуры на водородное охрупчивание аустенитных нержавеющей сталей марки 316”. Бюллетень Японского института металлов № 67 (2003 год), стр. 456–459 английского текста; и Л. Чзан, М. Вэнь, М. Имаде, С. Фукуяма, К. Йокогава “Влияние низкой температуры на водородное охрупчивание аустенитных нержавеющей сталей: на базе марки 316 и с учетом никелевого эквивалента”. Металлургический вестник № 56 (2008 год), стр. 3414–342 английского текста). Поэтому применительно к испытанию на РМСД за консервативный параметр берется эта нижняя температурная граница (228 ± 5 К). В отличие от испытания на растяжение, низкая температура, как правило, не сказывается на усталостных свойствах материала, хотя и не улучшает их (Дж. Схейве “«Усталость» конструкций и материалов”, 2-е издание, издательство “Springer”, 2009 год). Данная тенденция нашла подтверждение и при испытаниях в газообразной водородной среде (Т. Иидзима, Х. Эноки, Дж. Ямабе, Б. Ан “Влияние газообразного водорода под высоким давлением на усталостные свойства аустенитных нержавеющей сталей марок SUS304 и SUS316”, PVP 2018-84267. Материалы Конференции 2018 года ASME по проблемам сосудов высокого давления и трубопроводов, Прага, Чешская Республика, 15–20 июля 2018 года); кроме того, как показали исследования, показатель наработки до усталостного разрушения в газообразном водороде улучшается при повышенных температурах на уровне 80 °С. Поэтому испытание на усталостную прочность проводят при комнатной температуре (293 ± 5 К).

4. Обоснование требований к испытанию (пункт 222)

218. Обоснование методики на базе образца с надрезом (вариант 1). Данная методика позволяет оценить цикл напряжений в привязке к циклу полной заправки. Надрез служит для оценки степени чувствительности материала к концентрации напряжений в присутствии водорода, привнося также дополнительный элемент консерватизма при отсутствии места концентрации напряжений. Максимальное напряжение в цикле приложения нагрузки ($S_{\max} = 1/3$ прочности на растяжение) соответствует стандартным (например, ASME B31.12) ограничениям, налагаемым конструкцией барических систем, тогда как минимальное номинальное напряжение составляет 10 % от этого значения ($R = 0,1$). Результирующий цикл приложения нагрузки, а именно растяжение-растяжение, соответствует номинальным напряжениям, наблюдаемым в системах под давлением. Принятый для методики на базе образца с надрезом критерий приемлемости ($>100\,000$ циклов) призван продемонстрировать, что усталостная долговечность материала при относительно высоких напряжениях значительно превышает расчетный срок службы используемых на транспортных средствах резервуаров.

219. Обоснование методики на базе гладкого образца (вариант 2). В случае данной методики требуется анализ двух параметров: наработки до усталостного разрушения и предела текучести при растяжении. Первый служит для оценки цикла напряжений растяжение-сжатие, причем максимальное номинальное напряжение равняется $1/3$ прочности материала на растяжение ($S_{\max} = 1/3$ прочности на растяжение), что соответствует стандартным (например, ASME B31.12) ограничениям, налагаемым конструкцией барических систем. Цикл напряжений является знакопеременным, т. е. $S_{\min} = -S_{\max}$ ($R = -1$), что не соответствует растягивающим напряжениям в системах под давлением, однако обеспечивает определенный консерватизм результатов испытания, поскольку частотность самого цикла больше, нежели обычно наблюдаемая при эксплуатации под давлением. Принятый для методики на базе гладкого образца критерий приемлемости ($>200\,000$ циклов) призван продемонстрировать отсутствие снижения усталостной прочности в газообразном водороде под высоким давлением. Результатами испытания на РМСД подтверждается общий вывод о том, что водородная среда не сказывается негативным образом на пределе текучести. С другой стороны, на производимые в водороде замеры пластичности может заметно влиять скорость деформации, в связи с чем тут вводится определенное ограничение. Хотя рекомендуемая стандартом CSA/ANSI CHMC 1 скорость деформации составляет $1 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, для целей настоящих Правил было принято значение $\leq 5 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, рекомендуемое в справочном документе (Х. Кобаяси, Т. Ямада, Х. Кобаяси, С. Мацуока “Критерии отбора материалов для использования в оборудовании станций заправки водородом”, PVP2016-64033. Материалы Конференции 2016 года ASME по проблемам сосудов высокого давления и трубопроводов, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада, 17–21 июля 2016 года).

5. Процедура испытания

220. Подбор материалов

- a) Испытуемые материалы подбирают исходя из их технических характеристик (спецификации на базе национально признанного стандарта либо стандарта предприятия), в том числе с учетом требований, предъявляемых к следующим параметрам:
 - i) допустимые колебания компонентного состава;
 - ii) нормативное минимальное значение предела текучести при растяжении (S_y);
 - iii) нормативное минимальное значение прочности на растяжение (S_u); и
 - iv) нормативное минимальное значение относительного удлинения при растяжении (E_l).
- b) Испытание материала надлежит, по возможности, проводить в виде готового изделия. Если геометрическая конфигурация элемента оборудования исключает возможность вырезания испытательных образцов, допускается проводить испытание материала в виде заготовки с механическими свойствами, условно эквивалентными механическим свойствам элемента оборудования.
- c) Подтверждением соответствия материалов предъявляемым техническим требованиям могут служить либо сертификационная документация изготовителя, либо результаты эквивалентного испытания, проведенного на воздухе при комнатной температуре. Замеренный показатель прочности на растяжение обозначается как S^* (среднее значение по результатам по крайней мере двух испытаний, проведенных на воздухе при комнатной температуре, либо величина, указанная в заводском сертификате качества) и служит для определения максимального напряжения при испытании на усталостную прочность.

- d) Сварные швы и металлургические соединения:
- i) если — в случае материалов, скрепляемых методом сварки (или металлургическим способом), — сварное соединение подвергается воздействию газообразного водорода, то образцы сварных швов испытывают на совместимость с водородом вместе с основными материалами;
 - ii) сварные швы и металлургические соединения выверяют по техническим условиям на процедуру сварки (ТУС), которыми определяются технология скрепления и компонентный состав, а также требования, предъявляемые к нормативным минимальным показателям растяжимости (S_y , S_u и E_l) сварной конструкции (например, металла шва);
 - iii) испытательные образцы должны — когда это возможно — вырезаться из сварной конструкции. Если же это не представляется возможным, допускается подготовка репрезентативных сварных стыков;
 - iv) замеры на сварных испытательных образцах проводят в газообразной водородной среде, причем эти образцы должны отвечать как требованиям ТУС, так и требованиям к испытанию, приведенным в пункте 222.

221. Условия проведения испытания на воздействие внешних факторов

- a) Чистота газа
- i) Чистоту газообразного водорода, отбираемого из испытательной камеры (именуемого “анализируемый газ”), проверяют на соответствие требованиям применимых стандартов заправки или значениям, указанным в таблице 6.
 - ii) Если по результатам трех последовательно проведенных проверок анализируемый газ отвечает требованиям таблицы 6 по концентрации кислорода и водяных паров, то отбор проб газа может осуществляться периодически с интервалом не более 12 месяцев. Если же анализируемый газ не отвечает предъявляемым требованиям либо интервал отбора проб газа превышает 12 месяцев, то — после модификации испытательного комплекса и внесения изменений в процедуры продувки — производят оценку трех последовательно взятых проб газа для подтверждения соответствия испытательного комплекса и применяемых процедур требованиям таблицы 6.

Таблица 6

Требования к чистоте газообразного водорода, в частях на миллион по объему (за исключением случаев, когда указано иное)

| <i>Химические элементы/соединения</i> | <i>Требования к исходному газу</i> | <i>Требования к анализируемому газу</i> |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|
| H ₂ | мин. 99,999 % | – |
| O ₂ | ≤1 | <2 |
| H ₂ O | ≤3,5 | <10 |
| CO + CO ₂ | ≤2 | – |

- b) Давление

Испытание в газообразной водородной среде проводят при минимальном давлении водорода, составляющем 1,25 x НРД.

- c) Температура
 - i) Температура образца при проведении в водородной среде испытания на наработку до усталостного разрушения составляет 293 ± 5 К.
 - ii) Температура образца при проведении в водородной среде испытания на растяжение при малой скорости деформации (РМСД) составляет 228 ± 5 К.

222. Требования к испытанию

- a) Должно обеспечиваться выполнение требований, предъявляемых либо к методике на базе образца с надрезом (вариант 1), либо к методике на базе гладкого образца (вариант 2). В соблюдении одновременно требований обоих методов нет необходимости.
- b) Методика на базе образца с надрезом (вариант 1)
 - i) Используют образцы в виде бруска с надрезом с коэффициентом концентрации упругих напряжений (K_t), составляющим не менее 3. Испытанию в условиях воздействия внешних факторов, описанных в пункте 221, подвергают минимум три образца.
 - a. Испытания на наработку до усталостного разрушения с управлением по усилию проводят в цикле постоянно действующей нагрузки в соответствии с международно признанными стандартами. Напряжение при максимальной нагрузке в ходе циклического испытания на усталостную прочность должно составлять не менее $1/3 S^*$ (средняя прочность на растяжение, измеренная на воздухе при комнатной температуре). Под напряжением понимается нагрузка, деленная на напряжение нетто-сечения (т. е. минимальная начальная площадь поперечного сечения образца). Коэффициент нагрузки (R) составляет 0,1, причем $R = S_{\min}/S_{\max}$ (S_{\min} — это минимальное напряжение нетто-сечения, а S_{\max} — это максимальное напряжение нетто-сечения).
 - b. Частота циклов составляет 1 Гц или ниже.
 - ii) Требование к методике на базе образца с надрезом
 - a. При испытании надрезанных образцов на усталостную прочность число циклов приложения нагрузки (N) должно для каждого испытываемого образца превышать 10^5 циклов.
- c) Методика на базе гладкого образца (вариант 2)
 - i) Используют гладкие образцы для изучения усталостных свойств в соответствии с международно признанными стандартами. Испытанию в условиях воздействия внешних факторов, описанных в пункте 221, подвергают минимум три образца.
 - a. Испытания на наработку до усталостного разрушения с управлением по усилию проводят в цикле постоянно действующей нагрузки в соответствии с международно признанными стандартами. Напряжение при максимальной нагрузке в ходе циклического испытания на усталостную прочность должно составлять не менее $1/3 S^*$ (средняя прочность на растяжение, измеренная на воздухе при комнатной температуре). Под напряжением понимается нагрузка, деленная на напряжение нетто-сечения (т. е. минимальная начальная площадь поперечного сечения образца). Коэффициент нагрузки (R) составляет -1 (знакопеременный цикл напряжений растяжение-сжатие),

причем $R = S_{\min}/S_{\max}$ (S_{\min} — это минимальное напряжение нетто-сечения, а S_{\max} — это максимальное напряжение нетто-сечения).

- b. Частота циклов составляет 1 Гц или ниже.
- ii) Используют образцы для испытания на растяжение при малой скорости деформации (РМСД) в соответствии с международно признанными стандартами. Испытанию в условиях воздействия внешних факторов, описанных в пункте 221, подвергают минимум три образца.
- a. Величину смещения в ходе испытания измеряют на образце типовой расчетной длины (≥ 12 мм и равной 3–5 диаметрам образца). Обычно для этого используется экстензометр, прикрепленный непосредственно к образцу, однако допустимы и другие эквивалентные методы. Замеренная скорость деформации (в диапазоне от предела текучести до максимально прилагаемого усилия) должна составлять $\leq 5 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.
- iii) Требование к методике на базе гладкого образца
- При испытании гладких образцов на усталостную прочность число циклов приложения нагрузки (N) должно для каждого испытываемого образца превышать 2×10^5 циклов.
- При испытании на РМСД замеренный предел текучести должен превышать 80-процентное значение предела текучести, измеренного на воздухе при температуре, указанной в пункте 221.

223. Краткое изложение требований

- a) В таблице 7 резюмируются требования к двум различным вариантам испытания: по методу на базе образца с надрезом (вариант 1) и по методу на базе гладкого образца (вариант 2), соответственно.

Таблица 7

Резюме испытаний на совместимость материалов с водородом и предъявляемых требований

| | | <i>Метод на базе образца с надрезом (вариант 1)</i> | <i>Метод на базе гладкого образца (вариант 2)</i> |
|--------------------------------------|--|---|--|
| Наработка до усталостного разрушения | Условия проведения испытаний | Давление $\text{H}_2 = 125\%$ НРД Температура = 293 ± 5 К Напряжение нетто-сечения $\geq 1/3 S^*$ Частота = 1 Гц | Давление $\text{H}_2 = 125\%$ НРД Температура = 293 ± 5 К Напряжение нетто-сечения $\geq 1/3 S^*$ Частота = 1 Гц |
| | Число испытаний | 3 | 3 |
| | Требования применительно к каждому испытанию | $N > 10^5$ | $N > 2 \times 10^5$ |
| РМСД | Условия проведения испытаний | Не требуется | Давление $\text{H}_2 = 125\%$ НРД Температура = 228 ± 5 К Скорость деформации $\leq 5 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ |
| | Число испытаний | | 3 |
| | Требования применительно к каждому испытанию | | Предел текучести $> 0,80$ предела текучести, замеренного на воздухе при той же температуре |

N. Испытание алюминиевых сплавов на коррозионное растрескивание под воздействием влажного газа

1. Введение

224. Системы хранения и удержания компримированного водорода должны быть совместимы с газообразным водородом во всех применимых диапазонах давления и температуры. Одной из основных проблем, возникающих в связи с используемыми в этих системах материалами, является водородное охрупчивание. Алюминиевые сплавы характеризуются высокой стойкостью к водородному охрупчиванию и представляют собой материалы, потенциально подходящие для данных систем. Однако некоторым видам алюминиевых сплавов присуще стресс-коррозионное растрескивание (КР) во влажной газовой среде. Разница между механизмами анодного растворения и КР под воздействием влажного газа (КР-ВГ) показана на рис. 39.

Рис. 39

Механизмы КР под воздействием влажной газовой среды

| Тип | Анодное растворение | КР под воздействием влажного газа |
|-------------|---|--|
| Принцип | <p>Электрохимическая коррозия под действием соленой воды</p> <p>Катодная реакция: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$</p> <p>Анодная реакция: $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$</p> <p>Гидролизная реакция: $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$</p> <p>Растворитель хлорида</p> <p>Пассивирующая пленка</p> <p>Осадок</p> <p>Миграция</p> <p>Al</p> | <p>КР в результате реакции металлического Al с H_2O</p> <p>Образование атомов водорода в результате реакции воды с обнаженной металлической поверхностью</p> <p>Транскристаллитное растрескивание вследствие непрерывной пенетрации атомов водорода</p> |
| Реакция | <p>Анодная реакция: $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$</p> <p>Катодная реакция: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$</p> | <p>$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H$</p> |
| Особенности | <ul style="list-style-type: none"> • Требуется присутствие кислорода и раствора • Требуется присутствие Cl^- (для разрушения пассивирующей пленки) • Не происходит, если H_2 находится под высоким давлением (отсутствие кислорода и раствора) <p>⇒ Происходит только снаружи резервуара</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Происходит при наличии H_2O • Разрастание трещин в результате оседания атомов водорода на вершине трещины (на обнаженной металлической поверхности), а не разложения металла на ионы <p>⇒ Происходит как снаружи, так и изнутри резервуара</p> |
| Оценка | <p>Нынешний метод испытания, применяемый каждым автомобильным ИОО</p> | <p>✳ <u>Метод испытания на КР-ВГ (усовершенствованное испытание на сопротивление развитию трещин под постоянной нагрузкой), предложенный для целей ГТП № 13 Японии</u></p> |

225. Снаружи оболочка резервуара обычно подвергается воздействию влажной среды, но изнутри она также контактирует с водой в виде примеси в газообразном водороде. Поэтому указанный тип КР происходит как снаружи, так и изнутри резервуаров при наличии влаги. Испытание на разрастание трещин, проводимое методом постоянной нагрузки или постоянного смещения, призвано удостовериться, что используемые материалы характеризуются достаточной стойкостью к КР в предусмотренных условиях эксплуатации.

226. Раньше такого рода растрескивание наблюдалось в аквалангах для подводного плавания. Семь инцидентов с аквалангами из алюминиевого сплава 6351, причиной

которых, по-видимому, стало КР-ВГ, произошли в Австралии, Новой Зеландии и Соединенных Штатах Америки, после чего от использования алюминия марки 6351 при изготовлении аквалангов отказались, и вместо него стал использоваться алюминиевый сплав марки 6061.

227. Подверженность КР-ВГ зависит от химического состава и условий термической обработки материала. Сплавы как марки 6351, так и марки 6082, идентичные по своему химическому составу алюминию 6351, не прошли испытание на КР-ВГ, предусмотренное стандартом NPIS E103:2018 (разработан на базе стандарта ISO 7866).

228. Со своей стороны, алюминиевый сплав марки 6061 прошел предусмотренное NPIS E103:2018 испытание на КР-ВГ (Г. Ито, А. Курумада, С. Аошима и Т. Огава, “Влияние лигатуры на стойкость альмалеков к коррозионному растрескиванию под воздействием влажного газа”. Материалы пятьдесят девятой конференции представителей металлургической отрасли, COM2020, ISBN:978-1-926872-47-6). Данное испытание позволяет выявить материалы, характеризующиеся повышенной подверженностью КР-ВГ. В будущем — в порядке дальнейшего расширения ассортимента материалов, которые могут применяться в водородных системах высокого давления, — посредством этого испытания намечается оценивать безопасность материалов в плане их стойкости к КР-ВГ.

2. Обоснование подбора материалов

229. В настоящем разделе рассматриваются материалы, подвергаемые испытанию.

Подбор материалов: в качестве материалов для данного испытания выступают алюминиевые сплавы. Как правило, материалы подбирают исходя из их технических характеристик и с учетом колебаний компонентного состава, а также таких минимальных механических свойств при растяжении, как предел текучести (S_y), прочность на растяжение (S_u) и относительное удлинение при растяжении (E_l). Величины допустимого расчетного напряжения нередко определяют на основе нормативных минимальных прочностных свойств материала, тогда как относительное удлинение позволяет провести качественную оценку стойкости к повреждениям. Подтверждением правильности подбора материала могут служить заводской сертификат качества или результаты испытания, проведенного (либо заказанного) конечным потребителем. Проверочные испытания проводят в лабораторном термостате. Для целей данного функционального подхода предполагается, что материалы довольно нечувствительны к таким переменным свойствам материала, как, например, состав.

3. Обоснование условий проведения и продолжительности испытания на воздействие внешних факторов

230. В настоящем разделе оговариваются условия окружающей среды при испытании.

- a) *Температура в ходе испытания (подпункт 236 а):* за диапазон температур окружающей среды, в котором эксплуатируется транспортное средство, обычно принимают 233–358 К (от -40 °C до $+85$ °C). Поскольку подверженность КР при низких температурах невелика, испытание проводят при комнатной температуре.
- b) *Среда и влажность (подпункт 236 б):* к разрастанию трещин приводит образование атомов водорода в результате реакции воды с обнаженной металлической (алюминиевой) поверхностью, как показано на рис. 39. Поэтому в продолжение всего периода испытания влажность должна быть выше 85 %. КР не происходит в сухих условиях среды, так что необходимой предпосылкой для данного испытания является 85-процентная влажность. Если на поверхности образца образуются капли от конденсации росы, то в процессе испытания будет наблюдаться избирательная коррозия.
- c) *Продолжительность испытания (подпункт 236 с):* в соответствии с подразделом В6.6 стандарта ISO 7886:2012 испытание продолжается 90 дней.

4. Обоснование требований к испытанию

231. *Испытательный образец (подпункты 237 а), б)).* Образцы для целей данного испытания были вырезаны из изделий из деформируемого алюминиевого сплава (листового, прессованного или ковального), причем рекомендуется использовать компактные образцы (КО) либо образцы с изгибом по одной кромке (ИОК). Геометрическая конфигурация обоих образцов указана в стандартах ISO 7539-6:2011 и ASTM E399-20a.

Эффективные размеры ширины, W , и толщины, B , измеряют с точностью до 0,1 % W вдоль линии, проходящей в пределах 10 % W от плоскости трещины.

Лицевая сторона образца должна быть обработана механическим способом, с тем чтобы на ней легко выявлялись трещины, длину которых можно измерить.

232. *Предварительная усталостная трещина (подпункт 237 с)).* Вызывают образование предварительной усталостной трещины при комнатной температуре и атмосферных условиях. Фактическая длина трещины, a , включая предварительную усталостную трещину, должна удовлетворять следующему уравнению для локализованного пластического деформирования, как указано в разделе В.5 стандарта ISO 7866:2012:

$$A, (W-a) \geq 1270(K_{IAPP}/\sigma_{0,2})^2,$$

где:

a — фактическая длина трещины (расстояние от вершины предварительной усталостной трещины до оси нагружения (мм));

W — фактическая эффективная ширина образца (мм);

K_{IAPP} — коэффициент интенсивности напряжений в трещине при приложении нагрузки к образцу (МПа $\sqrt{м}$).

233. *Прикладываемая нагрузка и измерение (подпункты 237 d), e)).* В ходе данного испытания допускается использование режима как постоянной нагрузки, так и постоянного смещения, причем режим постоянной нагрузки является более предпочтительным. Если же разрастания трещин не происходит, то особой разницы между обоими режимами нет.

Если фиксируемая контрольными устройствами нагрузка составляет менее 95 % от прикладываемой нагрузки, P , то испытательный образец подлежит отбраковке еще на этапе до окончательной квалификационной оценки материалов. Как явствует из исследований, проведенных японскими учеными, при КР-ВГ приращение длины трещины превышает 0,16 мм в случаях, когда пороговое значение нагрузки снижается до менее чем 95 % от прикладываемой нагрузки, P .

234. *Критерий приемлемости (пункт 239).* Анализируется динамика разрастания трещины при КР-ВГ на предмет установления того, превышает ли оно 0,16 мм за 90-дневный период испытания. Данное значение соответствует скорости роста трещин $>2 \times 10^{-11}$ м/с, что ниже общего критерия КР, составляющего 10^{-10} м/с.

5. Процедура испытания

235. Подбор материалов

а) В качестве материалов выступают образцы, вырезанные из изделий из деформируемого алюминиевого сплава.

б) Испытуемые материалы подбирают исходя из их технических характеристик (спецификации на базе национально признанного стандарта либо стандарта предприятия), в том числе с учетом требований, предъявляемых к следующим параметрам:

i) допустимые колебания компонентного состава;

ii) нормативное минимальное значение предела текучести, S_y ;

- iii) нормативное минимальное значение прочности на растяжение, S_u ;
 - iv) нормативное минимальное значение относительного удлинения при растяжении, E_l .
- c) Подтверждением соответствия материалов предъявляемым техническим требованиям могут служить либо сертификационная документация изготовителя, либо результаты эквивалентного испытания, проведенного на воздухе при комнатной температуре. Замеренный условный предел текучести при остаточной деформации 0,2 % обозначается как $\sigma_{0,2}$ (среднее значение по двум образцам, определенное при комнатной температуре в соответствии с процедурой, предусмотренной стандартом ISO 6892-1:2019) и используется для целей формирования предварительной усталостной трещины.

236. Условия проведения и продолжительность испытания на воздействие внешних факторов:

- a) температура: 298 ± 5 К на протяжении всего испытания;
- b) среда и влажность: отсутствие на протяжении всего испытания каплеобразования от конденсации росы из воздуха с относительной влажностью 85 % и выше;
- c) продолжительность испытания: 90 дней (в соответствии с подразделом B6.6 стандарта ISO 7866:2012).

237. Требования к испытанию

- a) Испытательный образец: испытанию подвергают одну из геометрических конфигураций образцов либо сочетание различных конфигураций:
 - i) компактный образец по стандарту ISO 7539-6:2011;
 - ii) образец с изгибом по одной кромке (ИОК-образец или образец в виде сжато-изогнутой консольной балки по стандарту ISO 7539-6:2011);
 - iii) образец в виде двухконсольной балки (ДКБ-образец) по стандарту ISO 7539-6:2011;
 - iv) модифицированный образец для нагружения расклинивающей силой (модифицированный НРС-образец) по стандарту ISO 7539-6:2011;
 - v) С-образный образец по стандарту ISO 7539-6:2011.
- b) Пространственное расположение образца: испытательный образец ориентируют в плоскости Y-X. При необходимости может быть добавлена иная ориентация.
- c) Вызывают образование предварительной усталостной трещины в соответствии с разделом 6 стандарта ISO 7539-6:2018.
- d) Нагружение производят в режиме постоянной нагрузки либо в режиме постоянного смещения:
 - i) в случае режима постоянной нагрузки надлежит использовать установку для испытаний, обеспечивающую точность регулирования параметров нагрузки в пределах ± 1 % от прикладываемой нагрузки, как это определено в пункте 7.6.3 стандарта ISO 7539-6:2011;
 - ii) в случае режима постоянного смещения чувствительность щупа перемещения должна составлять не менее 20 мВ/мм для сведения к минимуму избыточного усиления при малом уровне сигнала. Степень линейного движения щупа является такой, что

отклонение от истинной величины не превышает 3 мкм (0,003 мм) для малых смещений до 0,5 мм и 1 % от зарегистрированных значений — для больших смещений. Данные требования согласуются с пунктом 7.5.3 стандарта ISO 7539-6:2011;

- iii) Нагрузка соответствует значению K_{IAPP} , рассчитанному по следующему уравнению согласно подразделу В.6.2 стандарта ISO 7866:2012:

$$K_{IAPP} = 0,056\sigma_{0,2}.$$

- e) Измерение нагрузки: в случае режима постоянного смещения нагрузку измеряют — после 90-дневного периода испытания — одним из следующих методов:

- i) если контроль нагрузки не осуществляется:
- a. в конце испытания и перед снятием нагрузки измеряют смещение раскрытия устья трещины;
 - b. снимают нагрузку;
 - c. повторно прикладывают нагрузку до тех пор, пока смещение раскрытия устья трещины по показаниям прибора для измерения нагрузки не достигнет значения, зафиксированного по подпункту a);
- ii) если осуществляется контроль нагрузки, то в конце испытания производят ее замер. Допускается также рассчитывать величину нагрузки по значениям упругой деформации, замеренным в начале и в конце испытания.

- f) Наведение конечного подроста усталостной трещины до разрушения образца производят следующим образом:

- i) в случае режима постоянной нагрузки выполняют наведение конечного подроста усталостной трещины, пока ее длина не увеличится минимум до 1 мм, с приложением усталостной нагрузки, эквивалентной коэффициенту интенсивности напряжений, не превышающему 0,6-кратное значение K_I , полученное при нагружении;
- ii) в случае режима постоянного смещения нагрузку — после ее измерения согласно подпункту e) выше — снимают и выполняют наведение конечного подроста усталостной трещины, пока ее длина не увеличится минимум до 1 мм, с приложением усталостной нагрузки, эквивалентной коэффициенту интенсивности напряжений, не превышающему 0,6-кратное значение K_I , полученное по подпункту e) выше.

После наведения конечного подроста усталостной трещины образец должен разломиться. При наличии возможности определить поверхность излома, обусловленного КР-ВГ, разрушение образца допускается с применением иного метода, нежели наведение конечного подроста усталостной трещины.

- g) Измерение длины трещины: после разрушения образца измеряют — при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) или других измерительных приборов с погрешностью $\pm 0,01$ мм — следующие параметры длины трещины:

- i) фактическая длина трещины, включая предварительную усталостную трещину, a_{pre} ;
- ii) фактическая длина трещины до вершины трещины, обусловленной КР-ВГ, a_{sec} .

Проводят три измерения перпендикулярно поверхности излома в сечениях, равномерно (25 %, 50 % и 75 %) расположенных по толщине образца, и за фактическую длину трещины a_{pre} или a_{sc} берется среднее значение измерений в этих 3 сечениях.

238. Достоверность испытания

- a) Предварительная усталостная трещина: исходя из значений a_{pre} , измеренных в сечениях, равномерно (25 %, 50 % и 75 %) расположенных по толщине образца, надлежит удостовериться, что разность между наибольшим и наименьшим значениями не превышает 5 % нетто-ширины образца, W .
- b) Локализованное пластическое деформирование и условие плоской деформации: надлежит удостовериться, что a , $(W-a)$ и B (толщина образца) удовлетворяют следующему уравнению, указанному в подразделе В.6.7 стандарта ISO 7866:2012:

$$a, (W-a), B \geq 1270 (K_I/\sigma_{0,2})^2,$$

где a , $(W-a)$ и K_I задаются следующим образом:

- i) для режима постоянной нагрузки: $a = a_{sc}$

$$(W-a) = (W - a_{sc})$$

$$K_I = K_{IAPP}$$

- ii) для режима постоянного смещения: $a = a_{pre}$

$$(W-a) = (W - a_{pre})$$

$$K_I = K_{IAPP}.$$

- c) Если условия по подпунктам а) и б) выше не соблюдены, то испытание считается незачетным.

239. Критерий приемлемости

Применимость материалов оценивают следующим образом:

- a) анализируется динамика разрастания трещины ($a_{sc} - a_{pre}$) при КР-ВГ по пункту 238 на предмет установления того, превышает ли оно 0,16 мм;
- b) производится расчет фактического значения K_{IA} , как функции K_{IAPP} , исходя из a_{pre} и величины приложенной нагрузки, соответствующей указанной в подпункте 237 d) i) — для режима постоянной нагрузки и подпункте 237 d) ii) — для режима постоянного смещения;
- c) зачетность материалов оценивают согласно таблице 8 ниже.

Таблица 8

Квалификационная оценка материалов

| Случай | Разрастание трещины | K_{IA} по отношению к K_{IAPP} | Заключение* |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------|
| I | | $K_{IA} \geq K_{IAPP}$ | Пригоден |
| II | $(a_{sc} - a_{pre}) \leq 0,16$ мм | $K_{IA} < K_{IAPP}$ | Незачет |
| III | | $K_{IA} \leq K_{IAPP}$ | Непригоден |
| IV | $(a_{sc} - a_{pre}) > 0,16$ мм | $K_{IA} > K_{IAPP}$ | Незачет |

По итогам оценки материалов выносят следующее заключение:

- пригоден: отвечающие этому требованию материалы признаются имеющими надлежащую стойкость к КР-ВГ для использования в резервуарах для компримированного водорода, как указано в подразделе В.7.3 стандарта ISO 7866:2012;

непригоден: материалы признаются неподходящими для использования в резервуарах для компримированного водорода;

незачет: оценка материалов в таких условиях не представляется возможной. В случае II — если значение K_{IA} равняется K_{IAPP} или же несколько превышает его — рекомендуется провести еще одно испытание.

В случае IV — когда значение K_{IA} значительно превышает K_{IAPP} — рекомендуется провести еще одно испытание, поскольку материалы могут быть признаны пригодными, если K_{IA} лишь немного превышает K_{IAPP} ;

d) при данном испытании заключению “пригоден” должны соответствовать минимум три зачетных образца.

240. Резюме испытаний и предъявляемых требований

Таблица 9

Краткое описание условий испытаний и требований к испытаниям

| <i>Фактор нагрузки</i> | <i>Постоянная нагрузка или постоянное смещение</i> |
|-----------------------------|--|
| Температура | 298 ±5K |
| Среда и влажность | воздух (при относительной влажности 85 % или выше) |
| Количество образцов | 3 (зачетных) |
| Продолжительность испытания | 90 дней |
| Критерии | $(a_{sec} - a_{pre}) \leq 0,16 \text{ мм}$ $K_{IA} \geq K_{IAPP}$ |

О. Предлагаемые допуски для целей квалификационных требований к системе хранения компримированного водорода

1. Введение

241. Приведенная ниже таблица допусков, разработанная подгруппой в составе представителей ИОО, изготовителей элементов оборудования и испытательных лабораторий, составлена исходя из того, что является разумным и целесообразным с точки зрения цели испытаний, но без ущерба для воспроизводимости результатов таковых в случае их проведения различными лабораториями.

242. Наличие данной таблицы не означает, что любой запрос изготовителя на установление более жестких допусков не может быть удовлетворен. Она носит сугубо факультативный характер и призвана служить в качестве общей рекомендации.

243. Допуски на параметры испытаний должны согласовываться с теми, которые предусмотрены процедурами испытаний по разделу 6. В случае переменных допусков (например, \geq или \leq) испытательная лаборатория может использовать либо изготовителем могут рекомендоваться допуски, лежащие ниже и выше максимального значения.

244. Вместо следования рекомендациям изготовителя можно использовать факультативные допуски, которые приведены в таблице 10. Тем самым обеспечивается определенная гибкость в плане предоставления изготовителю возможности при желании проводить испытания в более жестких условиях.

245. Например, в пункте 6.2.3.5 для статического давления, при котором производят выдерживание, указано значение ≥ 125 % НРД. В данном случае предусмотрено минимальное значение, но не оговорено максимальное. Испытательная лаборатория может указать максимальное давление. В отсутствие рекомендаций изготовителя можно, руководствуясь приведенной таблицей, использовать допуск в 5 % НРД, что дает максимальное давление, составляющее 130 % НРД.

Аналогичным образом, одно из значений температуры при испытании на герметичность, указанное в пункте 6.2.6.1.8 с), обозначено как ≤ -40 °С. Поскольку минимальное значение не предусмотрено, испытательная лаборатория может гибко подходить к его выбору. Факультативный допуск по таблице составляет 3 °С, в результате чего факультативная минимальная температура равняется -43 °С.

246. В ряде случаев параметр испытания представляет собой конкретное заданное значение. Тогда в таблице указывается факультативный допуск со знаком “±”. Например, заданная высота сбрасывания в горизонтальном положении по пункту 6.2.3.2 составляет 1,8 м. Допускается выбор испытательной лабораторией значения, отклоняющегося в ту или другую сторону. Факультативный допуск по таблице составляет $\pm 0,02$ м.

Таблица 10

Факультативные допуски на параметры испытаний

| Пункт | Параметр испытания | Значение | Факультативный допуск | Единица измерения |
|----------------------------------|---|---|-----------------------|-------------------|
| <i>Давление</i> | | | | |
| 6.2.2 | | | | |
| 6.2.3 | | \geq или \leq значения в процентах от НРД | 5 | % НРД |
| 6.2.4 | Заданное давление | ≥ 100 % СЗ | 5 | % СЗ |
| 6.2.4 | | | | |
| 6.2.6.1.1 | Начальное пневматическое давление | ≤ 2 МПа | 1 | МПа |
| 6.2.6.1.3 с) | | | | |
| 6.2.6.1.11 а) | Давление при испытании на воздействие атмосферных условий | 2 МПа | +0,2/-0 | МПа |
| 6.2.6.2.6 а) | | | | |
| 6.2.6.2.3 б) i) | Давление в цикле после воздействия вибрации | ≤ 60 % НРД | 60 | % НРД |
| <i>Температура</i> | | | | |
| 6.2.3 | | | | |
| 6.2.4 | Температура | \geq или \leq значения в °С | 10 | °С |
| 6.2.6.1.1 | Температура при испытании на термоциклирование/на циклическое изменение давления при экстремальных температурах | ≥ 85 °С ≤ -40 °С | 5 | °С |
| 6.2.6.1.3 а) с) d) | | | | |
| 6.2.6.2.3 а) i) | | | | |
| 6.2.6.2.3 а) iii) | | | | |
| 6.2.6.1.8 | Температура при испытании на герметичность | ≥ 85 °С ≤ -40 °С | 3 | °С |
| 6.2.6.2.2 | | | | |
| 6.2.6.1.11 а) | Температура при испытании на воздействие атмосферных условий | 70 °С | ± 1 | °С |
| 6.2.6.2.6 а) | | | | |
| <i>Влажность</i> | | | | |
| 6.2.3.6 с) | Влажность в ходе испытания при высокой температуре | ОВ ≥ 80 % | 20 | % ОВ |
| 6.2.4 | | | | |
| 6.2.6.1.4 | Влажность в сушильном шкафу | ОВ ≤ 30 % | 30 | % ОВ |
| 6.2.6.2.4 | | | | |
| 6.2.6.1.4 | Влажность в фазе смачивания | ОВ 100 % | +0/-20 | % ОВ |
| 6.2.6.2.4 | | | | |
| 6.2.6.1.4 | Влажность в фазе сушки | ОВ ≤ 30 % | 30 | % ОВ |
| 6.2.6.2.4 | | | | |
| <i>Время (продолжительность)</i> | | | | |
| 6.2.3.1 | Продолжительность приложения нагрузки при испытании на соответствие давлению | ≥ 30 секунд | 30 | с |

| <i>Пункт</i> | <i>Параметр испытания</i> | <i>Значение</i> | <i>Факультативный допуск</i> | <i>Единица измерения</i> |
|-------------------------------|--|----------------------|------------------------------|--------------------------|
| 6.2.3.1 | Продолжительность приложения нагрузки при испытании на соответствие остаточному давлению | ≥4 минут | 1 | мин |
| 6.2.3.3 b) 6.2.4.2 | Продолжительность предварительного кондиционирования при испытании на удар маятником | | | |
| | Продолжительность предварительного кондиционирования при испытании на просачивание газа | минимум 12 часов | 72 | ч |
| 6.2.3.4 | Продолжительность кондиционирования при испытании на химическую стойкость | не менее 48 часов | 2 | ч |
| 6.2.3.5 | Продолжительность испытания под статическим давлением при повышенной температуре | не менее 1 000 часов | 72 | ч |
| 6.2.6.1.3 a) 6.2.6.1.3 c) | Продолжительность термоциклирования | | | |
| | Продолжительность кондиционирования при испытании на циклическое изменение давления | не менее 2 часов | 72 | ч |
| 6.2.6.1.4 6.2.6.2.4 | Продолжительность ускоренного испытания на циклическую коррозию | | | |
| 6.2.6.1.5 a) 6.2.6.2.5 a) | Продолжительность воздействия жидкостями | 24 часа | +2/-0 | ч |
| 6.2.6.1.7 b) 6.2.6.2.8 | Продолжительность воздействия вибрацией | 30 минут | +1/-0 | мин |
| 6.2.6.1.7 b) 6.2.6.2.8 | Время развертки в диапазоне изменения частоты | 10 минут | +1/-0 | мин |
| 6.2.6.1.8 6.2.6.2.2 | Продолжительность кондиционирования при испытании на герметичность | не менее 1 часа | 24 | ч |
| 6.2.6.1.8 6.2.6.2.2 | Продолжительность погружения при испытании на герметичность | не менее 1 минуты | 2 | мин |
| 6.2.6.1.9 b) | Продолжительность кондиционирования при стендовом испытании на срабатывание | не менее 2 минут | 8 | ч |
| 6.2.6.1.11 a) 6.2.6.2.6 a) | Продолжительность испытания на воздействие атмосферных условий | не менее 96 часов | 2 | ч |
| 6.2.6.2.1 a) | Продолжительность подачи гидростатического давления | не менее 3 минут | 1 | мин |
| 6.2.6.2.3 b) i) | Продолжительность воздействия вибрации | не менее 24 часов | 1 | ч |
| 6.2.6.2.7 a) i) | Продолжительность поддержания равновесного состояния при 1-м испытании | не менее 1 часа | 30 | мин |
| 6.2.6.2.7 a) ii) | Продолжительность сохранения подаваемого напряжения на | не менее 1 минуты | 5 | с |

| <i>Пункт</i> | <i>Параметр испытания</i> | <i>Значение</i> | <i>Факультативный допуск</i> | <i>Единица измерения</i> |
|----------------------------|---|---|------------------------------|--------------------------|
| | определенном уровне при 2-м испытании | | | |
| 6.2.6.2.7 b) | Продолжительность подачи напряжения при испытании на сопротивление изоляции | не менее 2 секунд | 1 | с |
| 6.2.6.1.6 6.2.6.2.9 | Продолжительность выдерживания в парах аммиачно-воздушной смеси | не менее 10 дней | 2 | ч |
| <i>Показатели скорости</i> | | | | |
| 6.2.4.1 b) | Скорость нагнетания давления при заправке | больше или равна скорости нагнетания давления, указанной в заправочных таблицах стандарта SAEJ2601_202005 | 7 | МПа/мин |
| 6.2.4.1 d) | Скорость опорожнения | больше или равна предполагаемой максимальной потребности транспортного средства в топливе | -0/+100 % показателя | г/с или нл/мин |
| 6.2.4.1 d) | Скорость опорожнения | больше или равна скорости опорожнения в условиях технического обслуживания | -0/+100 % показателя | г/с или нл/мин |
| <i>Напряжение</i> | | | | |
| 6.2.6.2.7 a) i) | Напряжение при 1-м испытании | $\geq 1,5$ номинального напряжения | 0,5 | В |
| 6.2.6.2.7 a) ii) | Напряжение при 2-м испытании | ≥ 2 номинального напряжения | 0,5 | В |
| 6.2.6.2.7 b) | Напряжение при испытании на сопротивление изоляции | 1 000 В (пост. Ток) | ± 10 | В |
| <i>Расстояние</i> | | | | |
| 6.2.3.2 a) i) | Высота сбрасывания в горизонтальном положении | 1,8 м | $\pm 0,02$ | м |
| 6.2.3.2 a) ii) iii) | Высота вертикального сбрасывания | расчетная высота сбрасывания | $\pm 0,02$ | м |
| 6.2.3.2 a) iv) | Высота центра тяжести при сбрасывании под углом 45° | $\leq 1,8$ м | 0,04 | м |
| 6.2.3.3 a) | Глубина насечки 1 | не менее 0,75 мм | 0,5 | мм |
| 6.2.3.3 a) | Длина насечки 1 | не менее 200 мм | 5 | мм |
| 6.2.3.3 a) | Глубина насечки 2 | не менее 1,25 мм | 0,5 | мм |
| 6.2.3.3 a) | Длина насечки 2 | не менее 25 мм | 1 | мм |
| 6.2.3.3 b) | Диаметр каждой зоны ударного воздействия маятником | 100 мм | ± 10 | мм |
| 6.2.3.3 b) | Радиус закругления ребер маятникового ударного элемента | 3 мм | ± 1 | мм |
| 6.2.6.1.7 a) | Высота сбрасывания | ≥ 2 м | 0,05 | м |
| <i>Концентрация</i> | | | | |
| 6.2.3.4 a) | Водный раствор серной кислоты | 19 % (по объему) | ± 1 | % |
| 6.2.3.4 b) | Водный раствор гидроксида натрия | 25 % (по весу) | ± 1 | % |

| <i>Пункт</i> | <i>Параметр испытания</i> | <i>Значение</i> | <i>Факультативный допуск</i> | <i>Единица измерения</i> |
|--|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 6.2.3.4 c) | Смесь бензина с метанолом | 5 % (по объему) | ±1 | % |
| 6.2.3.4 d) | Водный раствор нитрата аммония | 28 % (по весу) | ±1 | % |
| 6.2.3.4 e) | Водный раствор метилового спирта | 50 % (по объему) | ±1 | % |
| 6.2.6.1.4 a) 6.2.6.2.4 a) | Содержание хлористого натрия | 0,9 % по массе | н/п | н/п |
| 6.2.6.1.4 b) 6.2.6.2.4 b) | Содержание хлорида кальция | 0,1 % по массе | н/п | н/п |
| 6.2.6.1.4 c) 6.2.6.2.4 c) | Содержание бикарбоната натрия | 0,075 % по массе | н/п | н/п |
| 6.2.6.1.5 a) i) 6.2.6.2.5 a) i) | Раствор серной кислоты | 19 % по объему | ±1 | % |
| 6.2.6.1.5 a) ii) 6.2.6.2.5 a) ii) | Смесь бензина с этанолом | 10 % по объему | ±1 | % |
| 6.2.6.1.5 a) iii) 6.2.6.2.5 a) iii) | Раствор метилового спирта | 50 % по объему | ±1 | % |
| 6.2.6.1.6 6.2.6.2.9 | Концентрация раствора аммиака под образцом | не менее 20 мл на литр объема камеры | 2 | мл/л |
| <i>Прочее</i> | | | | |
| 6.2.3.2 a) iv) | Сбрасывание под углом 45° | 45° | ±5 | ° |
| 6.2.3.3 b) | Энергия маятника в момент удара | ≥30 Дж | 5 | Дж |
| 6.2.6.1.6 6.2.6.2.9 | Удельная плотность | 0,94 | ±0,01 | безразмерный параметр |

»

Часть II, текст Правил изменить следующим образом:

«II. Текст Правил

1. Цель

В настоящих Правилах установлены требования, предъявляемые к эксплуатационным характеристикам водородных транспортных средств, связанные с обеспечением безопасности. Целью настоящих Правил является сведение к минимуму травм, которые могут быть нанесены в результате возгорания, разрыва или взрыва в топливной системе транспортного средства.

2. Область применения

2.1 Настоящие Правила применяют ко всем водородным транспортным средствам категорий 1 и 2, максимальная расчетная скорость которых превышает 25 км/ч.

2.2 Договаривающиеся стороны могут исключать из области применения настоящих Правил следующие транспортные средства:

- a) транспортные средства с четырьмя или более колесами, порожняя масса которых не превышает 350 кг без учета массы тяговых батарей, максимальная расчетная скорость которых не превышает 45 км/ч и у которых рабочий объем цилиндров двигателя, если это двигатель внутреннего сгорания с искровым (принудительным) зажиганием, и номинальная максимальная мощность в режиме длительной нагрузки, если это электродвигатели, не превышают соответственно 50 см³ и 4 кВт; и
- b) транспортные средства с четырьмя или более колесами, не подпадающие под подпункт а) выше, порожняя масса которых не превышает 450 кг (или 650 кг для транспортных средств, предназначенных для перевозки грузов) без учета массы тяговых батарей, а номинальная максимальная мощность которых в режиме длительной нагрузки не превышает 15 кВт.

3. Определения

Для цели настоящих Правил применяют следующие определения:

- 3.1 (вакантный)
- 3.2 (вакантный)
- 3.3 “разрывная мембрана” — рабочая часть одноразового использования устройства сброса давления, которая (при ее наличии) должна разрываться при заданном давлении и обеспечивать возможность сброса сжатого водорода;
- 3.4 “контрольный клапан” — обратный клапан, предотвращающий протivotок;
- 3.5 “концентрация водорода” — процентная доля молей (или молекул) водорода в водородно-воздушной смеси (эквивалентна парциальному объему газообразного водорода);
- 3.6 “резервуар” (для хранения водорода) — находящийся под давлением элемент оборудования на транспортном средстве, в котором помещается

- исходный объем водородного топлива в одной камере или нескольких жестко соединенных между собой камерах;
- 3.7 “*приспособления резервуара*” — прикрепленные к резервуару и не находящиеся под давлением несущие части, которые обеспечивают дополнительную опору и/или защиту резервуара и могут сниматься лишь временно для целей технического обслуживания и/или осмотра, причем только с использованием инструментов;
- 3.8 “*система хранения компримированного водорода (СХКВ)*” — система, предназначенная для хранения водородного топлива в компримированном состоянии на борту водородного транспортного средства, состоящая из резервуара, приспособлений резервуара (если таковые имеются) и всех первичных запорных устройств, необходимых для изолирования находящегося на борту водорода от остальной топливной системы и окружающей среды;
- 3.9 “*дата снятия с эксплуатации*” — календарная дата (месяц и год), указанная для выведения устройства из эксплуатации;
- 3.10 “*дата изготовления*” (резервуара для компримированного водорода) — календарная дата (месяц и год) проведения изготовителем испытания на соответствие давлению или окончательного проверочного испытания;
- 3.11 (вакантный)
- 3.12 “*закрытые или полужакрытые кожухом пространства*” означают полости внутри транспортного средства (или прикрытые отверстия по обводу транспортного средства), не связанные с водородной топливной системой (система хранения, система топливных элементов, двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и система регулирования подачи топлива) и ее корпусом (если таковой имеется), в которых может скапливаться водород (тем самым создавая опасность);
- 3.13 (вакантный)
- 3.14 (вакантный)
- 3.15 “*электрический привод*” — электрическая цепь, которая может включать в себя тяговый(е) электродвигатель(и) и может также включать ПСАЭ, систему преобразования электроэнергии, электронные преобразователи, тяговые электродвигатели, соответствующие жгуты проводов и соединители, а также соединительную систему для зарядки ПСАЭ;
- 3.16 (вакантный)
- 3.17 (вакантный)
- 3.18 (вакантный)
- 3.19 (вакантный)
- 3.20 (вакантный)
- 3.21 (вакантный)
- 3.22 (вакантный)
- 3.23 (вакантный)
- 3.24 “*система топливных элементов*” — система, состоящая из батареи(й) топливных элементов, системы обработки воздуха, системы регулирования расхода топлива, системы выпуска, системы регулирования температуры и системы регулирования подачи воды;
- 3.25 “*заправочный блок*” — элемент оборудования, к которому подсоединяется заправочный пистолет раздаточной колонки и через который топливо поступает в транспортное средство. Заправочный блок служит альтернативой топливоприемной горловины;

- 3.26 “высоковольтный/высоковольтная” — характеристика электрического компонента или цепи, если эффективное значение его/ее максимального рабочего напряжения >60 В и ≤ 1500 В для постоянного тока или >30 В и ≤ 1000 В для переменного тока;
- 3.27 “высоковольтная шина” — электрическая цепь, включающая в себя соединительную систему для зарядки ПАЭС, которая функционирует под высоким напряжением;
- 3.28 “водородное транспортное средство” означает любое автотранспортное средство, использующее сжатый газобразный или сжиженный водород в качестве топлива для приведения автомобиля в движение, включая транспортные средства как на топливных элементах, так и с двигателем внутреннего сгорания. Водородное топливо для транспортных средств указано в стандартах ISO 14687:2019 и SAE J2719_202003;
- 3.29 (вакантный)
- 3.30 (вакантный)
- 3.31 (вакантный)
- 3.32 “багажное отделение” — пространство в транспортном средстве, предназначенное для размещения багажа и/или груза и ограниченное крышей, крышкой багажника, полом, и боковыми стенками, которое отделено от пассажирского салона передней перегородкой или задней перегородкой;
- 3.33 “система хранения сжиженного водорода” означает резервуар(ы) для хранения сжиженного водорода, предохранительные УСД, запорное устройство, систему испарения, соединительные патрубки (если таковые имеются) и арматуру между вышеуказанными компонентами;
- 3.34 “нижний предел воспламеняемости (НПВ)” — наименьшая концентрация топлива, при которой газообразная топливная смесь воспламеняется при нормальных значениях температуры и давления. Нижний предел воспламеняемости для водородно-воздушной смеси — согласно консервативным оценкам — составляет 4 % водорода по объему исходя из условий невозмущенной среды (пункт 130 части I);
- 3.35 “максимально допустимое рабочее давление (МДРД)” — наибольшее манометрическое давление, при котором резервуар или система хранения водорода может функционировать в обычных условиях эксплуатации;
- 3.36 “максимальное давление заправки (МДЗ)” — максимальное давление подачи сжатого топлива в систему хранения при заправке. Максимальное давление заправки составляет 125 % от номинального рабочего давления;
- 3.37 “номинальное рабочее давление (НРД)” — манометрическое давление, при котором обычно работает система. Для системы хранения сжатого водорода НРД — это установленное давление сжатого газа при постоянной температуре 15 °С при полном резервуаре;
- 3.38 (вакантный)
- 3.39 (вакантный)
- 3.40 “пассажирский салон” — пространство, предназначенное для водителя и пассажиров и ограниченное крышей, полом, боковыми стенками, дверцами, внешним остеклением, передней перегородкой и задней перегородкой либо задней дверью;

- 3.41 “*устройство сброса давления (УСД)*” — устройство, которое (при его активации в конкретных условиях функционирования) служит для стравливания водорода из находящейся под давлением системы, предотвращая тем самым выход ее из строя;
- 3.42 “*редукционный клапан*” — устройство сброса давления, которое открывается при заданном уровне давления и может возвращаться в исходное положение;
- 3.43 (вакантный)
- 3.44 (вакантный)
- 3.45 “*перезаряжаемая система аккумулирования электроэнергии (ПСАЭ)*” — перезаряжаемая энергоаккумулирующая система, которая обеспечивает подачу электроэнергии для создания электрической тяги;
- 3.46 “*разрыв*” или “*взрыв*” означают внезапное и резкое механическое разрушение, пробой или фрагментацию под воздействием внутреннего давления;
- 3.47 (вакантный)
- 3.48 “*срок службы*” (резервуара для сжатого водорода) означает период времени, на который разрешена эксплуатация (использование);
- 3.49 “*запорный клапан*” — клапан между резервуаром и топливной системой транспортного средства, штатный режим работы которого, когда этот клапан не находится под напряжением, должен соответствовать “закрытому” положению;
- 3.50 “*одиночный сбой*” — разовая неисправность, включая любые обусловленные ею последующие нарушения;
- 3.51 “*удельная скорость тепловыделения (УСТВ)*” — количество теплоты, генерируемое пламенем на единицу площади горелки, причем количество выделяемой теплоты зависит от скорости сгорания топлива, помноженной на низшую теплотворную способность (НТС) топлива. НТС (иногда называемая “низшая теплота сгорания”) может служить одним из характеристических параметров применительно к случаям возгорания транспортных средств, поскольку вода, образующаяся при сгорании, конденсируется в виде пара. НТС составляет порядка 46 МДж/кг, однако ее величину необходимо определять в каждом конкретном случае в зависимости от фактического состава СНГ;
- 3.52 “*степень зарядки (СЗ)*” означает отношение плотности водорода, имеющегося в СХКВ на данный конкретный момент, к аналогичному показателю при НРД для СХКВ, термостатированной при температуре 15 °С. СЗ выражается в процентах и рассчитывается по формуле:

$$СЗ(\%) = \frac{\rho(P, T)}{\rho(\text{НРД}, 15\text{ °С})} \times 100.$$

Показатели плотности водорода при различных значениях давления и температуры приведены в таблице 1 ниже.

Таблица 1
Плотность компримированного водорода (г/л)

| Температура (°C) | Давление (МПа) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 10 | 20 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 87,5 |
| -40 | 1,0 | 9,7 | 18,1 | 25,4 | 28,6 | 31,7 | 37,2 | 42,1 | 44,3 | 46,1 | 48,4 | 50,3 | 53,0 |
| -30 | 1,0 | 9,4 | 17,5 | 24,5 | 27,7 | 30,6 | 36,0 | 40,8 | 43,0 | 45,1 | 47,1 | 49,0 | 51,7 |
| -20 | 1,0 | 9,0 | 16,8 | 23,7 | 26,8 | 29,7 | 35,0 | 39,7 | 41,9 | 43,9 | 45,9 | 47,8 | 50,4 |
| -10 | 0,9 | 8,7 | 16,2 | 22,9 | 25,9 | 28,7 | 33,9 | 38,6 | 40,7 | 42,8 | 44,7 | 46,6 | 49,2 |
| 0 | 0,9 | 8,4 | 15,7 | 22,2 | 25,1 | 27,9 | 33,0 | 37,6 | 39,7 | 41,7 | 43,6 | 45,5 | 48,1 |
| 10 | 0,9 | 8,1 | 15,2 | 21,5 | 24,4 | 27,1 | 32,1 | 36,6 | 38,7 | 40,7 | 42,6 | 44,4 | 47,0 |
| 15 | 0,8 | 7,9 | 14,9 | 21,2 | 24,0 | 26,7 | 31,7 | 36,1 | 38,2 | 40,2 | 42,1 | 43,9 | 46,5 |
| 20 | 0,8 | 7,8 | 14,7 | 20,8 | 23,7 | 26,3 | 31,2 | 35,7 | 37,7 | 39,7 | 41,6 | 43,4 | 46,0 |
| 30 | 0,8 | 7,6 | 14,3 | 20,3 | 23,0 | 25,6 | 30,4 | 34,8 | 36,8 | 38,8 | 40,6 | 42,4 | 45,0 |
| 40 | 0,8 | 7,3 | 13,9 | 19,7 | 22,4 | 24,9 | 29,7 | 34,0 | 36,0 | 37,9 | 39,7 | 41,5 | 44,0 |
| 50 | 0,7 | 7,1 | 13,5 | 19,2 | 21,8 | 24,3 | 28,9 | 33,2 | 35,2 | 37,1 | 38,9 | 40,6 | 43,1 |
| 60 | 0,7 | 6,9 | 13,1 | 18,7 | 21,2 | 23,7 | 28,3 | 32,4 | 34,4 | 36,3 | 38,1 | 39,8 | 42,3 |
| 70 | 0,7 | 6,7 | 12,7 | 18,2 | 20,7 | 23,1 | 27,6 | 31,7 | 33,6 | 35,5 | 37,3 | 39,0 | 41,4 |
| 80 | 0,7 | 6,5 | 12,4 | 17,7 | 20,2 | 22,6 | 27,0 | 31,0 | 32,9 | 34,7 | 36,5 | 38,2 | 40,6 |
| 85 | 0,7 | 6,4 | 12,2 | 17,5 | 20,0 | 22,3 | 26,7 | 30,7 | 32,6 | 34,4 | 36,1 | 37,8 | 40,2 |

3.53 “предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла (УСДТ)” — невозвратное УСД, которое срабатывает при повышении температуры и открывается для удаления газообразного водорода;

3.54 “топливная система транспортного средства” — комплект элементов оборудования, служащих для хранения водородного топлива или его подачи на топливный элемент (ТЭ) или в двигатель внутреннего сгорания (ДВС).

4. Применимость требований

4.1 Требования пункта 5 (с соблюдением условий проведения и процедур испытаний по пункту 6) применяются ко всем транспортным средствам, работающим на компримированном водороде и относящимся — когда это применимо — к следующим двум классам по массе:

- транспортным средствам малой грузоподъемности (ТСМГ): транспортные средства категории 1-1 и транспортные средства категорий 1-2 и 2 с ПМТС, не превышающей пороговое значение массы;
- транспортным средствам большой грузоподъемности (ТСБГ): транспортные средства категорий 1-2 и 2 с ПМТС, превышающей пороговое значение массы.

Каждая Договаривающаяся сторона может — для целей применения в рамках своих национальных или региональных правил — устанавливать пороговую массу, выбирая из значений 3500 либо 4536 кг³.

В пунктах 5 и 6, где оговариваются различия в положениях, применимых к ТСМГ и ТСБГ, используются именно эти сокращения.

³ Для целей применения настоящих Глобальных технических правил ООН за пороговое значение массы принимают 3500 кг, так что к числу ТСМГ относятся категории M₁, M₂ с ПМТС, не превышающей 3500 кг, и N₁, а к числу ТСБГ — категории M₂ с ПМТС, превышающей 3500 кг, M₃, N₂ и N₃.

- 4.2 Каждая Договаривающаяся сторона может сохранять свои существующие национальные испытания на столкновение (лобовое, боковое, заднее и с опрокидыванием) и для целей обеспечения соответствия использует предельные значения, указанные в пункте 5.2.2.
- 4.3 Требования Глобальных технических правил № 20 ООН применяются ко всем водородным транспортным средствам, оснащенным электрическим приводом с высоковольтной шиной.

5. Требования к эффективности

5.1 Система хранения сжатого водорода

В настоящем разделе установлены требования в отношении целостности системы хранения сжатого водорода.

- a) К первичным запорным устройствам относятся следующие устройства, которые могут быть выполнены в одном блоке:
- i) УСДТ;
 - ii) контрольный клапан; и
 - iii) запорный клапан.
- b) Каждая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению требовать, чтобы первичные запорные устройства устанавливались непосредственно на каждом резервуаре или внутри него.
- c) СХКВ должна отвечать требованиям в отношении испытания на эффективность, резюмируемым в таблице 2. Соответствующие процедуры испытаний приведены в пункте 6.

Таблица 2

Обзор требований в отношении квалификационных испытаний на эффективность

| <i>Пункт с указанием требований</i> | <i>Испытательный образец</i> |
|--|--|
| 5.1.1 Испытания для проверки базовых параметров | Резервуар или резервуар вместе с приспособлениями, в зависимости от конкретного случая |
| 5.1.2 Проверочные испытания на ресурс прочности | Резервуар или резервуар вместе с приспособлениями, в зависимости от конкретного случая |
| 5.1.3 Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях | СХКВ |
| 5.1.4 Проверочные испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании | СХКВ |
| 5.1.5 Проверочные испытания на износоустойчивость запорных устройств | Первичные запорные устройства |

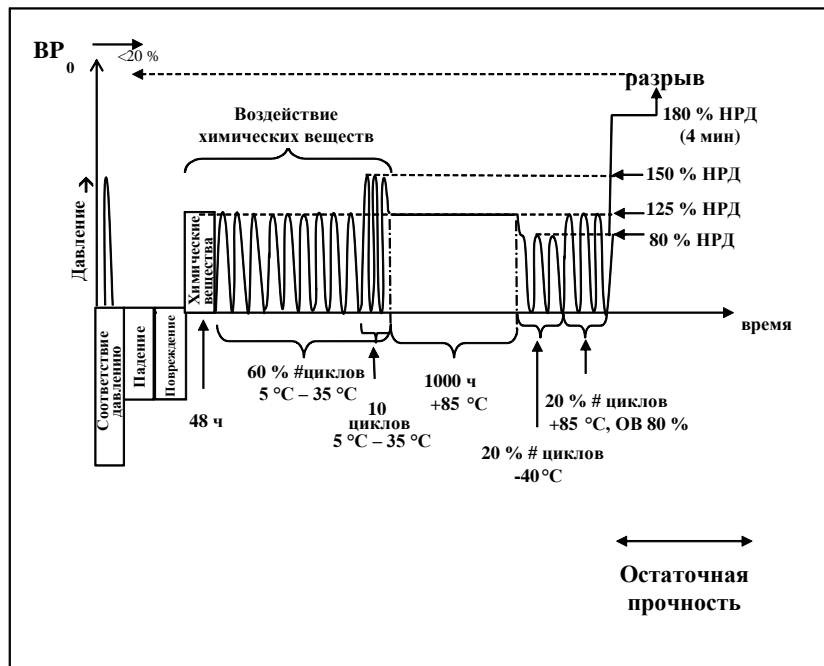
Все новые системы хранения сжатого водорода, предназначенные для использования на дорожных транспортных средствах, должны иметь НРД, составляющее 70 МПа или меньше.

Срок службы СХКВ определяется изготовителем, который устанавливает дату снятия с эксплуатации с учетом требований к эффективности, предъявляемых на соответствующем рынке.

- 5.1.1 Испытания для проверки базовых параметров
- 5.1.1.1 Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров
- Три (3) новых резервуара, произвольно отобранных для квалификационной проверки из партии изделий, состоящей по крайней мере из 10 резервуаров, подвергаются воздействию гидравлического давления до разрыва в соответствии с пунктом 6.2.2.1. Приспособления резервуара, если таковые имеются, также охватываются данным испытанием, если только изготовитель не сможет продемонстрировать, что наличие приспособлений резервуара не влияет на результаты испытания и процедуру его проведения. Изготовитель должен представить документацию (результаты измерений и статистические выкладки), позволяющую установить среднее давление разрыва новых резервуаров, VP_0 .
- Давление разрыва всех испытываемых резервуаров должно находиться в пределах $\pm 10\%$ VP_0 и быть больше или равно минимальному давлению VP_{min} , составляющему 200 % НРД. Однако в случае резервуаров с давлением 35 МПа или меньше Договаривающаяся сторона по своему усмотрению может вместо 200 % НРД использовать значение 225 % НРД.
- В случае резервуаров, состоящих главным образом из композитных материалов на основе углеродного волокна, минимальное давление разрыва должно быть больше 350 % НРД.
- 5.1.1.2 Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров
- Три (3) новых резервуара, произвольно отобранных для квалификационной проверки из партии изделий, подвергаются циклическому изменению гидравлического давления без разрыва в течение 22 000 циклов или до появления утечки в соответствии с пунктом 6.2.2.2. Приспособления резервуара, если таковые имеются, также охватываются данным испытанием, если только изготовитель не сможет продемонстрировать, что наличие приспособлений резервуара не влияет на результаты испытания и процедуру его проведения. Резервуар должен выдерживать без утечки 7500 или 11 000 (по усмотрению Договаривающихся сторон) циклов изменения давления в случае транспортных средств малой грузоподъемности и 11 000 циклов — в случае транспортных средств большой грузоподъемности.
- 5.1.2 Проверочные испытания на ресурс прочности (последовательные испытания под гидравлическим давлением)
- Если результаты всех трех измерений показателя циклов изменения давления на протяжении срока службы, произведенных в соответствии с пунктом 5.1.1.2, превышают 11 000 циклов или если расхождение между ними составляет не более $\pm 25\%$, то тогда испытанию по пункту 5.1.2 подвергают только один (1) резервуар. В противном случае испытанию по пункту 5.1.2 подвергают три (3) резервуара.
- Если не указано иное, испытания по пункту 5.1.2 проводят на резервуаре вместе с его приспособлениями (если таковые имеются), который представляет собой СХКВ без первичных запорных устройств.
- Резервуар не должен давать утечки на протяжении всей серии испытаний, которым последовательно подвергается отдельно взятая система и которые проиллюстрированы на рис. 1. Испытанию для целей подтверждения эксплуатационной пригодности подвергают по крайней мере одну систему, произвольно отобранную для квалификационной проверки из партии изделий. Специфические особенности применимых процедур испытаний приведены в пункте 6.2.3.

Рис. 1

Проверочное испытание на ресурс прочности (под гидравлическим давлением)



5.1.2.1 Испытание на соответствие давлению

Резервуар накачивают до заданного давления в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.3.1. Приспособления резервуара, если таковые имеются, также охватываются данным испытанием, если только изготовитель не сможет продемонстрировать, что наличие приспособлений резервуара не влияет на результаты испытания и процедуру его проведения. Резервуар, прошедший испытание на соответствие давлению на стадии изготовления, освобождается от данного испытания.

5.1.2.2 Испытание на сбрасывание (ударную нагрузку)

Резервуар вместе с его приспособлениями (если таковые имеются) один раз сбрасывают в одном из положений, указанных в пункте 6.2.3.2.

5.1.2.3 Испытание на повреждение поверхности

Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) подвергают испытанию на повреждение поверхности, указанному в пункте 6.2.3.3.

Цельнометаллические резервуары освобождаются от части испытания, связанной с образованием поверхностных дефектов.

5.1.2.4 Испытание на химическую стойкость и на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды

Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) подвергают воздействию химических веществ, с которыми возможен контакт в условиях дорожного движения, и циклическому изменению давления в соответствии с пунктом 6.2.3.4.

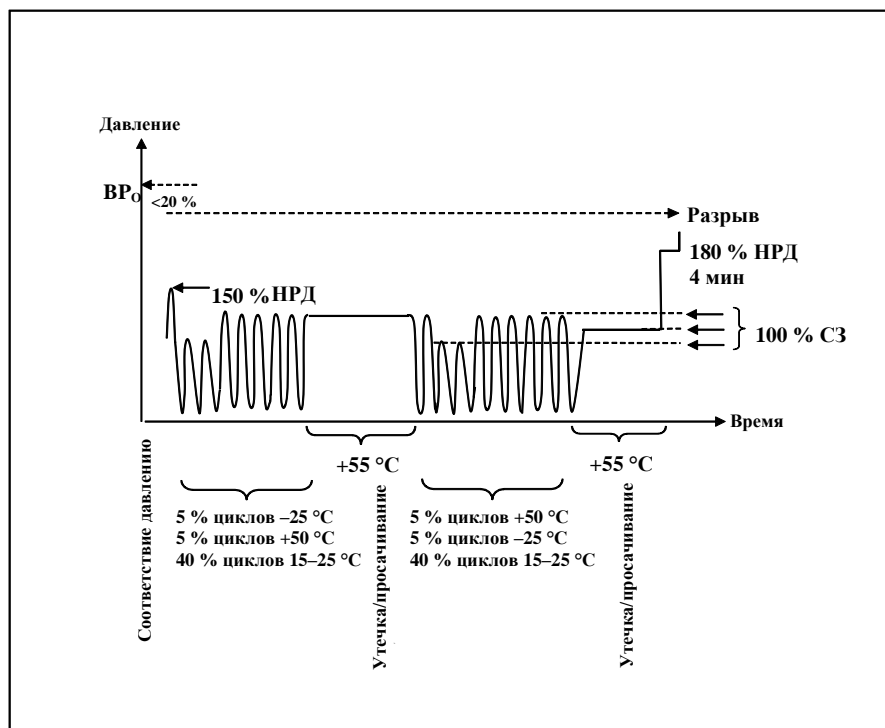
5.1.2.5 Испытание под статическим давлением при повышенной температуре

Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) подвергают воздействию давления в соответствии с пунктом 6.2.3.5.

- 5.1.2.6 Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах
Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) подвергаются циклическому изменению давления в соответствии с пунктом 6.2.3.6).
- 5.1.2.7 Испытание на соответствие остаточному давлению
Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) накачивают до заданного давления в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.3.1.
- 5.1.2.8 Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв
Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) подвергаются гидравлическому испытанию на разрыв. Давление разрыва, измеренное в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.2.1, должно составлять не менее 80 % от VP_0 , оговоренного изготовителем по пункту 5.1.1.1.
- 5.1.3 Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные пневматические испытания)
СХКВ подвергаются серии испытаний, показанной на рис. 2. Специфические особенности процедур испытаний применительно к СХКВ приведены в пункте 6.2.4.
На протяжении испытания СХКВ не должна давать утечки, а первичные запорные устройства должны сохранять свою функциональность.

Рис. 2

Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (пневматические)



5.1.3.1 Испытание на соответствие давлению

Резервуар СХКВ накачивают до заданного давления в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.3.1. Приспособления резервуара, если таковые имеются, также охватываются данным испытанием, если только изготовитель не сможет продемонстрировать, что наличие

приспособлений резервуара не влияет на результаты испытания и процедуру его проведения. Резервуар, прошедший испытание на соответствие давлению на стадии изготовления, освобождается от данного испытания.

5.1.3.2 Испытание (пневматическое) на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах СХКВ подвергают циклическому изменению давления в соответствии с пунктом 6.2.4.1.

5.1.3.3 Испытание (пневматическое) на утечку/просачивание при статическом давлении газа в условиях экстремальных температур

Испытание проводят в соответствии с пунктами 6.2.4.2 и 6.2.4.3.

Предельно допустимый расход водорода из СХКВ составляет 46 мл/ч на литр емкости СХКВ.

Ни в одной отдельной точке локальная внешняя утечка, измеренная в соответствии с пунктом 6.2.4.3, не должна превышать 0,005 мг/с (3,6 Нмл/мин).

5.1.3.4 Испытание (гидравлическое) на соответствие остаточному давлению

Резервуар вместе с его приспособлениями (если таковые имеются) накачивают до заданного давления в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.3.1.

5.1.3.5 Испытание (гидравлическое) для проверки остаточной прочности на разрыв

Резервуар вместе с его приспособлениями (если таковые имеются) подвергают гидравлическому испытанию на разрыв. Давление разрыва, измеренное в соответствии с процедурой, указанной в пункте 6.2.2.1, должно составлять не менее 80 % от VP_0 , оговоренного изготовителем по пункту 5.1.1.1.

5.1.4 Проверочные испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании

СХКВ подвергают двухэтапному испытанию на огнестойкость при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени, указанному в пункте 6.2.5.

В процессе испытания СХКВ заполняют до 100-процентной степени зарядки (СЗ) с использованием компримированного водорода в качестве испытательного газа.

СХКВ должна обеспечивать возможность стравливания содержимого с падением давления до уровня ниже 1 МПа в течение одного часа в случае ТСМГ или двух часов — в случае ТСБГ. Если стравливание происходит через предохранительные УСДТ, то этот процесс должен происходить постепенно и непрерывно. При испытании СХКВ на огнестойкость резервуар не должен давать разрыва. За исключением отводимых газов, сбрасываемых через УСДТ, любое газовыделение вследствие утечки, просачивания или стравливания из СХКВ, в том числе через стенки корпуса или соединения резервуара, другие элементы оборудования и арматуру, не должно приводить к образованию языков пламени длиной более 0,5 м.

Если по истечении указанного выше времени давление в СХКВ не упало до уровня ниже 1 МПа, то испытание СХКВ на огнестойкость прекращают и система считается не прошедшей данное испытание (даже если разрыва не происходит).

- 5.1.5 Проверочные испытания на износостойчивость первичных запорных устройств
- Первичные запорные устройства СХКВ, выполняющие функции УСДТ, контрольного клапана и запорного клапана, как предписано в пункте 5.1, должны отвечать требованиям, изложенным в остальной части настоящего пункта.
- 5.1.5.1 Квалификационные требования к УСДТ
- УСДТ должны отвечать следующим квалификационным требованиям в отношении эффективности:
- a) испытание на циклическое изменение давления (пункт 6.2.6.1.1);
 - b) ускоренное испытание на долговечность (пункт 6.2.6.1.2);
 - c) испытание на циклическое воздействие температуры (пункт 6.2.6.1.3);
 - d) испытание на стойкость к солевой коррозии (пункт 6.2.6.1.4);
 - e) испытание на воздействие жидкостей, используемых в транспортном средстве (пункт 6.2.6.1.5);
 - f) испытание на коррозионное растрескивание (пункт 6.2.6.1.6);
 - g) испытание на сбрасывание и виброустойчивость (пункт 6.2.6.1.7);
 - h) испытание на герметичность (пункт 6.2.6.1.8);
 - i) стендовое испытание на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9);
 - j) испытание на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10);
 - k) испытание на воздействие атмосферных условий (пункт 6.2.6.1.11).
- 5.1.5.2 Квалификационные требования к контрольному клапану и запорному клапану
- Блоки клапанов должны отвечать следующим квалифицированным требованиям в отношении эффективности:
- a) гидростатическое испытание на прочность (пункт 6.2.6.2.1);
 - b) испытание на герметичность (пункт 6.2.6.2.2);
 - c) испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах (пункт 6.2.6.2.3);
 - d) испытание на стойкость к солевой коррозии (пункт 6.2.6.2.4);
 - e) испытание на воздействие жидкостей, используемых в транспортном средстве (пункт 6.2.6.2.5);
 - f) испытание на воздействие атмосферных условий (пункт 6.2.6.2.6);
 - g) электрические испытания (пункт 6.2.6.2.7);
 - h) испытание на виброустойчивость (пункт 6.2.6.2.8);
 - i) испытание на коррозионное растрескивание (пункт 6.2.6.2.9).
- 5.1.6 Маркировка
- На каждом резервуаре или его приспособлениях прочно крепится табличка с указанием, по крайней мере, следующей информации: наименование изготовителя, серийный номер, дата изготовления, НРД, вид топлива и дата снятия с эксплуатации, а также число циклов изменения давления, установленных для серии испытаний, проведенных по пункту 5.1.1.2. Любая табличка, которая крепится в соответствии с положениями настоящего пункта, должна оставаться на своем месте,

а надпись на ней должна быть удобочитаемой на протяжении всего рекомендуемого изготовителем срока службы резервуара.

Каждая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению ввести максимальную продолжительность срока службы с таким расчетом, чтобы дата снятия с эксплуатации не превышала 25 лет, считая с даты изготовления.

- 5.2 Топливная система транспортного средства
- В настоящем разделе установлены требования в отношении топливной системы транспортного средства, в которую входят СХКВ, трубопроводы, соединения и элементы оборудования, контактирующие с водородом.
- 5.2.1 Целостность топливной системы в условиях эксплуатации
- 5.2.1.1 Требования к заправочному блоку
- 5.2.1.1.1 Блок заправки компримированным водородом должен предотвращать протиток топлива и его утечку в атмосферу. Процедура испытания соответствует предусмотренной по пункту 6.2.6.2.2 для испытания на герметичность.
- 5.2.1.1.2 Вблизи заправочного блока, например с внутренней стороны наливной горловины, прикрепляют наклейку с указанием следующей информации: вид топлива (например, “КГВ” для газообразного водорода), НРД, МДЗ и дата снятия резервуаров с эксплуатации.
- 5.2.1.1.3 Заправочный блок монтируют на транспортном средстве таким образом, чтобы обеспечивалась принудительная блокировка заправочного пистолета. Блок должен быть защищен от всякого несанкционированного манипулирования, а также от попадания пыли и влаги (например, за счет установки в запирающемся отсеке). Процедура испытания предполагает визуальный осмотр.
- 5.2.1.1.4 Заправочный блок не должен монтироваться в зоне расположения внешних энергопоглощающих элементов транспортного средства (в частности, бампера) и не должен устанавливаться в пассажирском салоне, багажном отделении и других местах, где может скапливаться водород и где отсутствует достаточная вентиляция. Процедура испытания предполагает визуальный осмотр.
- 5.2.1.2 Защита систем низкого давления от избыточного давления (процедура испытания по пункту 6.1.6)
- На выходе регулятора давления система хранения водорода должна быть защищена от избыточного давления, обусловленного возможным выходом регулятора из строя. Давление, на которое отрегулировано устройство защиты от избыточного давления, не должно превышать максимально допустимое рабочее давление соответствующего узла системы хранения водорода.
- 5.2.1.3 Системы стравливания водорода
- 5.2.1.3.1 Системы сброса давления (процедура испытания по пункту 6.1.6)
- а) Выходное отверстие вытяжного трубопровода, если таковой имеется, для стравливания газообразного водорода из СХКВ через предохранительное(ые) УСДТ должно быть защищено от попадания грязи и влаги.
- б) Газообразный водород, выводимый из СХКВ через УСДТ, не должен стравливаться таким образом, чтобы выброс водорода происходил в направлении:

- i) закрытых или полужакрытых кожухом пространств;
 - ii) любых надколесных дуг транспортного средства;
 - iii) резервуаров с газообразным водородом;
 - iv) ПСАЭ транспортного средства.
- 5.2.1.3.2 Система выпуска транспортного средства (процедура испытания по пункту 6.1.4)
- На выходе из системы выпуска транспортного средства уровень концентрации водорода:
- a) в среднем не должен превышать 4,0 % по объему за любой 3-секундный отрезок времени движения в обычных условиях эксплуатации, включая момент запуска и остановки двигателя; и
 - b) в любое время не должен превышать 8,0 % (процедура испытания по пункту 6.1.4).
- 5.2.1.4 Защита от условий, чреватых опасностью воспламенения: единичная неисправность
- 5.2.1.4.1 При стравливании, утечке и/или просачивании газообразного водорода из топливной системы транспортного средства он не должен поступать непосредственно в пассажирский салон или багажное отделение либо в любые закрытые или полужакрытые кожухом пространства внутри транспортного средства, где имеются незащищенные источники воспламенения.
- 5.2.1.4.2 Любой единичный сбой на выходе основного запорного клапана не должен приводить к превышению предельного уровня концентрации водорода в воздухе в пассажирском салоне (процедура испытания по пункту 6.1.3.2).
- 5.2.1.4.3 Если в процессе эксплуатации происходит единичный сбой, в результате которого объемная концентрация водорода в воздухе в закрытых или полужакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает 3,0 %, то в этом случае предусматривается подача предупреждающего сигнала (пункт 5.2.1.6). Если же объемная концентрация водорода в воздухе в закрытых или полужакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает 4,0 %, то в этом случае должен срабатывать основной запорный клапан, полностью перекрывая систему хранения (процедура испытания по пункту 6.1.3).
- 5.2.1.5 Утечка в топливной системе
- Заправочный трубопровод не должен давать утечки на выходе основного(ых) запорного(ых) клапана(ов). Соответствие этому требованию проверяют при НРД (процедура испытания по пункту 6.1.5).
- 5.2.1.6 Контрольный сигнал предупреждения водителя
- Предупреждение подается при помощи визуального сигнала или текстового сообщения. Контрольный сигнал должен отвечать следующим требованиям:
- a) быть видимым для водителя, находящегося на предусмотренном водительском сиденье с пристегнутым ремнем безопасности;
 - b) загораться желтым цветом при выявлении сбоев в работе системы (например, при автоматическом отключении, коротком замыкании, неисправности датчика) и красным — в случаях, подпадающих под требования пункта 5.2.1.4.3;

- с) в зажженном состоянии быть видимым для водителя в условиях вождения как в дневное, так и ночное время;
- д) продолжать гореть, пока сохраняется >3,0-процентная концентрация или выявление сбоя в системе и если система блокировки зажигания приведена в положение “включено” либо пока работает тяговая установка.

5.2.2 Целостность топливной системы после столкновения

Каждая Договаривающаяся сторона может сохранять свои существующие национальные испытания на столкновение (лобовое, боковое, заднее и с опрокидыванием), руководствуясь при этом предельными значениями по пунктам 5.2.2.1–5.2.2.3.

5.2.2.1 Предельные уровни утечки топлива

Объемный расход газообразного водорода при его утечке в среднем не должен превышать 118 Нл в минуту за период времени, Δt , определенный согласно пункту 6.1.1.1 или 6.1.1.2.

5.2.2.2 Предельная концентрация в закрытых кожухом пространствах

Утечка газообразного водорода не должна приводить к тому, чтобы объемная концентрация водорода в воздухе в пассажирском салоне и багажном отделении превышала 4,0 % (процедура испытания по пункту 6.1.2). Выполнение данного требования подтверждается в случае срабатывания запорного клапана системы хранения в течение 5 секунд после столкновения и при отсутствии утечки из системы хранения.

5.2.2.3 Смещение резервуара

Резервуар(ы) должен (должны) продолжать оставаться закрепленным(и) на транспортном средстве как минимум в одной точке крепления.

6. Условия проведения и процедуры испытаний

6.1 Испытания на проверку соответствия требованиям в отношении целостности топливной системы

6.1.1 Испытание системы хранения компримированного водорода на утечку после столкновения

Для оценки уровня утечки водорода после столкновения проводят краш-тесты, аналогичные испытаниям, уже применяемым каждой Договаривающейся стороной в рамках своей юрисдикции.

Перед началом краш-теста на СХКВ устанавливают контрольно-измерительные приборы для проведения требуемых измерений давления и температуры, если стандартное приборное оснащение транспортного средства не обеспечивает предписанной точности измерения.

Затем СХКВ при необходимости продувают воздухом с соблюдением указаний изготовителя для удаления из резервуара возможных примесей перед заполнением системы компримированным водородом или гелием. Поскольку давление в системе хранения варьируется в зависимости от температуры, давление заправки задают с учетом температуры. Заданное давление определяют при помощи следующего уравнения:

$$P_{\text{target}} = \text{НРД} \times (273 + T_o)/288,$$

где: НРД — номинальное рабочее давление (МПа), T_o — температура окружающей среды, при которой предполагается термостатирование системы хранения, а P_{target} — заданное давление заправки после стабилизации температуры.

Резервуар заполняют минимум на 95 % заданного давления заправки и перед началом краш-теста выдерживают для стабилизации температуры.

Непосредственно перед ударом основной запорный клапан и отсечные клапаны, расположенные на выходе топливопровода для подачи газообразного водорода, должны быть в штатном рабочем состоянии и оставаться открытыми.

6.1.1.1 Испытание на герметичность после столкновения — система хранения компримированного водорода, заполненная компримированным водородом

Давление газообразного водорода P_0 (МПа) и температуру T_0 (°C) измеряют непосредственно перед ударом, а затем через определенный временной интервал Δt (мин) после удара. Отсчет интервала Δt продолжительностью не менее 60 минут начинают после того, как транспортное средство полностью остановится после удара. При необходимости временной интервал Δt увеличивают в качестве поправки на погрешность измерения применительно к системам хранения большого объема с рабочим давлением до 70 МПа; в этом случае Δt может быть рассчитан при помощи следующего уравнения:

$$\Delta t = V_{\text{CHSS}} \times \text{НРД}/1000 \times ((-0,027 \times \text{НРД} + 4) \times R_s - 0,21) - 1,7 \times R_s,$$

где: $R_s = P_s/\text{НРД}$, P_s — диапазон показаний, снятых датчиком давления (МПа), НРД — номинальное рабочее давление (МПа), V_{CHSS} — объем СХКВ (л), а Δt — интервал времени (мин). Если рассчитанное значение Δt составляет меньше 60 минут, то Δt принимают равным 60 минутам.

Первоначальная масса водорода в СХКВ может быть рассчитана следующим образом:

$$P_o' = P_o \times 288/(273 + T_o),$$

$$\rho_o' = -0,0027 \times (P_o')^2 + 0,75 \times P_o' + 1,07,$$

$$M_o = \rho_o' \times V_{\text{CHSS}}.$$

Соответственно, конечная масса водорода в СХКВ, M_f , в конце временного интервала Δt может быть рассчитана следующим образом:

$$P_f' = P_f \times 288/(273 + T_f),$$

$$\rho_f' = -0,0027 \times (P_f')^2 + 0,75 \times P_f' + 1,07,$$

$$M_f = \rho_f' \times V_{\text{CHSS}},$$

где: P_f — замеренное конечное давление (МПа) в конце временного интервала, а T_f — замеренная конечная температура (°C).

Средний расход водорода (который не должен превышать критерия по пункту 5.2.2.1) за определенный временной интервал составляет, соответственно,

$$V_{\text{H}_2} = (M_f - M_o)/\Delta t \times 22,41/2,016 \times (P_{\text{target}}/P_o),$$

где: V_{H_2} — средний объемный расход (Нл/мин) за интервал времени, а показатель P_{target}/P_o вводит поправку на разность между измеренным исходным давлением, P_o , и заданным давлением заправки P_{target} .

6.1.1.2 Испытание на герметичность после столкновения — система хранения компримированного водорода, заполненная компримированным гелием

Давление гелия, P_0 (МПа), и температуру, T_0 (°C), измеряют непосредственно перед ударом, а затем через определенный временной интервал после удара. Отсчет интервала времени Δt продолжительностью не менее 60 минут начинают после того, как транспортное средство полностью остановится после удара.

При необходимости временной интервал Δt увеличивают в качестве поправки на погрешность измерения применительно к СХКВ большого объема с рабочим давлением до 70 МПа; в этом случае Δt может быть рассчитан при помощи следующего уравнения:

$$\Delta t = V_{\text{CHSS}} \times \text{НРД}/1000 \times ((-0,028 \times \text{НРД} + 5,5) \times R_s - 0,3) - 2,6 \times R_s,$$

где: $R_s = P_s/\text{НРД}$, P_s — диапазон показаний, снятых датчиком давления (МПа), НРД — номинальное рабочее давление (МПа), V_{CHSS} — объем СХКВ (л), а Δt — интервал времени (мин). Если значение Δt составляет меньше 60 минут, то Δt принимают равным 60 минутам.

Первоначальную массу гелия в СХКВ рассчитывают следующим образом:

$$P_o' = P_o \times 288/(273 + T_o),$$

$$\rho_o' = -0,0043 \times (P_o')^2 + 1,53 \times P_o' + 1,49,$$

$$M_o = \rho_o' \times V_{\text{CHSS}}.$$

Конечную массу гелия в СХКВ в конце временного интервала Δt рассчитывают следующим образом:

$$P_f' = P_f \times 288/(273 + T_f),$$

$$\rho_f' = -0,0043 \times (P_f')^2 + 1,53 \times P_f' + 1,49,$$

$$M_f = \rho_f' \times V_{\text{CHSS}},$$

где: P_f — замеренное конечное давление (МПа) в конце временного интервала, а T_f — замеренная конечная температура (°C).

Средний расход гелия за определенный временной интервал составляет, соответственно,

$$V_{\text{He}} = (M_f - M_o)/\Delta t \times 22,41/4,003 \times (P_{\text{target}}/P_o),$$

где: V_{He} — средний объемный расход (Нл/мин) за интервал времени, а показатель P_{target}/P_o вводит поправку на разность между измеренным исходным давлением (P_o) и заданным давлением заправки (P_{target}).

Преобразование среднего объемного расхода гелия в средний расход водорода производят по следующей формуле:

$$V_{\text{H}_2} = V_{\text{He}}/0,75,$$

где: V_{H_2} — соответствующий средний объемный расход водорода (который не должен превышать критерия по пункту 5.2.2.1).

6.1.2 Испытание на определение уровня концентрации в закрытых кожухом пространствах после столкновения

Результаты измерений, зарегистрированные в ходе краш-теста, служат для оценки потенциального уровня утечки водорода (или гелия) (процедура испытания по пункту 6.1.1).

Датчики выставляют на измерение либо увеличения концентрации водорода или гелия, либо уменьшения содержания кислорода (обусловленного вытеснением воздуха при утечке водорода/гелия).

Датчики калибруют по соответствующим эталонам для обеспечения точности $\pm 5\%$ при заданных предельных уровнях объемной концентрации в воздухе, составляющих 4,0 % для водорода или 3,0 % для гелия, а полный диапазон измерений должен как минимум на 25 % превышать заданные критерии. Датчик должен обеспечивать 90-процентное срабатывание на изменение концентрации, соответствующее отклонению стрелки на полную шкалу, в течение 10 секунд.

Перед началом краш-теста датчики устанавливают в пассажирском салоне и багажном отделении транспортного средства следующим образом:

- a) на расстоянии в пределах 250 мм от верхней облицовки над сиденьем водителя или вблизи внутренней поверхности крыши по центру пассажирского салона;
- b) на расстоянии в пределах 250 мм от пола перед задним (или самым задним) сиденьем в пассажирском салоне;
- c) на расстоянии в пределах 100 мм от внутренней поверхности крыши багажного отделения транспортного средства, которое непосредственно не подвергается удару в ходе данного краш-теста.

Датчики надежно закрепляют на элементах конструкции или сиденьях транспортного средства и для целей запланированного краш-теста защищают от обломков, осколков и срабатывающих подушек безопасности. Результаты измерений, проводимых после столкновения, регистрируют при помощи приборов, размещенных внутри транспортного средства, или же посредством дистанционной передачи снятых показаний.

Транспортное средство может находиться либо на открытом воздухе на площадке, защищенной от воздействия ветра и солнечных лучей, либо в закрытом помещении достаточно большого размера и с принудительной вентиляцией во избежание увеличения концентрации водорода в пассажирском салоне и багажном отделении до уровней, превышающих более чем на 10 % заданные критерии.

Сбор послеаварийных данных в закрытых кожухом пространствах начинают после полной остановки транспортного средства. Показания датчиков считываются по крайней мере каждые 5 секунд, и сбор данных продолжается в течение 60 минут после удара. Для обеспечения “сглаживания” побочных помех и устранения эффекта случайных частных значений применительно к измерениям допускается запаздывание первого порядка (временная константа) максимум до 5 секунд.

Отфильтрованные показания каждого датчика в любое время на протяжении 60 минут после краш-теста должны быть ниже заданных предельных уровней концентрации, составляющих 4,0 % для водорода или 3,0 % для гелия.

6.1.3 Испытание на соответствие предъявляемым требованиям в условиях единичного сбоя

В порядке выполнения требований пункта 5.2.1.4.2 испытание проводят в соответствии с процедурой, изложенной в пункте 6.1.3.2.

В порядке выполнения требований пункта 5.2.1.4.3 испытание проводят в соответствии с процедурой, изложенной либо в пункте 6.1.3.1, либо в пункте 6.1.3.2.

6.1.3.1 Процедура испытания транспортных средств, оборудованных датчиками утечки газообразного водорода

6.1.3.1.1 Условия проведения испытания

6.1.3.1.1.1 Испытуемое транспортное средство. Тяговую установку испытуемого транспортного средства запускают, прогревают до обычной рабочей температуры и оставляют включенной на протяжении всего испытания. В случае транспортного средства не на топливных элементах его двигатель прогревают и оставляют работать в режиме холостого хода. Если испытуемое транспортное средство оборудовано системой

автоматического выключения двигателя на холостом ходу, то принимают меры во избежание остановки двигателя.

- 6.1.3.1.1.2 Испытательный газ. Используют две водородно-воздушные смеси: с концентрацией водорода $>3,0\%$ — для проверки работы функции предупреждения, и с концентрацией водорода $>4,0\%$ — для проверки работы функции отсечки. Надлежащие уровни концентрации подбирают исходя из рекомендации изготовителя (или технических характеристик детектора).

ПРИМЕЧАНИЕ: Хранение готовых водородно-воздушных смесей с концентрацией водорода более 2% в баллонах со сжатым газом может быть ограничено или запрещено в различных юрисдикциях, где расположены испытательные лаборатории. В качестве альтернативы допускается приготовление газовых смесей с концентрацией водорода до 4% на месте на испытательной площадке при помощи смесительной установки, которая нагнетает требуемое количество водорода в поток струящегося воздуха. Затем водородно-воздушная смесь подается по гибкому шлангу к точке выпуска внутри транспортного средства.

- 6.1.3.1.2 Метод испытания

- 6.1.3.1.2.1 Подготовка к испытанию. Испытание проводят в условиях, исключающих любое воздействие ветра.

- a) Шланг подачи испытательного газа подсоединяют к детектору утечки газообразного водорода.
- b) Детектор утечки водорода накрывают чехлом для поддержания вокруг него насыщенной газом среды.

- 6.1.3.1.2.2 Проведение испытания

- a) Испытательный газ подают под напором на детектор утечки водорода.
- b) Надлежащее функционирование системы предупреждения подтверждают в течение 10 секунд с использованием в ходе испытания газовой смеси для проверки работы функции предупреждения.
- c) Срабатывание основного запорного клапана подтверждают в течение 10 секунд с использованием в ходе испытания газовой смеси для проверки работы функции отсечки. Функционирование основного запорного клапана, перекрывающего подачу водорода, может подтверждаться, например, посредством контроля напряжения в проводе электропитания клапана или путем фиксации звука активации запорного клапана.

- 6.1.3.2 Процедура испытания на целостность закрытых кожухом пространств и систем обнаружения

- 6.1.3.2.1 Подготовка:

- 6.1.3.2.1.1 испытание проводят в условиях, исключающих любое воздействие ветра;

- 6.1.3.2.1.2 особое внимание уделяют внешним условиям при испытании, поскольку по ходу испытания могут образовываться легко воспламеняющиеся водородно-воздушные смеси;

- 6.1.3.2.1.3 до начала испытания транспортное средство проходит подготовку для имитации удаления водорода из системы хранения при помощи функции дистанционного контроля. Удаление водорода может быть продемонстрировано с помощью использования внешнего источника подачи топлива без внесения изменений в топливопроводы испытуемого транспортного средства. Количество, местоположение и расход в точках срабатывания на выходе основного запорного клапана определяются

- изготовителем транспортного средства с учетом наихудшего из возможных сценариев утечки при единичной неисправности. Суммарный расход по всем дистанционно контролируемым точкам стравливания должен быть достаточным для подтверждения надлежащей работы автоматических функций “предупреждения” и отсечки водорода;
- 6.1.3.2.1.4 для целей данного испытания в тех местах, где может скапливаться водород, главным образом в пассажирском салоне (например, около верхней облицовки), устанавливают концентрационный детектор водорода при проведении испытаний на соответствие пункту 5.2.1.4.2, а в закрытых или полужакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства, где в результате имитируемой утечки может скапливаться водород, устанавливают концентрационные детекторы водорода при проведении испытаний на соответствие пункту 5.2.1.4.3 (см. пункт 6.1.3.2.1.3).
- 6.1.3.2.2 Процедура:
- 6.1.3.2.2.1 двери, окна и прочие крышки и кожухи транспортного средства закрывают;
- 6.1.3.2.2.2 тяговую установку запускают, прогревают до обычной рабочей температуры и оставляют работать в режиме холостого хода на протяжении всего испытания;
- 6.1.3.2.2.3 при помощи функции дистанционного контроля имитируют утечку;
- 6.1.3.2.2.4 уровень концентрации водорода измеряют непрерывно до тех пор, пока концентрация больше не будет расти на протяжении 3 минут. При испытании на соответствие требованиям пункта 5.2.1.4.3 объем имитируемой утечки затем увеличивают при помощи функции дистанционного контроля вплоть до полного закрытия основного запорного клапана и активации контрольного предупреждающего сигнала. Срабатывание основного запорного клапана, перекрывающего подачу водорода, может подтверждаться посредством контроля напряжения в проводе электропитания клапана или путем фиксирования звука активации запорного клапана;
- 6.1.3.2.2.5 в случае проведения испытания на соответствие требованиям пункта 5.2.1.4.2 испытание считается успешно пройденным, если концентрация водорода в пассажирском салоне не превышает 1,0 %; в случае проведения испытания на соответствие пункту 5.2.1.4.3 испытание считается успешно пройденным, если функции контрольного предупреждения и отсечки срабатывают на уровнях (или ниже уровней) концентрации, указанных в пункте 5.2.1.4.3; в противном случае испытание считается не пройденным и система не утверждается для целей использования на транспортном средстве.
- 6.1.4 Испытание системы выпуска транспортного средства на соответствие установленным требованиям
- 6.1.4.1 Силовую установку испытуемого транспортного средства (например, батарею топливных элементов или двигатель) прогревают до обычной рабочей температуры.
- 6.1.4.2 Перед началом использования измерительное устройство прогревают до его обычной рабочей температуры.
- 6.1.4.3 Измерительную секцию прибора помещают по центру потока отработавших газов на расстоянии в пределах 100 мм от отверстия для выпуска отработавших газов в атмосферу.
- 6.1.4.4 Концентрацию водорода в отработавших газах измеряют непрерывно с соблюдением следующей последовательности:
- а) силовую установку заглушают;

- b) по завершении этапа заглушения силовую установку сразу же запускают;
 - c) по завершении этапа запуска в соответствии с тем, как это определено изготовителем, силовую установку выключают и измерения продолжают до полной остановки силового агрегата.
- 6.1.4.5 Измерительное устройство должно иметь следующие характеристики:
- a) время срабатывания измерительного устройства (t_0-t_{90}) должно составлять менее 2 секунд, при этом t_0 соответствует моменту начала изменения концентрации водорода, а t_{90} — моменту, когда она достигает значения в 90 % от итогового показателя;
 - b) временное разрешение должно составлять менее 300 миллисекунд (частота дискретизации >3,33 Гц).
- 6.1.5 Испытание на соответствие предъявляемым требованиям в условиях утечки из топливопровода
- 6.1.5.1 Силовую установку испытуемого транспортного средства (например, батарею топливных элементов или двигатель) прогревают и оставляют работать при обычной рабочей температуре с поддержанием в топливопроводах рабочего давления.
- 6.1.5.2 Оценку уровня утечки водорода проводят на легкодоступных участках топливопровода в секции высокого давления перед входом в батарею топливных элементов (или двигатель) при помощи детектора утечки газа или с использованием жидкости для обнаружения утечки, например мыльного раствора.
- 6.1.5.3 Обнаружение утечки водорода проводят главным образом в местах соединений.
- 6.1.5.4 При использовании детектора утечки газа его устанавливают как можно ближе к топливопроводу и показания считывают за период, составляющий не менее 10 секунд.
- 6.1.5.5 При использовании жидкости, сигнализирующей об утечке, обнаружение утечки газообразного водорода проводят сразу же после нанесения раствора. Кроме того, через несколько минут после нанесения раствора проводят визуальные проверки для выявления пузырьков, вызванных остаточной утечкой.
- 6.1.6 Проверка установки
- Систему подвергают визуальному осмотру для целей проверки ее соответствия.
- 6.2 Процедуры испытаний системы хранения компримированного водорода
- 6.2.1 Процедуры испытаний на проверку соответствия СХКВ установленным требованиям включают следующее:
- в пунктах 6.2.2 и 6.2.3 оговорены процедуры испытаний для проверки базовых эксплуатационных параметров (требования пункта 5.1.1) и на ресурс прочности (требования пункта 5.1.2);
- в пункте 6.2.4 оговорены процедуры испытаний на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (требования пункта 5.1.3);
- в пункте 6.2.5 оговорены процедуры испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании (требования пункта 5.1.4);
- в пункте 6.2.6 оговорены процедуры испытаний на износостойчивость первичных запорных устройств (требования пункта 5.1.5).

Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды 20 ± 15 °С.

Если не указано иное, регистрацию данных при циклическом изменении давления производят с частотой не менее 1 Гц.

Если не указано иное, изготовителем могут быть рекомендованы приемлемые допуски на допускающие отклонения параметры испытаний. Вместо жесткого следования рекомендациям изготовителя можно использовать предлагаемые допуски, которые приведены в разделе О.

6.2.2 Процедуры испытаний для проверки базовых эксплуатационных параметров

6.2.2.1 Испытание на разрыв (под гидравлическим давлением)

Испытание на разрыв проводят при температуре окружающей среды с использованием гидравлической жидкости. Скорость увеличения давления должна составлять $\leq 1,4$ МПа в секунду при давлении, превышающем на 150 % номинальное рабочее давление. Если скорость нагнетания при давлениях, превышающих НРД на 150 %, составляет более 0,35 МПа/с, то тогда либо резервуар помещают между источником давления и устройством измерения давления, либо время, в течение которого давление в резервуаре поддерживается на уровне, превышающем расчетное давление разрыва, должно составлять более 5 секунд. Давление разрыва резервуара регистрируют.

6.2.2.2 Испытание (гидравлическое) на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды

Испытание проводят в следующем порядке и с соблюдением параметров испытания, указанных в таблице 3:

- a) испытательный образец заполняют гидравлической жидкостью;
- b) в начале испытания испытательный образец и жидкость выдерживают для целей стабилизации при температуре, указанной в таблице 3. На протяжении всей последовательности циклов изменения давления поддерживают заданную температуру окружающей среды, гидравлической жидкости и поверхности испытательного образца. В процессе циклического изменения давления температура испытательного образца может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды;
- c) испытательный образец подвергают циклическому изменению давления от 2 ± 1 МПа до заданного давления, указанного в таблице 3;
- d) температуру закачиваемой в резервуар гидравлической жидкости поддерживают на заданном уровне и контролируют в точке, расположенной максимально близко к впускному отверстию резервуара.

Примечание: Изготовитель резервуара может указать режим цикла нагнетания гидравлического давления, позволяющий избежать преждевременного выхода резервуара из строя ввиду условий испытания, выходящих за рамки расчетного предела прочности конструкции резервуара.

Таблица 3

Циклы изменения давления и соответствующие условия

| <i>Назначение</i> | <i>Число циклов</i> | <i>Заданное давление</i> | <i>Температура</i> | <i>Частота</i> |
|---|--------------------------------|--------------------------|---|---------------------|
| Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров (пункт 5.1.1.2) | 22 000 или до появления утечки | ≥125 % НРД | Окружающей среды: 20 ±15 °С Гидравлической жидкости: 20 ±15 °С | ≤10 циклов в минуту |

6.2.3 Процедуры испытаний на ресурс прочности (требования пункта 5.1.2)

6.2.3.1 Испытание на соответствие давлению

Резервуар вместе с его приспособлениями (в случае применимости) постепенно и равномерно заполняют под давлением гидравлической жидкостью или газом до достижения заданного испытательного давления и затем выдерживают в течение периода времени, указанного в таблице 4.

Таблица 4

Заданное значение давления и продолжительность выдерживания при испытании на соответствие давлению

| <i>Назначение</i> | <i>Заданное давление</i> | <i>Продолжительность выдерживания</i> |
|---|--------------------------|---------------------------------------|
| Испытание на соответствие давлению (для новых резервуаров) (пункты 5.1.2.1 и 5.1.3.1) | ≥150 % НРД | ≥30 секунд |
| Испытание на соответствие остаточному давлению (пункты 5.1.2.7 и 5.1.3.4) | ≥180 % НРД | ≥4 минут |

6.2.3.2 Испытание на сбрасывание (ударную нагрузку) (порожний резервуар)

Резервуар вместе с его приспособлениями (если таковые имеются) подвергаются испытанию на сбрасывание без создания внутреннего давления или со снятыми клапанами. Поверхность, на которую падает испытательный образец, должна быть гладкой и горизонтальной и представлять собой бетонную подушку или иного рода настил, имеющий эквивалентную твердость. Во время испытания на падение предпринимать попыток избежать отскакивания испытательного образца или его опрокидывания не нужно, однако при проведении испытания на вертикальное сбрасывание надлежит принимать меры во избежание опрокидывания.

Сбрасывание испытательного образца в любом из следующих четырех положений:

- a) в горизонтальном положении с высоты 1,8 м, измеренной от нижней части до поверхности, на которую он сбрасывается. В случае аксиально-несимметричного резервуара наиболее выступающая зона должна быть направлена вниз и выровнена по горизонтали; место подсоединения запорного клапана и центр тяжести должны — насколько это возможно — быть выровнены по горизонтали;
- b) вертикально (местом подсоединения запорного клапана вверх) с высоты, рассчитанной исходя из потенциальной

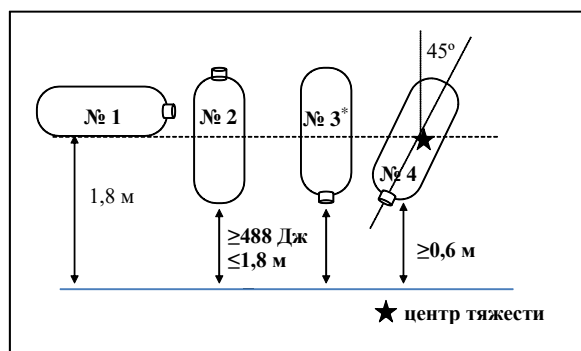
энергии 488 Дж. Высота расположения нижнего конца ни в коем случае не должна быть меньше 0,1 м или больше 1,8 м. В случае аксиально-несимметричного резервуара место подсоединения запорного клапана и центр тяжести должны быть выровнены по вертикали;

- с) вертикально (местом подсоединения запорного клапана вниз) с высоты, рассчитанной исходя из потенциальной энергии 488 Дж. Высота расположения нижнего конца ни в коем случае не должна быть меньше 0,1 м или больше 1,8 м. В случае симметричного резервуара (с зеркальным расположением горловин) сбрасывания в этом положении не требуется. В случае аксиально-несимметричного резервуара место подсоединения запорного клапана и центр тяжести должны быть выровнены по вертикали;
- д) вертикально (местом подсоединения запорного клапана вниз) под углом 45° таким образом, чтобы высота его центра тяжести от земли составляла $\leq 1,8$ м. Однако если нижний конец находится на расстоянии менее 0,6 м от земли, то угол падения изменяют таким образом, чтобы минимальная высота составляла 0,6 м, а центр тяжести был расположен на высоте $\leq 1,8$ м от земли. В случае аксиально-несимметричного резервуара линия, проходящая через место подсоединения запорного клапана и центр тяжести, должна отклоняться от вертикали на угол в 45° , так что место подсоединения запорного клапана становится самой низкой точкой.

На рисунке ниже показаны четыре положения, в которых производят сбрасывание.

Рис. 3

Положения, в которых производят сбрасывание



6.2.3.3 Испытание на повреждение поверхности (порожного резервуара)

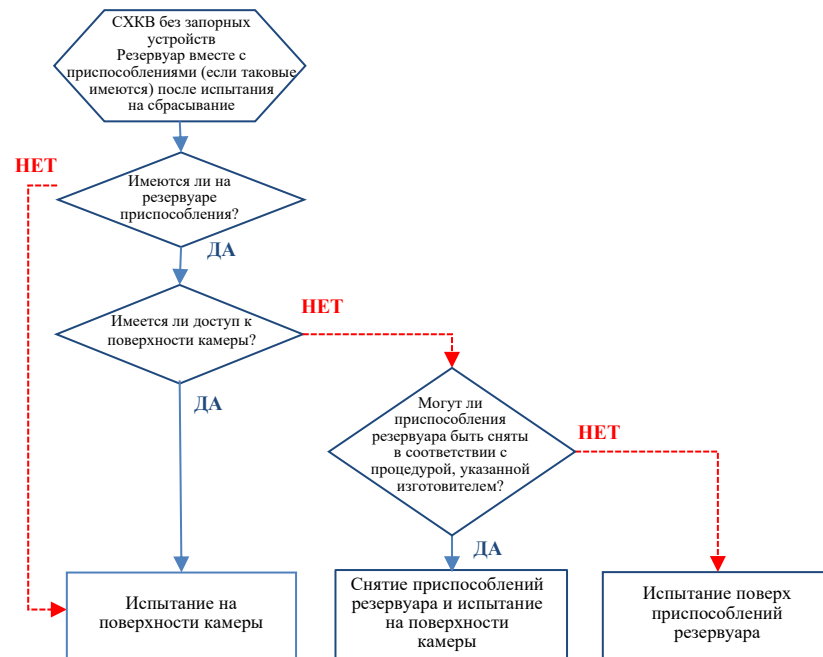
Испытания на повреждение поверхности и испытания на химическую стойкость (пункт 6.2.3.4) проводят на поверхности находящейся под давлением камеры резервуара, если имеется возможность — несмотря на наличие приспособлений резервуара — получить к ней доступ.

При наличии возможности снятия приспособлений резервуара в соответствии с процедурой, указанной изготовителем, это должно быть сделано, и испытания проводят на поверхности находящейся под давлением камеры резервуара.

В противном случае испытания проводят поверх приспособлений резервуара, как указано на рисунке 4.

Рис. 4

Блок-схема испытания на повреждение поверхности



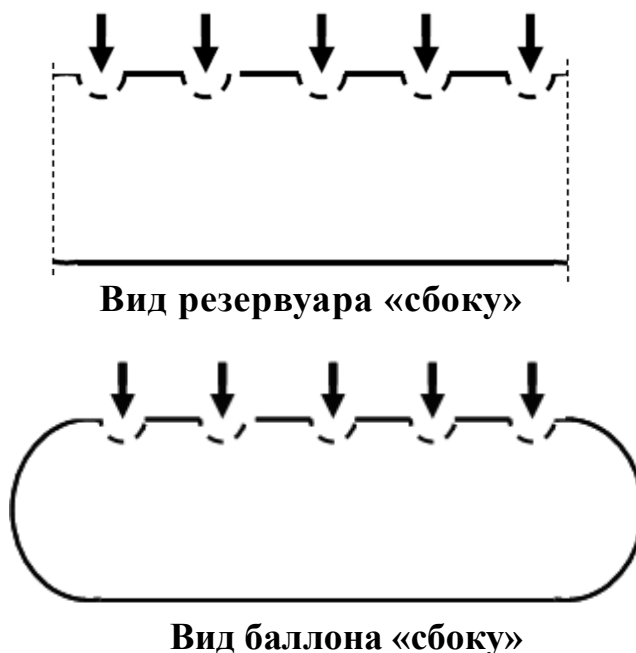
Испытание проводят в следующей последовательности:

- a) имитация растрескивания поверхности: на указанную выше поверхность при помощи ножовки наносят насечку глубиной не менее 0,75 мм и длиной 200 мм.

Если крепление резервуара к транспортному средству обеспечивается за счет выштампованных участков на корпусе из композитных материалов, то вторую насечку глубиной не менее 1,25 мм и длиной 25 мм наносят на торцевой стороне резервуара, противоположной месту нанесения первой насечки;

- b) удар маятником: поверхность испытательного образца со стороны, противоположной указанной выше поверхности, либо — в случае резервуара с несколькими жестко соединенными между собой камерами — поверхность другой камеры подразделяют на пять отдельных зон (которые не должны накладываться друг на друга), каждая диаметром по 100 мм (см. рис. 5). Сразу же после минимум 12 часов предварительного кондиционирования в камере искусственного климата при температуре ≤ -40 °C по центру каждого из пяти участков производят удар маятником, имеющим форму пирамиды с гранями в виде равностороннего треугольника и квадратным основанием с закругленными вершиной и ребрами. Радиус закругления — 3 мм. Центр удара маятника должен совпадать с центром тяжести пирамиды. Энергия маятника в момент удара по каждому из пяти отмеченных на резервуаре участков составляет ≥ 30 Дж. В момент удара маятником испытательный образец удерживается в неподвижном состоянии и не должен находиться под давлением.

Рис. 5
Вид резервуара сбоку



6.2.3.4 Испытание на химическую стойкость и на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды

Каждый из 5 участков порожнего резервуара (вместе с его приспособлениями, в случае применимости), прошедшего предварительное кондиционирование ударом маятника (пункт 6.2.3.3 b)), подвергают воздействию одного из пяти растворов:

- a) 19-процентный (по объему) водный раствор серной кислоты (электролит);
- b) 25-процентный (по весу) водный раствор гидроксида натрия;
- c) бензин с 5-процентным (по объему) содержанием метанола (смеси, используемые на заправочных станциях);
- d) 28-процентный (по весу) водный раствор нитрата аммония (раствор мочевины); и
- e) 50-процентный (по объему) водный раствор метилового спирта (жидкость для обмыва ветрового стекла).

Испытательный образец устанавливают таким образом, чтобы участки, на которые воздействует жидкость, находились сверху. На каждый из пяти участков, подвергнутых предварительному кондиционированию, кладут прокладку из стекловолокна толщиной приблизительно 0,5 мм и диаметром 100 мм. На эту прокладку из стекловолокна наносят испытательную жидкость в количестве, достаточном для обеспечения полной пропитки прокладки по всей ее площади на протяжении испытания. Во избежание испарения эта прокладка из стекловолокна может накрываться пластиковой крышкой.

Выдерживание испытательного образца — прежде чем подвергнуть его дальнейшим испытаниям — с использованием стекловолоконного тампона продолжают в течение не менее 48 часов при поддержании в испытательном образце давления, составляющего ≥ 125 % НРД (подается гидравлическим способом), и температуре окружающей среды.

Испытательный образец подвергают циклическому изменению давления от 2 ± 1 МПа до заданных значений давления, указанных в таблице 5. После завершения процедуры циклического изменения давления прокладки из стекловолокна удаляют и поверхность испытательного образца промывают водой.

Таблица 5

Циклы изменения давления и соответствующие условия — Испытание на химическую стойкость и на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды

| <i>Назначение</i> | <i>Число циклов</i> | <i>Заданное давление</i> | <i>Температура</i> | <i>Частота</i> |
|--|---|--|--|---------------------------|
| Испытание на химическую стойкость и на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды (пункт 5.1.2.4) | 60 % от указанного числа циклов, определенного в пункте 5.1.1.2 в том числе последние 10 циклов | ≥ 125 % НРД ≥ 150 % НРД | Окружающей среды: 20 ± 15 °С | ≤ 10 циклов в минуту |
| | | | Гидравлической жидкости: 20 ± 15 °С | |

6.2.3.5 Испытание статическим давлением (гидравлическое)

Испытательный образец заполняют гидравлической жидкостью и в течение не менее 1000 ч при температуре ≥ 85 °С подвергают давлению, соответствующему ≥ 125 % НРД, в камере с регулируемой температурой. Температуру в камере и температуру на поверхности испытательного образца поддерживают на заданном уровне в течение определенного периода времени.

6.2.3.6 Испытание (гидравлическое) на циклическое изменение давления при экстремальных температурах

Испытание проводят в следующем порядке и с соблюдением параметров испытания, указанных в таблице 6:

- a) для каждого испытания испытательный образец заполняют гидравлической жидкостью;
- b) в начале каждого испытания испытательный образец и жидкость выдерживают для целей стабилизации при значениях температуры и относительной влажности, указанных в таблице 6. На протяжении всей последовательности циклов изменения давления поддерживают заданную температуру окружающей среды, гидравлической жидкости и поверхности испытательного образца. В процессе циклического изменения давления температура испытательного образца может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды;
- c) испытательный образец подвергают циклическому изменению давления от 2 ± 1 МПа до заданного давления, указанного в таблице 6;
- d) температуру закачиваемой в резервуар гидравлической жидкости поддерживают на заданном уровне и контролируют в точке, расположенной максимально близко к впускному отверстию резервуара.

Примечание: На протяжении всего испытания рекомендуется поддерживать в резервуаре давление выше атмосферного и срабатывать его только после стабилизации при температуре окружающей среды.

Таблица 6
Циклы изменения давления и соответствующие условия — Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах

| <i>Назначение</i> | <i>Число циклов</i> | <i>Заданное давление</i> | <i>Температура</i> | <i>Частота</i> |
|--|---|--------------------------|---|---------------------|
| Испытание при экстремально низкой температуре | 20 % от указанного числа циклов, определенного в пункте 5.1.1.2 | ≥80 % НРД | Окружающей среды: ≤ -40 °С в начале каждого испытания Гидравлической жидкости и поверхности: ≤ -40 °С на протяжении всей последовательности циклов изменения давления | ≤10 циклов в минуту |
| Испытание при экстремально высокой температуре | 20 % от указанного числа циклов, определенного в пункте 5.1.1.2 | ≥125 % НРД | Окружающей среды: ≥85 °С при относительной влажности ≥80 % Гидравлической жидкости и поверхности: ≥85 °С на протяжении всей последовательности циклов изменения давления | ≤10 циклов в минуту |

6.2.4 Процедуры испытаний на ожидаемую эффективность в дорожных условиях

Последовательность и параметры испытания на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах указаны в таблицах 7а и 7б.

Таблица 7а
Параметры испытания на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах

| <i>Число циклов</i> | <i>Условия окружающей среды</i> | <i>Первоначальное термостатирование СХКВ</i> | <i>Температура подаваемого топлива</i> | <i>Начальное давление</i> | <i>Заданное давление</i> |
|---------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|
| 5 | ≤ -25 °С | ≤ -25 °С | 20 ± 5 °С | ≤ 2 МПа | ≥ 100 % С3 |
| 5 | ≤ -25 °С | ≤ -25 °С | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 15 | ≤ -25 °С | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 5 | ≥ 50°С, ОВ ≥ 80 % | ≥ 50°С, ОВ ≥ 80 % | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 20 | ≥ 50°С, ОВ ≥ 80 % | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 200 | 20°С ± 5 °С | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 1-е просачивание | 55–60 °С | 55–60 °С | Н/П | Н/П | ≥ 100 % С3 |
| 25 | ≥ 50°С, ОВ ≥ 80 % | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 25 | ≤ -25 °С | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 200 | 20 ± 5 °С | Н/П | -33° С — -40 °С | ≤ 2 Мпа | ≥ 100 % С3 |
| 2-е просачивание | 55–60 °С | 55–60 °С | Н/П | Н/П | ≥ 100 % С3 |

Таблица 7б

Скорость нагнетания давления в СХКВ в ходе испытаний на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах

| Объем СХКВ (л) | Скорость нагнетания давления в СХКВ (МПа/мин) | | | |
|-------------------|---|---|---|--|
| | Температура окружающей среды 50 °C | Температура окружающей среды 20 °C | Температура окружающей среды -25 °C | Температура окружающей среды -25 °C |
| | $-40\text{ °C} \leq T_{\text{fuel}} \leq -33\text{ °C}$ | $-40\text{ °C} \leq T_{\text{fuel}} \leq -33\text{ °C}$ | $-40\text{ °C} \leq T_{\text{fuel}} \leq -33\text{ °C}$ | $T_{\text{fuel}} = 20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ |
| 50 | 7,6 | 19,9 | 28,5 | 13,1 |
| 100 | 7,6 | 19,9 | 28,5 | 7,7 |
| 174 | 7,6 | 19,9 | 19,9 | 5,2 |
| 250 | 7,6 | 19,9 | 19,9 | 4,1 |
| 300 | 7,6 | 16,5 | 16,5 | 3,6 |
| 400 | 7,6 | 12,4 | 12,4 | 2,9 |
| 500 | 7,6 | 9,9 | 9,9 | 2,3 |
| 600 | 7,6 | 8,3 | 8,3 | 2,1 |
| 700 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 1,9 |
| 1 000 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 1,4 |
| 1 500 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 1,0 |
| 2 000 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 0,7 |
| 2 500 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,5 |

6.2.4.1 Испытание (пневматическое) на циклическое изменение давления газа

- a) СХКВ подвергают циклическому изменению давления с помощью газообразного водорода в течение в общей сложности 500 циклов, которые подразделяются на две группы по 250 циклов согласно параметрам испытания, указанным в таблице 7а.

Температуру и относительную влажность окружающей среды поддерживают на протяжении каждого цикла изменения давления на заданном уровне. Если это требуется техническим заданием на испытание, то между циклами изменения давления температуру СХКВ стабилизируют при температуре наружного воздуха.

Если контрольные устройства системы, приводимые в действие при эксплуатации транспортного средства, предотвращают возможность падения давления ниже определенного уровня, то испытательные циклы должны проводиться с превышением этого уровня.

Температура подаваемого топлива должна находиться в пределах указанного диапазона в течение 30 секунд после начала заправки.

- b) Перепад порогового давления должен быть больше указанной в таблице 7б скорости нагнетания давления, линейно интерполированной с учетом объема СХКВ, или равняться ей; однако перепад порогового давления следует уменьшить, если температура, измеренная внутри резервуара СХКВ, превышает +85 °C.
- c) Если для целей намечаемого способа применения транспортное средство оборудуют регулируемыми и/или контрольными устройствами, предупреждающими возникновение внутри резервуара СХКВ экстремальных температур, то испытание может

проводиться при наличии таких устройств (или эквивалентных функций).

- d) Скорость опорожнения должна быть больше предполагаемой максимальной потребности транспортного средства в топливе или равняться ей. Из 500 циклов изменения давления любые 50 проводят при скорости опорожнения, равной скорости опорожнения в условиях технического обслуживания (указанной изготовителем на маркировочной табличке резервуара СХКВ или в руководстве по эксплуатации/техническому обслуживанию) или превышающей ее.
- e) Максимально допустимая скорость утечки из СХКВ в любой единичной точке должна соответствовать положениям пункта 6.2.4.3 b).

6.2.4.2 Испытание на просачивание газа (пневматическое)

Это испытание проводят после отработки каждой группы из 250 циклов изменения пневматического давления по пункту 6.2.4 в соответствии с таблицей 7а.

Перед началом испытания СХКВ полностью заполняют газообразным водородом до $\geq 100\%$ СЗ и выдерживают минимум 12 часов при температуре 55–60 °С в герметизированной камере. Испытание продолжают до стабилизации (исходя из по крайней мере трех показаний, последовательно снятых с интервалом на менее 12 часов, причем каждый следующий показатель должен отклоняться от предыдущего не более чем на $\pm 10\%$) скорости просачивания или в течение 500 часов, в зависимости от того, что наступит раньше.

6.2.4.3 Испытание на локальную утечку газа (пневматическое)

Соответствие этому требованию может проверяться при помощи испытания на образование пузырей. Указанное испытание проводят с наблюдением нижеследующей процедуры.

- a) Для целей этого испытания выпускное отверстие запорного клапана (и другие внутренние соединительные патрубки) системы хранения водорода перекрывают (поскольку в данном случае акцент делается на внешнюю утечку).

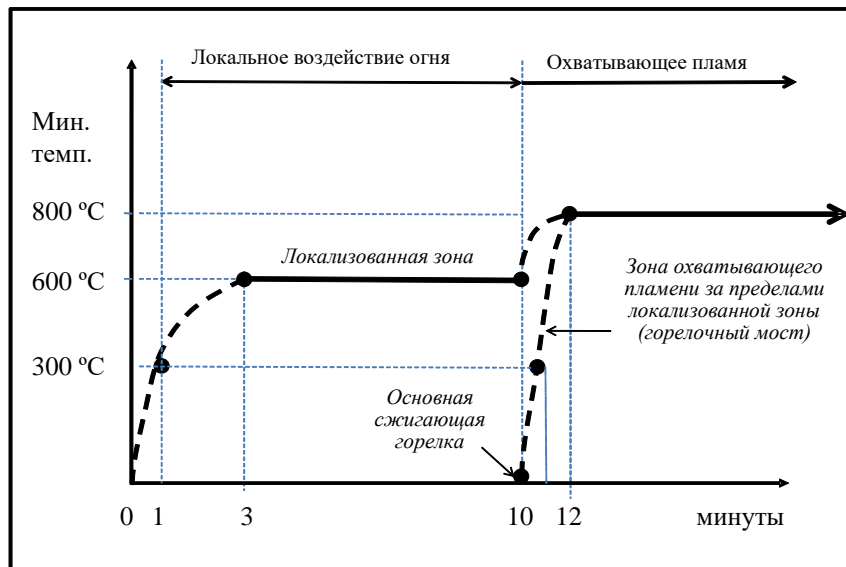
По усмотрению изготовителя или испытательной лаборатории испытательный образец может либо погружаться в испытательную жидкость, либо эту жидкость наносят прямо на образец на открытом воздухе. В зависимости от условий размер пузырьков может заметно различаться. Оценку уровня утечки производят исходя из размера пузырьков и скорости их образования.

- b) При локальной скорости просачивания 0,005 мг/с (3,6 Нмл/мин) результирующая допустимая скорость образования пузырьков составляет примерно 2030 пузырьков в минуту при среднем диаметре пузырьков 1,5 мм. Утечку легко обнаруживают даже в случае образования пузырьков гораздо более крупного размера. В случае необычно крупных пузырьков диаметром до 6 мм допустимая скорость образования пузырей составляла бы примерно 32 пузырька в минуту.

6.2.5 Процедуры двухэтапного испытания на огнестойкость при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени (пункт 5.1.4)

Испытание состоит из двух этапов: этапа локального воздействия огня и последующего этапа воздействия охватывающим пламенем, как показано на рис. 6.

Рис. 6
Температурные условия в ходе испытания на огнестойкость



Описание подлежащего оценке испытательного образца СХКВ приводится в пункте 6.2.5.1.

Условия проведения испытания на огнестойкость и предъявляемые при его проведении требования к ветрозащите оговорены в пункте 6.2.5.2.

Порядок подачи топлива и горелка, используемая при испытании на огнестойкость, оговорены в пункте 6.2.5.3.

Предварительная проверка горелки перед испытанием СХКВ на огнестойкость, оговоренная в пункте 6.2.5.4, призвана обеспечить функционирование горелки в заданном тепловом режиме.

Окончательные приготовления к испытанию СХКВ на огнестойкость оговорены в пунктах 6.2.5.5 и 6.2.5.6, а процедура двухэтапного (при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени) испытания СХКВ на огнестойкость — в пункте 6.2.5.7.

6.2.5.1 Испытательный образец СХКВ

Помимо резервуара и первичных запорных устройств, таких как запорный(е) клапан(ы), контрольный(е) клапан(ы) и предохранительное(ые) УСДТ, необходимых для изолирования системы, испытательный образец СХКВ также включает приспособления резервуара (если таковые имеются), например газовые кожухи или изоляционные покрытия, способные препятствовать срабатыванию УСДТ. Продувочные магистрали подсоединяют к УСДТ для отвода выбросов из них репрезентативным для конкретной комплектации транспортного средства образом.

По усмотрению изготовителя испытательный образец СХКВ может включать несущий каркас, экраны и панели, предусмотренные комплектацией конкретного транспортного средства, и/или другие защитные элементы, предназначенные для защиты СХКВ от огневого воздействия, которым чревато возгорание установленной на транспортном средстве СХКВ при пожаре.

6.2.5.2 Условия проведения испытания и средства ветрозащиты

Испытания могут проводиться как в закрытом помещении, так и на открытом воздухе.

При проведении испытания на открытом воздухе измеряют и регистрируют температуру окружающей среды, а также скорость и направление ветра.

Испытания на открытом воздухе не проводят во время выпадения осадков (т. е. дождя, снега, измороси и проч.), если только испытательная площадка — с расположенными на ней испытательным образцом и горелкой — не защищена от непогоды, так что осадки не сказываются негативным образом на результатах испытания.

В случае испытаний СХКВ на огнестойкость (предварительная проверка перед испытанием и собственно испытание), проводимых на площадках, подверженных воздействию ветра, используют такие средства ветрозащиты, как стенки, ограждения и/или кожухи, причем между испытательным образцом СХКВ (или опытным баллоном) и ветрозащитными экранами должно обеспечиваться расстояние не менее 0,5 м, с тем чтобы создавалась тяга, поддерживающая свободное горение, и можно было подтвердить длину языков пламени (если таковые образуются), идущих от испытательного образца СХКВ. В ветрозащитных экранах должны быть предусмотрены отверстия (или иные проемы) для поступления свежего воздуха в зону испытания и отвода продуктов сгорания. Степень достаточности ветрозащиты проверяют в ходе предварительной проверки, предшествующей испытанию СХКВ на огнестойкость, по критерию соблюдения требований таблицы 10.

ПРИМЕЧАНИЕ: Разрыв резервуара во время испытания на огнестойкость чреват образованием взрывных волн, быстрым разлетом обломков резервуара и его приспособлений, а также выбросом водорода.

Все это может привести к неконтролируемому смещению испытательного образца СХКВ и вторичным взрывам, обусловленным резким повышением давления и образованием в периметре испытаний и ветрозащиты (если таковая используется) легковоспламеняющихся газовых смесей.

Должны быть предусмотрены и реализованы соответствующие контрмеры в виде размещения испытательной площадки на достаточном удалении от прочего оборудования, а также проектирования и установки средств ветрозащиты (если они используются) и испытательной арматуры с таким расчетом, чтобы не допустить нанесения серьезных травм персоналу или причинения неприемлемого материального ущерба.

6.2.5.3 Описание горелки

Для целей проведения двухэтапного испытания на огнестойкость при локальном возгорании/под воздействием охватывающего пламени рабочая поверхность горелки делится на две зоны:

- a) зона локального горения используется на этапе локального воздействия огня;
- b) зона перехода на охватывающее пламя служит для имитации распространения огня из зоны локального горения на остальную рабочую поверхность горелки. Зона воздействия охватывающим пламенем включает как зону локального воздействия огня, так и зону перехода на охватывающее пламя.

6.2.5.3.1 Подача топлива и управление горелкой

Оба типа горелок — локального огневого воздействия и охватывающего пламени — работают на СНГ.

Измеряют количество топлива (СНГ), расходуемого газовой горелкой в зоне как локального воздействия огня, так и зоне перехода на охватывающее пламя, для установления зависимости между расходом горелкой топлива и показателями удельной скорости тепловыделения (УСТВ), определенными в пункте 6.2.5.4.5.2.

Замеряемое(ые) значение(я) расхода топлива регистрируют на протяжении всего испытания с периодичностью 1 с.

6.2.5.3.2 Конфигурация горелки

6.2.5.3.2.1 Длина зоны локального воздействия огня (L_{LOC}) составляет 250 ± 50 мм.

Длина зоны перехода на охватывающее пламя (L_{EXT}) составляет максимум 1400 ± 50 мм. Горелка с указанной максимальной зоной перехода может использоваться для всех испытаний на огнестойкость. Зоны же перехода на охватывающее пламя, не дотягивающие до максимума, допускаются при условии, что испытательный образец СХКВ в положении установки для проведения испытания на огнестойкость не выходит за пределы рабочей поверхности горелки.

Общая длина зоны воздействия охватывающим пламенем (L_{ENG}) представляет собой сумму L_{LOC} и L_{EXT} . С учетом указанных выше спецификаций, максимальным является значение в 1650 ± 100 мм.

Ширина (W) как зоны локального горения, так и зоны воздействия охватывающим пламенем составляет 500 ± 50 мм вне зависимости от ширины/диаметра резервуара.

Профиль форсунок горелки и схема их размещения на коллекторах (или форсуночных магистралях) должны соответствовать указанному в таблице 8. Количество форсунок (N_{LOC} и N_{EXT}) на магистралях в зонах локального воздействия огня и перехода на охватывающее пламя, а также шаг их размещения (S_N) выбирают с таким расчетом, чтобы результирующие значения длины зон локального горения и перехода на охватывающее пламя (L_{LOC} и L_{EXT}) отвечали приведенным выше требованиям. Аналогичным образом, количество магистралей (N_R) и шаг их соединения (S_R) выбирают с таким расчетом, чтобы ширина горелок соответствовала приведенным выше требованиям.

ПРИМЕЧАНИЯ:

- а) Результирующие значения длины зон локального горения и перехода на охватывающее пламя рассчитывают по следующим уравнениям:

$$L_{LOC} = N_{LOC} \times S_N$$

и

$$L_{EXT} = N_{EXT} \times S_N$$

в зависимости от выбранного количества форсунок (N_{LOC} и N_{EXT}) в зонах локального воздействия огня и перехода на охватывающее пламя, а также выбранного шага их размещения (S_N).

Аналогичным образом, результирующую ширину (W) горелок рассчитывают по следующему уравнению:

$$W = (N_R - 1) \times S_R$$

в зависимости от выбранного количества магистралей (N_R) и шага их размещения (S_R).

- b) Что касается соответствующих примеров возможных разновидностей трубного массива горелки, см. обоснование в разделе E части I.
- c) Как показано на рис. 9 ниже, форсунки на третьей и четвертой магистралях ориентированы по направлению к центру горелки для создания в этой намеченной зоне “фронта нагрева”. См. также рис. 14 и 15 в части I.

Таблица 8

Характеристики форсунок для горелки предписанного образца

| <i>Позиция</i> | <i>Описание</i> |
|--|---|
| Тип форсунки | Топливная (СНГ) форсунка с предварительным смешением газа и воздуха |
| – форсунка с газовым (СНГ) соплом | Внутр. диаметр 1,0 ±0,1 мм |
| – форсунка со шлицами для подвода воздуха | Четыре (4) отверстия внутр. диаметром 6,4 ±0,6 мм |
| – форсунка с топливоздушная смесительной трубкой | Внутр. диаметр 10 ±1 мм |
| Количество магистралей | 6 |
| Шаг соединения магистралей | 100 ±10 мм |
| Шаг размещения форсунок вдоль магистрали | 50 ±5 мм |

6.2.5.3.2.2 Определенные выше значения L_{LOC} , L_{EXT} и W используют при расчете показателей УСТВ для зон локального воздействия огня и перехода на охватывающее пламя.

Границы вышеуказанных зон определяют исходя из L_{LOC} , L_{EXT} и W с таким расчетом, чтобы обеспечить правильное расположение и надлежащую ориентацию испытательных образцов при испытании СХКВ на огнестойкость. Граничная линия между зонами локального горения и перехода на охватывающее пламя проходит посередине между форсунками этих двух зон и служит в качестве репера, считая от которого на расстояниях L_{LOC} и L_{EXT} в направлении зоны локального воздействия огня и зоны перехода на охватывающее пламя, соответственно, проводят внешние границы.

ПРИМЕЧАНИЕ: Расположение граничной линии показано на рис. 17 в части I.

6.2.5.4 Предварительная проверка горелки перед испытанием

Предварительная проверка, предшествующая проведению испытания СХКВ на огнестойкость, имеет целью удостовериться, что зоны локального воздействия огня и перехода на охватывающее пламя работают в штатном режиме и что испытательная установка, включая ветрозащитные экраны, выполняет свои функции и позволяет обеспечить результаты, отвечающие требованию воспроизводимости.

6.2.5.4.1 Периодичность проведения предварительных проверок перед испытанием

Перед началом испытания СХКВ на огнестойкость проводят как минимум одну такую проверку. Если горелка и испытательная установка подверглись модификации, то перед испытанием СХКВ на огнестойкость проводят повторную предварительную проверку.

6.2.5.4.2 Описание опытного баллона

Для целей предварительной проверки горелки перед испытанием используют опытный баллон (изготовленный из стальной трубы сортамента 40 номинальным сечением 300 мм/12 дюймов с торцевыми крышками) диаметром 320 мм.

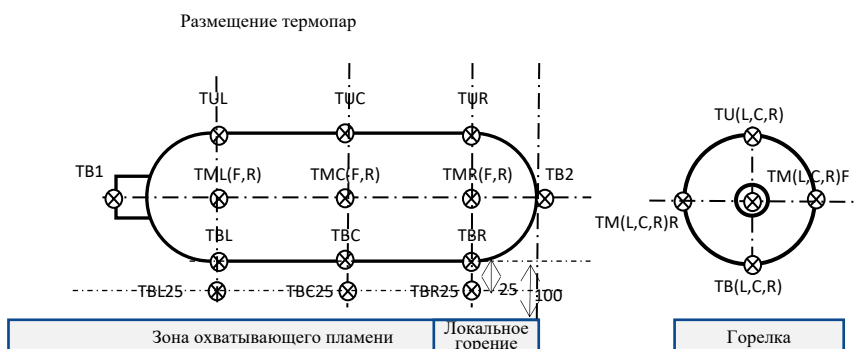
Длина цилиндрической части опытного баллона составляет не менее 800 мм, а общая длина равняется длине испытательного образца СХКВ или превышает ее (вплоть до максимальной длины горелки охватывающего пламени по пункту 6.2.5.3.2.1).

6.2.5.4.3 Контрольно-измерительные приборы и обработка данных для целей предварительной проверки перед испытанием

6.2.5.4.3.1 Приборное оснащение опытного баллона призвано удостовериться, что обеспечиваемый горелкой и испытательной установкой температурный режим отвечает требованием, предъявляемым к эффективности зон локального воздействия огня и воздействия охватывающим пламенем. Приборы должны размещаться вдоль цилиндрической части опытного баллона и охватывать те целевые зоны испытательного образца СХКВ, которые будут подвергаться воздействию локального огня и охватывающего пламени. Один комплект приборов на цилиндрической части размещают по центру локализованной зоны, а два других — с разнесением по остаточной длине зоны воздействия охватывающим пламенем (за пределами зоны локального огневого воздействия).

На рис. 7 приводится пример распространенного случая, когда на одном торце резервуара (слева) установлено предохранительное УСДТ, так что зона локального воздействия огня смещается к правому торцу. Температуру поверхности измеряют в трех местах по длине опытного баллона в его верхней, средней и нижней частях. Место замера с правой стороны цилиндрического корпуса должно располагаться по центру целевой локализованной зоны, а два других (вдоль цилиндрической части) — по центру и с левого края целевой зоны воздействия охватывающим пламенем.

Рис. 7

Пример схемы размещения контрольно-измерительных приборов на опытном баллоне

Для измерения значений температуры на опытном баллоне используются термопары типа К диаметром 3,2 мм (или меньше) с покрытием, размещенные на расстоянии 5 мм от поверхности резервуара и крепящиеся к ней при помощи хомутов или иным механическим способом. Точки замера температуры, показанные на рис. 7, означают следующее:

- а) TBR, TBC и TBL — это термопары для замера температуры на поверхности основания опытного баллона, которые непосредственно подвергаются воздействию пламени горелки;

- b) TMRF, TCMF, TMLF, TMRR, TMCR и TMLR — это термопары для замера температуры на поверхности опытного баллона посередине его высоты. Они служат исключительно для сбора данных в ходе предшествующих испытанию проверки и калибровки зон локального воздействия огня и воздействия охватывающим пламенем;
- c) TUR, TUC и TUL — это термопары для замера температуры на верхней поверхности опытного баллона со стороны, противоположной той, которая подвергается непосредственному воздействию пламени горелки.

Для целей факультативной диагностики в местах установки УСДТ или любых других точках допускается размещение дополнительных термопар.

- 6.2.5.4.3.2 Термопары также должны размещаться под основанием — на расстоянии 25 ± 5 мм от него — опытного баллона по всей его длине с целью установления в ходе предшествующей испытанию предварительной проверки исходных температурных режимов, которыми впоследствии можно руководствоваться при мониторинге пламени горелки в процессе испытания СХКВ на огнестойкость. В приборное оснащение опытного баллона входят три (3) такие термопары (TBR25, TBC25 и TBL25), как показано на рис. 7. Также допускается дополнительное размещение вдоль осевой линии горелки термопар, выступающих для TBR25, TBC25 и TBL25 в качестве резервных или вспомогательных. Требования, предъявляемые к размещению термопар, используемых для мониторинга пламени горелки в ходе испытания СХКВ на огнестойкость, см. в пункте 6.2.5.6.

Термопары, служащие для мониторинга пламени горелки, представляют собой незранированные (т.е. не защищенные металлическими гильзами) термопары типа К диаметром 3,2 мм (или меньше) с покрытием. Учитывая необходимость обеспечения зазора ± 5 мм до стального резервуара, эти термопары должны жестко крепиться механическим способом во избежание их смещения или отклонения. Если испытанию намечается подвергнуть СХКВ большой ширины/большого диаметра, то крепежный узел должен обеспечивать такое же расстояние между СХКВ и датчиками пламени горелки, что и расстояние между горелкой и СХКВ, скорректированное по пункту 6.2.5.4.5.5.

- 6.2.5.4.3.3 Показания термопар регистрируют не реже одного раза в секунду и используют затем для расчета следующих параметров:
- a) $T_{V_{LOC}}$ — температура на поверхности основания опытного баллона по показаниям TBR;
 - b) $T_{M_{LOC}}$ — температура поверхности на передней стороне опытного баллона по показаниям TMRF;
 - c) $T_{MR_{LOC}}$ — температура поверхности на задней стороне опытного баллона по показаниям TMRR;
 - d) $T_{U_{LOC}}$ — температура на верхней поверхности опытного баллона по показаниям TUR;
 - e) $T_{V_{LOC25}}$ — значение, регистрируемое датчиком пламени горелки под опытным баллоном (а впоследствии и под испытательным образцом СХКВ согласно пункту 6.2.5.6) по показаниям TBR25. При расчете средней температуры, фиксируемой датчиками пламени горелки в зоне локального воздействия огня, также могут учитываться показания термопар, выступающих для TBR25 в качестве резервных или дополнительных. Любой произведенный с помощью термопар замер, являющийся аномальным или

несостоятельным (либо не приходящийся на зону локального воздействия огня), исключают из вышеуказанного расчета;

- f) T_{BENG} — температура на поверхности основания опытного баллона по усредненным показаниям TBR, TBC или TBL в пределах зоны воздействия охватывающим пламенем;
- g) T_{MFENG} — температура поверхности на передней стороне опытного баллона по усредненным показаниям TMLF, TMSF и TMRF в пределах зоны воздействия охватывающим пламенем;
- h) T_{MRENG} — температура поверхности на задней стороне опытного баллона по усредненным показаниям TMLR, TMCR и TMRR в пределах зоны воздействия охватывающим пламенем;
- i) T_{UENG} — температура на верхней поверхности опытного баллона по усредненным показаниям TUR, TUC или TUL в пределах зоны воздействия охватывающим пламенем;
- j) T_{BENG25} — значение, регистрируемое датчиком пламени горелки под опытным баллоном (а впоследствии и под испытательным образцом СХКВ согласно пункту 6.2.5.6) по усредненным показаниям трех обязательных термопар (TBR25, TBC25 или — для целей предварительной проверки перед испытанием — TBL25) в пределах зоны воздействия охватывающим пламенем. При расчете средней температуры, фиксируемой датчиками пламени горелки в зоне воздействия охватывающим пламенем, также могут учитываться показания термопар, выступающих для TBR25, TBC25 или TBL25 в качестве резервных или дополнительных. Любой произведенный с помощью термопар замер, являющийся аномальным или несостоятельным (либо не приходящийся на зону воздействия охватывающим пламенем), исключают из вышеуказанного расчета.

6.2.5.4.4 Установка опытного баллона

Опытный баллон, используемый для целей предварительной проверки перед испытанием, размещают над горелкой на высоте 100 ± 5 мм таким образом, чтобы форсунки двух центрально расположенных коллекторов были направлены на основание стального резервуара по центру.

ПРИМЕЧАНИЕ: На рис. 8 и 9 показаны примеры схем установки опытного баллона для целей предварительной проверки перед испытанием, а на рис. 13 в части I приводится соответствующая фотография.

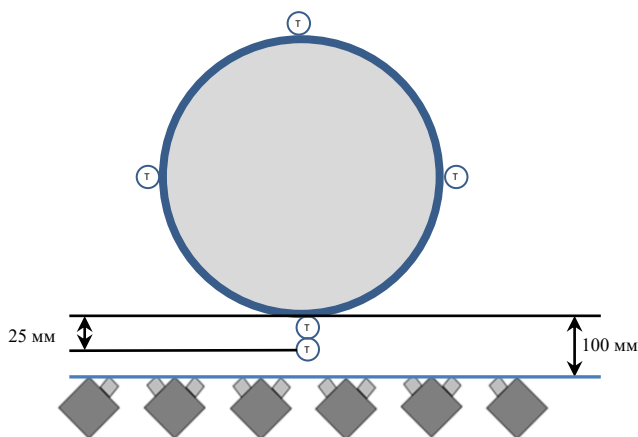
Рис. 8

Установка опытного баллона для целей предварительной проверки перед испытанием (вид сбоку)



Рис. 9

Установка опытного баллона относительно горелки (вид с торца)



- 6.2.5.4.5 Процедура предварительной проверки перед испытанием
- 6.2.5.4.5.1 Предварительной проверке горелки до испытания предшествует установка ветрозащитных экранов в соответствии с пунктом 6.2.5.2.
- 6.2.5.4.5.2 Горелка, как минимум, должна функционировать при заданных значениях расхода топлива, соответствующих настроечным параметрам, предписанным для горелок локального огневого воздействия и охватывающего пламени в ходе испытания СХКВ на огнестойкость. Предлагаемые настроечные параметры горелок приведены в таблице 9; вместе с тем, может быть выбран любой установочный параметр в пределах допустимого диапазон значений УСТВ по таблице 9.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для того чтобы плотность тепловыделения, обеспечиваемая горелкой охватывающего пламени, была равномерной, на этапе воздействия охватывающим пламенем как горелка локального огневого воздействия, так и горелка зоны перехода на охватывающее пламя должны быть выставлены на заданное значение УСТВ.

Таблица 9

Допустимый рабочий диапазон и предлагаемые настроечные параметры горелки предписанного образца

| <i>Этап огневого воздействия</i> | <i>Допустимый диапазон значений удельной скорости тепловыделения (УСТВ)</i> | <i>Предлагаемое настроечное значение удельной скорости тепловыделения (УСТВ)</i> |
|---|---|--|
| Горелка локального огневого воздействия | 200–500 кВт/м ² | 300 кВт/м ² |
| Горелка охватывающего пламени | 400–1 000 кВт/м ² | 700 кВт/м ² |

- 6.2.5.4.5.3 60-секундные скользящие средние отдельных показаний температуры в зоне локального воздействия огня (т. е. T_{BLOC} , T_{MFLoc} , T_{MRLOC} и T_{ULoc}) и зоне воздействия охватывающим пламенем (т. е. T_{BR} , T_{BC} , T_{BL} , T_{MRF} , T_{MCF} , T_{ML} , T_{MRR} , T_{MCR} , T_{MLR} , T_{UR} , T_{UC} и T_{UL}) должны соответствовать таблице 10 при настроечных значениях УСТВ, заданных для целей испытания СХКВ на огнестойкость по пункту 6.2.5.7.

Таблица 10

Критерии приемлемости горелок локального огневого воздействия и охватывающего пламени при использовании альтернативных конфигураций горелок

| <i>Этап огневого воздействия</i> | <i>Допустимый диапазон температур на основании (снизу) опытного баллона</i> | <i>Допустимый диапазон температур по боковым сторонам опытного баллона</i> | <i>Допустимый диапазон температур на верхней поверхности опытного баллона</i> |
|---|---|--|---|
| Горелка локального огневого воздействия | $450\text{ °C} < T_{BLOC} < 750\text{ °C}$ | $T_{MFLoc} < 750\text{ °C}$ и $T_{MRLoc} < 750\text{ °C}$ | $T_{ULoc} < 300\text{ °C}$ |
| Горелка охватывающего пламени | $T_{BENG} > 600\text{ °C}$ | | $T_{UENG} > 100\text{ °C}$ и $T_{UENG} < T_{BENG}$ при $T_{UENG} > 750\text{ °C}$ |

6.2.5.4.5.4 Кроме того, по результатам испытаний, проведенных при расчетных настроечных параметрах горелок локального огневого воздействия и охватывающего пламени во время предварительной проверки перед испытанием, устанавливают допустимые предельные показания датчиков пламени горелки в ходе последующего испытания СХКВ на огнестойкость:

- минимальное показание датчика пламени горелки на этапе локального воздействия огня ($T_{minLOC25}$) рассчитывают путем вычитания 50 °C из 60-секундного скользящего среднего T_{BLOC25} . Если результирующие минимальные значения превышают 600 °C , то за минимальное показание для этапа локального воздействия огня принимают 600 °C ;
- минимальное показание датчика пламени горелки на этапе воздействия охватывающим пламенем ($T_{minENG25}$) рассчитывают путем вычитания 50 °C из 60-секундного скользящего среднего T_{BENG25} . Если результирующие минимальные значения превышают 800 °C , то за минимальное показание для этапа воздействия охватывающим пламенем принимают 800 °C .

При условии удовлетворительного выполнения вышеуказанных требований горелка, как правило, считается настроенной и готовой к испытанию СХКВ на огнестойкость.

6.2.5.4.5.5 Если же полученные результаты являются неудовлетворительными, то выявляют и устраняют причину разброса рабочих характеристик горелки, после чего проводят повторное испытание до тех пор, пока не будут выполнены требования, предъявляемые на этапе предварительной проверки перед испытанием. Для обеспечения надлежащего функционирования в пределах допустимых рабочих диапазонов, указанных в таблицах 9 и 10, разрешается проводить регулировку по высоте.

В случаях, когда ширина/диаметр испытательного образца СХКВ превышает ширину горелки, а форма его основания (например, плоская горизонтальная поверхность, как показано на рис. 30 и 33 в части I) мешает исходящему из горелки пламени в ходе испытания СХКВ на огнестойкость беспрепятственно подниматься вверх и “обтекать” испытательный образец, приток воздуха к горелке может оказаться ограничен и датчики ее пламени на этапах локального воздействия огня и/или воздействия охватывающим пламенем при испытании СХКВ на огнестойкость будут не в состоянии выйти на требуемые минимальные

значения температуры. Если испытательный образец СХКВ, как ожидается, будет препятствовать притоку воздуха к горелке (либо датчики ее пламени не в состоянии выйти во время испытания СХКВ на огнестойкость на требуемые минимальные значения температуры), то — для определения соответствующей высоты установки испытательного образца СХКВ над горелкой, причем таким образом, чтобы обеспечивалось достижение предписанных температур, — требуется провести следующее дополнительное предварительное испытание:

- a) над горелкой на начальной высоте 100 мм устанавливают опытную пластину (изготовленную из стали) размерами, приблизительно равными длине и ширине/диаметру испытательного образца СХКВ, имитирующую основание этого образца;
- b) под поверхностью пластины на расстоянии 25 ± 5 мм от нее размещают датчики пламени горелки, как указано в пункте 6.2.5.4.3.2;
- c) зажигают горелки, выставленные на режимы локального воздействия огня и воздействия охватывающим пламенем (при заданных выше значениях УСТВ), и измеряют регистрируемые датчиками пламени горелки показания температуры;
- d) если показания датчиков пламени горелки на этапе как локального воздействия огня, так и воздействия охватывающим пламенем не отвечают минимальным критериям (определенным в пункте 6.2.5.4.5.4), то высоту расположения опытной пластины над горелкой увеличивают на 50 мм, и предусмотренные шагами b) и c) операции повторяют до тех пор, пока не удастся подобрать подходящую высоту.

ПРИМЕЧАНИЕ: Получение удовлетворительных результатов ожидается на высоте 200–250 мм.

Если же показания датчиков пламени горелки на этапе как локального воздействия огня, так и воздействия охватывающим пламенем отвечают минимальным критериям (указанным выше), то необходимую высоту размещения испытательного образца СХКВ над горелкой считают определенной, а предварительное испытание — завершенным.

6.2.5.5 Установка испытательного образца СХКВ над горелкой

После успешного завершения предшествующей(их) испытанию предварительной(ых) проверки(ок) испытательный образец СХКВ устанавливают над горелкой.

6.2.5.5.1 Высота и расположение испытательного образца СХКВ над горелкой

Испытательный образец СХКВ размещают над горелкой на той же высоте, что и для целей предварительной проверки перед испытанием по пункту 6.2.5.4, причем таким образом, чтобы форсунки двух центрально расположенных коллекторов (или магистралей) были направлены на заданный участок на основании (т. е. в самой нижней точке) испытательного образца СХКВ. На рис. 10 и 11 показаны примеры схем установки цилиндрического резервуара и резервуара конформной конструкции, соответственно.

Рис. 10

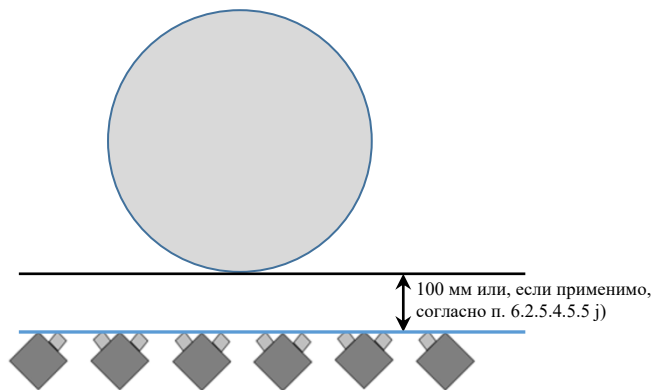
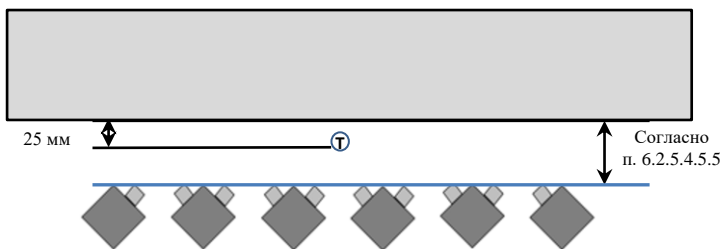
Расположение основания цилиндрического резервуара относительно горелки

Рис. 11

Расположение основания резервуара конформной конструкции относительно горелки**6.2.5.5.2 Ориентация пламени зон локального горения и воздействия охватывающим пламенем в направлении СХКВ**

В целях проверки восприимчивости предохранительных УСДТ к воздействию огня и способности их срабатывания для защиты резервуара пламя горелки локального огневого воздействия должно быть направлено на испытательный образец СХКВ. Соблюдение данного требования обеспечивается следующим образом:

- а) в случае СХКВ, применительно к которой изготовитель решил не включать элементы оборудования, предусмотренные комплектацией конкретного транспортного средства (как определено в пункте 6.2.5.1), испытательный образец СХКВ разворачивают относительно горелки локального огневого воздействия таким образом, чтобы свести восприимчивость предохранительных УСДТ к воздействию огня и способность их срабатывания к минимуму. При определении наиболее неблагоприятного положения относительно зоны локального горения учитывают наличие экранов, панелей, обмотки, элементов конструкции и других дополнительно размещенных на резервуаре приспособлений, поскольку детали и элементы, призванные служить для защиты участков резервуара, могут (непреднамеренно) делать другие зоны или стыки/швы уязвимыми к воздействию агрессивной среды и/либо воспрепятствовать штатному срабатыванию УСДТ.

В случае СХКВ, применительно к которой изготовитель решил учитывать элементы оборудования, предусмотренные комплектацией конкретного транспортного средства (как определено в пункте 6.2.5.1), испытательный образец СХКВ ориентируют относительно горелки локального пламени таким образом, чтобы добиться огневого воздействия по наихудшему из возможных для конкретного транспортного средства сценариев;

- b) горелку локального пламени размещают под испытательным образцом СХКВ с таким расчетом, чтобы расстояние от зоны локального воздействия огня до ближайшей(их) точки (точек) установки УСДТ было максимальным.

Переход на зону воздействия охватывающим пламенем происходит в одном направлении: от зоны локального воздействия огня в сторону ближайшего УСДТ (или ближайшей точки установки). Горелка охватывающего пламени может выступать за контуры предохранительных УСДТ, если расстояние от горелки локального огневого воздействия не превышает максимально допустимой длины зоны перехода на охватывающее пламя, как она определена выше (т. е. 1400 ± 50 мм).

ПРИМЕЧАНИЕ: Примеры часто встречающихся ситуаций в связи с ориентацией пламени зоны локального горения в направлении испытательного образца СХКВ и расположения рабочей поверхности зоны воздействия охватывающим пламенем под испытательным образцом приводятся в обосновании (рис. 28–35 в разделе E части I).

6.2.5.6 Контрольно-измерительные приборы и подсоединение устройств к испытательному образцу СХКВ

6.2.5.6.1 Состав и схема установки термопар, используемых для мониторинга пламени горелки, аналогичны тем, что предписаны по пункту 6.2.5.4.3.2 для целей предварительной проверки перед испытанием. Примеры их расположения под основанием цилиндрического резервуара и резервуара конформной конструкции, соответственно, приводятся на рис. 10 и 11.

По крайней мере одну термопару для мониторинга пламени горелки размещают под испытательным образцом СХКВ в зоне локального воздействия огня, а еще две термопары — в зоне перехода на охватывающее пламя. Допускается дополнительное размещение вдоль осевой линии горелок локального огневого воздействия и охватывающего пламени термопар для резервного или дополнительного мониторинга их пламени.

6.2.5.6.2 Порядок расчета температурных параметров на основе показаний, фиксируемых датчиками пламени горелки ($T_{B_{LOC25}}$ и $T_{B_{ENG25}}$), аналогичен тому, который предусмотрен по пункту 6.2.5.4.3.3 для целей предварительной проверки перед испытанием.

Для целей факультативной диагностики в местах установки УСДТ или любых других точках допускается размещение дополнительных термопар.

Перед испытанием к СХКВ подсоединяют жидкостный трубопровод для обеспечения наполнения СХКВ и стравливания ее содержимого, как это предписано процедурой испытания.

На этот трубопровод устанавливают запорный(е) клапан(ы), необходимый(е) для изолирования содержимого СХКВ в ходе испытания и выполнения — до или после испытания — требуемых операций наполнения и стравливания.

На трубопровод также устанавливают датчик давления, с тем чтобы в процессе испытания можно было дистанционно контролировать давление содержимого СХКВ. Обеспечиваемая датчиком точность должна составлять не менее ± 1 % по полной шкале и ± 10 % при давлении 1 МПа.

- 6.2.5.7 Процедура испытания СХКВ на огнестойкость
- 6.2.5.7.1 Перед началом испытания СХКВ заполняют компримированным газообразным водородом до ≥ 100 % степени зарядки (СЗ).
- 6.2.5.7.2 Первый этап испытания СХКВ на огнестойкость начинается с подачи топлива в горелку локального огневого воздействия и зажигания горелки:
- a) после подтверждения зажигания огня расход топлива выставляют на значение, соответствующее необходимому показателю удельной скорости тепловыделения (УСТВ) для горелки локального огневого воздействия по пункту 6.2.5.4.5.3, а время испытания — на 0 минут;
 - b) как показано на рис. 6 в пункте 6.2.5, 10-секундное скользящее среднее датчика пламени горелки в зоне локального воздействия огня ($T_{V_{LOC25}}$) должно в пределах 1 минуты после зажигания огня и на протяжении следующих 2 минут составлять не менее 300 °С.
- Не позднее 3 минут после начала испытания 60-секундное скользящее среднее датчика пламени горелки локального огневого воздействия ($T_{V_{LOC25}}$) должно превышать значение $T_{min_{LOC25}}$, определенное по пункту 6.2.5.4.5.4. Если же достичь требуемой температуры по показаниям $T_{V_{LOC25}}$ в течение 3 минут не удастся, то испытание прекращают.
- ПРИМЕЧАНИЯ:
- i) После того, как вышеуказанные критерии уже соблюдены, проведения мониторинга 60-секундного скользящего среднего датчика пламени горелки локального огневого воздействия ($T_{V_{LOC25}}$) не требуется, поскольку на точности показаний датчика пламени может негативно сказаться расширение материалов испытательного образца СХКВ или их падение в ходе последующего испытания СХКВ на огнестойкость.
 - ii) Температура вне зоны локального воздействия огня в течение этих первых 10 минут после зажигания огня не оговорена.
 - iii) Если испытание прекращено ввиду того, что достичь требуемой температуры по показаниям $T_{V_{LOC25}}$ в пределах предписанного временного интервала не удалось, то перед повторным испытанием надлежит учесть требования пункта 6.2.5.2 относительно обеспечения ветрозащиты и пункта 6.2.5.4.5 — относительно регулировки работы горелки и ее настройки.
- 6.2.5.7.3 Через 10 минут после начала испытания приступают ко второму этапу путем подачи топлива в горелку зоны перехода на охватывающее пламя и зажигания горелки:
- a) после подтверждения зажигания огня расход топлива, подаваемого в зоны как локального горения, так и перехода на охватывающее пламя, выставляют на значение, соответствующее необходимому показателю удельной скорости тепловыделения (УСТВ) для горелки охватывающего пламени по пункту 6.2.5.4.5.3;
 - b) не позднее 2 минут после зажигания горелки охватывающего пламени (т. е. в пределах 12 минут после начала испытания) 60-секундное скользящее среднее датчика пламени горелки охватывающего пламени ($T_{V_{ENG25}}$) должно превышать значение $T_{min_{ENG25}}$, определенное по пункту 6.2.5.4.5.4, или равняться ему.

ПРИМЕЧАНИЯ:

- i) После того, как вышеуказанные критерии уже соблюдены, проведения мониторинга 60-секундного скользящего среднего датчика пламени горелки охватывающего пламени ($T_{B_{ENG25}}$) не требуется, поскольку на точности показаний датчика пламени может негативно сказаться расширение материалов испытательного образца СХКВ или их падение в ходе последующего испытания СХКВ на огнестойкость.
- ii) Если испытание прекращено ввиду того, что достичь требуемой температуры по показаниям $T_{B_{ENG25}}$ в пределах предписанного временного интервала не удалось, то перед повторным испытанием надлежит учесть требования пункта 6.2.5.2 относительно обеспечения ветрозащиты и пункта 6.2.5.4.5 — относительно регулировки работы горелки и ее настройки.

6.2.5.7.4 При срабатывании предохранительных УСДГ допускается незначительное перемещение испытательного образца СХКВ и последующее изменение его положения относительно горелок.

Испытание на огнестойкость продолжают:

- a) до опорожнения СХКВ и падения давления до уровня, составляющего менее 1 МПа; либо
- b) до истечения с момента начала испытания 1 часа в случае СХКВ для ТСМГ или 2 часов в случае СХКВ для ТСБГ.

По завершении испытания перекрывают в течение одной минуты подачу топлива в горелку, давление из СХКВ стравливают (если только его значение не приблизилось уже к уровню атмосферного), после чего систему продувают инертным газом для целей последующего безопасного манипулирования с ней.

ПРИМЕЧАНИЕ: В разделе E d) части I приводятся рекомендуемые технические данные и сведения, подлежащие отражению в протоколе испытания СХКВ на огнестойкость.

6.2.6 Процедуры испытаний на износостойчивость первичных запорных устройств (требования пункта 5.1.5)

Испытания проводят с использованием газообразного водорода или неактивного газа, как указано в нижеследующих пунктах.

Газообразный водород должен соответствовать стандартам ISO 14687:2019, SAE J2719_202003 или следующим техническим характеристикам:

- a) индекс водородного топлива: $\geq 99,97$ %;
- b) общее содержание неводородных компонентов: ≤ 300 мкмоль/моль;
- c) содержание воды: ≤ 5 мкмоль/моль;
- d) концентрация частиц: ≤ 1 мг/кг.

При испытании на герметичность в качестве испытательного газа используют водород, гелий или неактивную газовую смесь с обнаруживаемым количеством гелия или водорода.

Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды 20 ± 5 °C.

6.2.6.1 Квалификационные испытания на эффективность УСДТ системы хранения компримированного водорода

6.2.6.1.1 Испытание на циклическое изменение давления

Пять блоков УСДТ подвергают 15 000 циклам изменения внутреннего давления согласно таблице 11. После данного испытания предохранительное устройство сброса давления должно соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) и испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10). Краткое описание циклов изменения давления см. в таблице 11 ниже.

Таблица 11

Условия циклического изменения давления

| <i>Циклы изменения давления в привязке к % НРД</i> | <i>Число циклов</i> | <i>Температура образца, подвергаемого циклическому изменению давления</i> |
|--|---------------------|---|
| от ≤ 2 МПа до ≥ 150 % НРД | первые 10 | ≥ 85 °С |
| от ≤ 2 МПа до ≥ 125 % НРД | следующие 2 240 | ≥ 85 °С |
| от ≤ 2 МПа до ≥ 125 % НРД | следующие 10 000 | 20 °С |
| от ≤ 2 МПа до ≥ 80 % НРД | следующие 2 750 | ≤ -40 °С |

Примечание: все циклы проводят с частотой ≤ 10 циклов в минуту.

6.2.6.1.2 Ускоренное испытание на долговечность

Испытанию подвергают восемь блоков УСДТ; три — при указанной изготовителем температуре активации, T_f , и пять — при температуре ускоренной активации. Температура при ускоренном испытании на долговечность, T_L , указываемая в °С, выражается следующим уравнением:

$$T_L = \left(\frac{0,502}{\beta + T_f} + \frac{0,498}{\beta + T_{ME}} \right)^{-1} - \beta,$$

где $\beta = 273,15$, T_{ME} составляет 85 °С, а T_f — это указанная изготовителем температура активации. УСДТ помещают в печь или жидкую ванну с температурой, поддерживаемой на постоянном уровне (± 1 °С). Давление на входе УСДТ составляет ≥ 125 % НРД. Источник подачи давления может быть расположен вне печи или ванны с регулируемой температурой. Давление на каждое устройство подается индивидуально или через систему коллектора. При использовании системы коллектора каждый напорный патрубок может снабжаться контрольным клапаном для предотвращения снижения давления в системе в случае выхода из строя какого-либо образца. Активация трех УСДТ, испытываемых при T_f , должна происходить менее чем через 10 часов. Активация пяти УСДТ, испытываемых при T_L , должна происходить не менее чем через 500 часов и отвечать требованиям пункта 6.2.6.1.8 (испытание на герметичность).

6.2.6.1.3 Испытание на циклическое воздействие температуры

a) УСДТ не под давлением помещают по крайней мере на два часа в жидкую ванну с температурой ≤ -40 °С. Затем с интервалом в пять минут УСДТ переносят в жидкую ванну с температурой ≥ 85 °С и выдерживают при данной температуре в течение минимум двух часов. После этого с интервалом в пять минут УСДТ снова помещают в жидкую ванну с температурой ≤ -40 °С.

b) Цикл изменения температуры по этапу a) повторяют 15 раз.

- c) УСДТ, прошедшее кондиционирование в течение по крайней мере двух часов в жидкой ванне с температурой ≤ -40 °С, подвергают циклическому изменению давления от ≤ 2 МПа до ≥ 80 % НРД в течение 100 циклов при поддержании температуры жидкой ванны на уровне ≤ -40 °С.
- d) После прохождения циклов изменения температуры и давления предохранительное устройство сброса давления должно соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), за тем исключением, что испытание на герметичность проводят при температуре ≤ -40 °С. После испытания на герметичность УСДТ должно соответствовать требованиям стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) и затем испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10).

6.2.6.1.4 Испытание на стойкость к солевой коррозии

Ускоренное испытание на циклическую коррозию проводят с соблюдением нижеследующей процедуры.

- a) Три УСДТ подвергают ускоренному лабораторному испытанию на коррозионную стойкость, проводимому в условиях сочетания циклических режимов (в солевом растворе при различных значениях температуры и влажности, а также различных параметрах окружающей среды). Суть метода испытания состоит в том, что образец подвергают воздействию 1-процентного (приблизительно) комплексного солевого тумана в сочетании с высокой температурой, высокой влажностью и с последующей высокотемпературной сушкой. Продолжительность одного испытательного цикла составляет 24 часа, как показано в таблице 12.

Таблица 12

Условия проведения ускоренного испытания на циклическую коррозию (1 цикл = 24 ч)

| <i>Режим цикла</i> | <i>Температура (°C)</i> | <i>Относительная влажность (%)</i> | <i>Продолжительность фаз цикла</i> |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Фаза воздействия внешних факторов | 25 ±3 | 45 ±10 | 8 ч ±10 мин |
| Время перехода 1 ч ±5 мин | | | |
| Фаза смачивания | 49 ±2 | 100 | 7 ч ±10 мин |
| Время перехода 3 ч ±10 мин | | | |
| Фаза сушки | 60 ±2 | ≤30 | 5 ч ±10 мин |

- b) Используемое при данном испытании оборудование состоит из камеры солевого тумана/климатической камеры, надлежащего устройства подачи лабораторной воды типа IV по стандарту ASTM D1193-06 (2018), устройств для обогрева камеры и необходимых средств для регулирования температуры в диапазоне от 22 °С до 62 °С. Оборудование также включает устройства подвода сжатого воздуха с соответствующими параметрами и одну или несколько форсунок для образования солевого тумана. Во избежание любого прямого попадания распыляемой жидкости на испытательные образцы форсунка(и) должна (должны) быть соответствующим образом ориентирована(ы) или отрегулирована(ы).
- c) Конструкция камеры должна соответствовать стандарту ISO 6270-2:2017. В ходе циклов смачивания с образованием капель, стекающих на дно камеры, для подтверждения

надлежащей степени увлажненности проводят визуальный осмотр на предмет наличия на поверхности образцов различных мелких капелек жидкости.

- d) Можно использовать конденсат от парообразования при условии, что жидкость, служащая для генерации пара, не содержит ингибиторов коррозии. В ходе циклов смачивания с производством пара проводящий испытание орган — в целях проверки надлежащей степени увлажненности — должен удостовериться в наличии на поверхности образцов различных мелких капелек жидкости.
- e) Оборудование, используемое в фазе сушки, должно быть в состоянии задавать и поддерживать следующие условия окружающей среды: температура 60 ± 2 °C и относительная влажность ≤ 30 %. Кроме того, это оборудование должно обеспечивать надлежащую циркуляцию воздуха во избежание температурного перекося, а также полное высушивание испытательных образцов.
- f) Напорная сила струи/прямое попадание солевого раствора не должны приводить к удалению коррозии или повреждению лакировки/лакокрасочного покрытия испытательных образцов.
- g) Концентрация веществ в комплексном солевом растворе, в процентах по массе, должна соответствовать указанным ниже значениям:
 - i) хлористый натрий (NaCl): 0,9 %;
 - ii) хлорид кальция (CaCl₂): 0,1 %;
 - iii) бикарбонат натрия (NaHCO₃): 0,075 %.

Хлористый натрий должен быть аналитической степени чистоты или квалифицироваться как пригодный для применения в пищевой промышленности. Хлорид кальция должен быть аналитической степени чистоты. Бикарбонат натрия должен быть аналитической степени чистоты или квалифицироваться как пригодный для применения в пищевой промышленности (например, допустимо использование пищевой соды или аналогичного продукта). Вода должна соответствовать требованиям к лабораторной воде типа IV по стандарту ASTM D1193-06 (2018).

ПРИМЕЧАНИЕ: Как CaCl₂, так и NaHCO₃ должны быть отдельно растворены в воде и добавлены к раствору других материалов. При добавлении всех твердых материалов в сухом виде может образоваться нерастворимый осадок.

- h) Предохранительные УСДТ устанавливают в камеру с соблюдением рекомендуемой изготовителем процедуры и подвергают предписанному испытанию на циклическую коррозию, описанному в таблице 12.
- i) Цикл повторяют ежедневно до наработки 100 циклов воздействия. На каждой стадии воздействия солевого тумана раствор при помощи аэрозольного аппарата распыляют с образованием свободно циркулирующей равномерной взвеси до тех пор, пока все участки не будут тщательно смочены/увлажнены. Для нанесения раствора допускается использование пластикового аэрозольного баллона либо сифонного распылителя с контролем подаваемого на испытательные образцы безмасляного воздуха. Количество распыляемого аэрозоля должно быть достаточным для того, чтобы смыть следы солевых отложений от предыдущих

операций распыления. В фазе воздействия внешних факторов проводят в общей сложности четыре стадии воздействия соевым туманом. Ни на каком другом этапе испытания к применению соевого тумана не прибегают. Первую стадию воздействия соевым туманом проводят в начале фазы воздействия внешних факторов. Интервал между отдельными стадиями составляет примерно 90 минут, с тем чтобы имелось время, достаточное для высыхания испытательного образца. При необходимости прервать испытание на выходные и праздничные дни, испытательный образец консервируют при температуре окружающей среды 25 ± 3 °C и относительной влажности 45 ± 10 %, после чего цикл возобновляют с фазы воздействия внешних факторов.

- j) Время перепада влажности при переходе от фазы воздействия внешних факторов к фазе смачивания и от фазы смачивания к фазе сушки может серьезно сказаться на динамике ускоренного испытания (это обусловлено тем, что в эти переходные периоды наблюдается наиболее высокая скорость коррозии). Время перехода от фазы воздействия внешних факторов к фазе смачивания составляет 60 ± 5 минут, а от фазы смачивания к фазе сушки — 180 ± 10 минут.
- k) Сразу же после испытания на коррозионную стойкость образцы промывают свежей водопроводной водой и дают им просохнуть, прежде чем приступить к проведению оценки.
- l) После этого предохранительные УСДТ должны соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) и испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10).

6.2.6.1.5 Испытание на воздействие жидкостей, используемых в транспортном средстве

Устойчивость к внешнему воздействию жидкостей, используемых на автомобильном транспорте, определяют при помощи следующего испытания:

- a) соединительные патрубки на входе и выходе УСДТ подсоединяют или перекрывают в соответствии с инструкциями изготовителя. Наружные поверхности УСДТ в течение 24 часов и при температуре окружающей среды подвергают воздействию каждой из следующих жидкостей:
 - i) серная кислота: 19-процентный водный раствор по объему;
 - ii) смесь бензина с этанолом: топливо E10, состоящее из бензина и этанола в концентрации 90 %/10 %; и
 - iii) жидкость для обмыва ветрового стекла (50 % по объему метилового спирта и воды).

По мере необходимости эти жидкости добавляют для обеспечения полного погружения образца на протяжении всего испытания. Для каждой из жидкостей проводят отдельное испытание. Воздействию последовательно всеми жидкостями может подвергаться одно УСДТ;

- b) после воздействия каждой жидкостью УСДТ протирают и промывают водой;
- c) на данном УСДТ не должно иметься таких признаков механического повреждения, способного негативно отразиться на функциональной пригодности элемента оборудования, как

трещины, размягчения или вздутия. Такие сугубо внешние изменения, как следы разъедания или пятна, дефектами не считаются. По завершении всех испытаний УСДТ должно отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), стендовому испытанию на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) и испытанию на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10).

6.2.6.1.6 Испытание на коррозионное растрескивание

Данному испытанию подвергают только предохранительные УСДТ с компонентами, изготовленными из медных сплавов и подвергающимися воздействию внешних факторов. Проведение этого испытания допускается в случае, если тестирующий орган не располагает информацией о наличии медных сплавов.

В случае УСДТ, содержащих компоненты, изготовленные из медного сплава (например, латуни), испытанию подвергают один блок УСДТ. Все компоненты, изготовленные из медного сплава и подвергающиеся атмосферному воздействию, обезжиривают, а затем выдерживают в течение минимум 10 дней подряд во влажных парах аммиачно-воздушной смеси в накрытой стеклянной крышкой кюветной камере.

На дне кюветной камеры под образцом находится водный раствор аммиака удельной плотностью 0,94 в концентрации, составляющей не менее 20 мл на литр объема камеры. Образец помещают на лоток из инертного материала, который закрепляют над водным раствором аммиака на высоте 35 ± 5 мм. Температуру влажных паров аммиачно-воздушной смеси поддерживают на уровне 35 ± 5 °C при атмосферном давлении. В результате этого испытания на компонентах, изготовленных из медного сплава, не должно образовываться трещин или появляться расслоений.

6.2.6.1.7 Испытание на сбрасывание и виброустойчивость

- а) Блоки УСДТ, представляющие собой готовые детали в сборе, при температуре окружающей среды сбрасывают — чтобы они свободно падали под действием силы тяжести — с высоты ≥ 2 м на гладкую бетонную поверхность. Допускается отскакивание УСДТ от бетонной поверхности после первоначального удара.

Можно использовать до шести отдельных блоков, с тем чтобы охватить все шесть основных осей (т. е. сбрасывание каждого образца в одном конкретном положении, соответствующем противоположным направлениям трех ортогональных осей: вертикальной, поперечной и продольной). Испытания на соответствие установленным требованиям могут проводиться в любом из этих шести положений. По усмотрению изготовителя допускается сбрасывание одного блока во всех шести направлениях.

После каждого сбрасывания образец осматривают на предмет наличия видимых повреждений. Если на подвергнутом сбрасыванию в любом из шести положений блоке не имеется видимых внешних повреждений, указывающих на эксплуатационную непригодность данной детали (т. е. резьба повреждена настолько, что деталь становится непригодной для использования), то переходят к этапу b).

Примечание: любые образцы, получившие в результате сбрасывания повреждения, которые приводят к невозможности установки УСДТ (т. е. повреждение резьбы), исключаются из проверки на этапе b), что, однако, не считается негативным результатом данного испытания.

- b) Каждый из блоков УСДТ, подвергнутых сбрасыванию на этапе а), на которых не имеется видимых внешних повреждений, и один дополнительный блок, не подвергавшийся сбрасыванию, устанавливают на испытательную арматуру в соответствии с инструкциями изготовителя и в течение 30 минут воздействуют на них вибрацией по каждой из трех ортогональных осей (вертикальной, поперечной и продольной) с наиболее агрессивной резонансной частотой для каждой оси.

Наиболее агрессивные резонансные частоты определяют посредством развертки в диапазоне синусоидального изменения частоты от 10 до 500 Гц за 10 минут при значении ускорения 1,5 g. Резонансную частоту определяют по резкому возрастанию амплитуды колебаний. Если резонансная частота не находится в пределах этого диапазона, то испытание проводят при частоте 40 Гц.

По завершении этого испытания каждый образец должен соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9) и испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10).

6.2.6.1.8 Испытание на герметичность

Данному испытанию подвергают одно УСДТ, которое не подвергалось предыдущим испытаниям на проверку соответствия конструкции установленным требованиям, и дополнительные блоки, как это указано применительно к другим испытаниям по пункту 6.2.6.1. Испытание на герметичность проводят при температуре окружающей среды и при высокой и низкой температурах. На блок подают давление ≥ 2 МПа и до испытания его выдерживают в течение не менее одного часа при каждой из требуемых испытательных температур в целях обеспечения термостатирования. На вход УСДТ подают испытательный газ под давлением. Что касается условий испытания, то предъявляются следующие требования:

- a) температура окружающей среды: блок подвергают кондиционированию при температуре окружающей среды; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 125 % НРД;
- b) высокая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре ≥ 85 °С; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 125 % НРД;
- c) низкая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре ≤ -40 °С; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 100 % НРД.

После кондиционирования при каждой из указанных испытательных температур блок проверяют на предмет утечки посредством погружения его не менее чем на одну минуту при каждом из значений испытательного давления, приведенных выше, в жидкую среду с контролируемой температурой (либо при помощи эквивалентного метода). Если за указанный период времени не наблюдается образования пузырей, то считается, что образец прошел испытание. В случае обнаружения пузырей измеряют скорость утечки. Суммарная скорость утечки водорода должна составлять менее 10 Нмл/ч.

6.2.6.1.9 Стендовое испытание на срабатывание

Для установления базового времени срабатывания, определяемого как усредненное время срабатывания соответствующего числа блоков, три новых блока УСДТ испытывают, не подвергая их другим испытаниям на

проверку соответствия конструкции установленным требованиям. Пять дополнительных блоков, предварительно испытанных (в соответствии с пунктами 6.2.6.1.1, 6.2.6.1.3, 6.2.6.1.4, 6.2.6.1.5 и 6.2.6.1.7), подвергают стендовому испытанию на срабатывание, как это указано применительно к другим испытаниям по пункту 6.2.6.1.

- a) Испытательная установка представляет собой либо печь, либо горн с контролем температуры и расхода, способную/способный обеспечить температуру воздуха вокруг УСДТ на уровне 600 ± 10 °С. Блок УСДТ не должен подвергаться прямому воздействию пламени. Блок УСДТ устанавливают на испытательную арматуру в соответствии с инструкциями изготовителя; документируют конфигурацию испытания.
- b) Для целей контроля температуры в печь или горн помещают термопару. Перед началом испытания температуру в течение по крайней мере двух минут поддерживают в пределах приемлемого диапазона значений.
- c) Перед помещением в печь на блок УСДТ подают давление $2 \pm 0,5$ МПа.
- d) Блок УСДТ под давлением помещают в печь или горн и регистрируют время срабатывания устройства.
- e) Блоки УСДТ, предварительно подвергнутые другим испытаниям по пункту 6.2.6.1, должны срабатывать не позднее чем через две минуты по сравнению с базовым временем срабатывания.
- f) Максимальная разница между временем срабатывания трех блоков УСДТ, предварительно не подвергавшихся другим испытаниям, не должна превышать две минуты.

6.2.6.1.10 Испытание на проверку расхода

- a) Испытанию на проверку пропускной способности подвергают восемь блоков УСДТ, в том числе три новых блока УСДТ и по одному блоку УСДТ, прошедшему испытания, предусмотренные следующими пунктами: 6.2.6.1.1, 6.2.6.1.3, 6.2.6.1.4, 6.2.6.1.5 и 6.2.6.1.7.
- b) Каждый блок УСДТ активируют в соответствии с пунктом 6.2.6.1.9. После этого каждый блок — без очистки, снятия деталей или повторного кондиционирования — подвергают испытанию на проверку расхода.
- c) Испытание на проверку расхода проводят при давлении на входе, составляющем $2 \pm 0,5$ МПа. Давление на выходе равняется атмосферному. Регистрируют давление на входе и значение расхода.
- d) Расход измеряют с точностью ± 2 %. Наименьшее измеренное значение по восьми предохранительным устройствам сброса давления должно составлять не менее 90 % наибольшего значения расхода.

6.2.6.1.11 Испытание на воздействие атмосферных условий

Испытание на воздействие атмосферных условий проводят для цели проверки соответствия предохранительных УСДТ квалификационным требованиям, если в данном элементе оборудования имеются неметаллические материалы, на которые при обычных условиях эксплуатации воздействуют атмосферные условия.

- a) Все неметаллические материалы, используемые для обеспечения изоляции топлива и подвергаемые воздействию атмосферных

условий, в отношении которых подателем заявки не представлены удовлетворяющие технические спецификации, не должны растрескиваться или иметь видимых внешних повреждений после воздействия на них в течение по крайней мере 96 часов кислородом при температуре 70 °С и давлении 2 МПа в соответствии со стандартом ISO 188:2011 или ASTM D572-04 (2019).

- b) Стойкость всех эластомеров, подвергаемых воздействию атмосферных условий, к действию озона подтверждают посредством:
- i) определения стойкости к действию озона каждого из соединений эластомера;
 - ii) испытания элемента оборудования в соответствии со стандартом ISO 1431-1:2012, ASTM D1149-18 либо с использованием эквивалентных методов;
 - iii) испытательный образец, растягиваемый до его удлинения на 20 %, подвергают при 40 °С воздействию воздуха с концентрацией озона 50 частей на 100 млн в течение 120 часов. Неметаллические материалы, имеющиеся в испытательном образце, не должны растрескиваться или иметь видимых внешних повреждений после воздействия на них озоном.

6.2.6.2 Квалификационные испытания на эффективность контрольного клапана и запорного клапана системы хранения сжатого водорода

6.2.6.2.1 Гидростатическое испытание на прочность

Выпускное отверстие элементов оборудования закрывают заглушкой, а седла клапанов или внутренние клапанные секции устанавливают в открытое положение. Для установления базового давления разрыва один блок испытывают, не подвергая его другим испытаниям на проверку соответствия конструкции установленным требованиям. Другие же блоки подвергают последующим испытаниям, указанным в пункте 6.2.6.2.

- a) На вход элемента оборудования в течение не менее трех минут подают гидростатическое давление, составляющее ≥ 250 % НРД. Элемент оборудования осматривают, с тем чтобы удостовериться в отсутствии разрыва.
- b) Затем подаваемое гидростатическое давление увеличивают со скоростью $\leq 1,4$ МПа/с вплоть до выхода элемента оборудования из строя. Регистрируют значение гидростатического давления в момент отказа клапана. Разрушающее давление для блоков, предварительно подвергнутых другим испытаниям, должно составлять ≥ 80 % базового разрушающего давления, если только гидростатическое давление не превышает 400 % НРД.

6.2.6.2.2 Испытание на герметичность

Данному испытанию подвергают один клапанный блок, который не подвергался предыдущим испытаниям на проверку соответствия конструкции установленным требованиям, и дополнительные блоки, как это указано применительно к другим испытаниям по пункту 6.2.6.2. Испытание на герметичность проводят при температуре окружающей среды и при высокой и низкой температурах. На блок подают давление ≥ 2 МПа и до испытания его выдерживают в течение не менее одного часа при каждой из требуемых испытательных температур в целях обеспечения термостатирования. Выпускное отверстие закрывают соответствующей плотной заглушкой и на вход подают испытательный

газ под давлением. Что касается условий испытания, то предъявляются следующие требования:

- a) температура окружающей среды: блок подвергают кондиционированию при температуре 20 ± 5 °C; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 125 % НРД;
- b) высокая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре ≥ 85 °C; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 125 % НРД;
- c) низкая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре ≤ -40 °C; испытание проводят при $2 \pm 0,5$ МПа и ≥ 100 % НРД.

После кондиционирования при каждой из указанных испытательных температур блок проверяют на предмет утечки посредством погружения его не менее чем на одну минуту при каждом из значений испытательного давления, приведенных выше, в жидкую среду с контролируемой температурой (либо при помощи эквивалентного метода). Если за указанный период времени не наблюдается образования пузырей, то считается, что образец прошел испытание. В случае обнаружения пузырей измеряют скорость утечки. Скорость утечки газообразного водорода не должна превышать 10 Нмл/ч.

6.2.6.2.3 Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах

Общее число рабочих циклов составляет 15 000 для контрольного клапана и 50 000 для запорного клапана. Клапанный блок устанавливают на испытательную арматуру в соответствии с указаниями изготовителя.

- a) С использованием газообразного водорода или неактивного газа клапан приводят в действие, и эту операцию непрерывно повторяют при всех заданных значениях температуры и давления:
 - i) циклическое изменение давления при температуре окружающей среды. Блок, прошедший стабилизацию при температуре окружающей среды, подвергают рабочим циклам при ≥ 100 % НРД в течение 90 % общего числа циклов;
 - ii) циклическое изменение давления при высокой температуре. Блок, прошедший стабилизацию при температуре ≥ 85 °C, подвергают рабочим циклам при ≥ 125 % НРД в течение 5 % общего числа циклов;
 - iii) циклическое изменение давления при низкой температуре. Блок, прошедший стабилизацию при температуре ≤ -40 °C, подвергают рабочим циклам при ≥ 80 % НРД в течение 5 % общего числа циклов.
- b) Требования, предъявляемые к рабочему циклу:
 - i) контрольный клапан: клапан должен выдерживать 15 000 циклов срабатывания и воздействие вибрации в течение не менее 24 часов при испытании в соответствии с нижеследующей процедурой.

Контрольный клапан подсоединяют к испытательной арматуре и шестью импульсами подают на вход клапана требуемое испытательное давление при закрытом выходном отверстии. Затем давление на входе клапана стравливают. Незакрытие клапана, т. е. его неспособность предотвратить противоток, означает несрабатывание контрольного клапана. Перед началом следующего цикла

давление на выходе контрольного клапана снижают до ≤ 60 % НРД.

После прохождения рабочих циклов контрольный клапан по меньшей мере в течение 24 часов подвергают воздействию вибрации при расходе, вызывающем наибольшее биение (стук клапана).

По завершении этого испытания контрольный клапан должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.2.2) и гидростатическому испытанию на прочность (пункт 6.2.6.2.1);

- ii) запорный клапан: клапан должен выдерживать 50 000 циклов срабатывания при испытании в соответствии с нижеследующей процедурой.

Запорный клапан устанавливают на соответствующую испытательную арматуру. Каждый цикл состоит из наполнения через впускное отверстие до достижения требуемого испытательного давления. Затем запорный клапан открывают (запитывают) и давление подсоединенного к арматуре клапана сбрасывают до 50 % испытательного давления наполнения. После этого запорный клапан закрывают (обесточивают), прежде чем переходить к следующему циклу наполнения.

После прохождения рабочих циклов запорный клапан — только если в процессе наполнения он функционирует как контрольный клапан — по меньшей мере в течение 24 часов подвергают воздействию вибрации при расходе, вызывающем в обычных условиях эксплуатации наибольшее биение (стук клапана).

Примечание: Если при нормальных значениях расхода вибрации не возникает, то 24-часовое испытание на биение не требуется.

По завершении этого испытания запорный клапан должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.2.2) и гидростатическому испытанию на прочность (пункт 6.2.6.2.1).

6.2.6.2.4 Испытание на стойкость к солевой коррозии

Ускоренное испытание на циклическую коррозию проводят с соблюдением нижеследующей процедуры.

- a) Три образца элемента оборудования подвергают ускоренному лабораторному испытанию на коррозионную стойкость, проводимому в условиях сочетания циклических режимов (в солевом растворе при различных значениях температуры и влажности, а также различных параметрах окружающей среды). Суть метода испытания состоит в том, что образец подвергают воздействию 1-процентного (приблизительно) комплексного солевого тумана в сочетании с высокой температурой, высокой влажностью и с последующей высокотемпературной сушкой. Продолжительность одного испытательного цикла составляет 24 часа, как показано в таблице 13.

Таблица 13

**Условия проведения ускоренного испытания на циклическую коррозию
(1 цикл = 24 ч)**

| <i>Режим цикла</i> | <i>Температура (°C)</i> | <i>Относительная влажность (%)</i> | <i>Продолжительность фаз цикла</i> |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Фаза воздействия внешних факторов | 25 ±3 | 45 ±10 | 8 ч ±10 мин |
| Время перехода 1 ч ±5 мин | | | |
| Фаза смачивания | 49 ±2 | 100 | 7 ч ±10 мин |
| Время перехода 3 ч ±10 мин | | | |
| Фаза сушки | 60 ±2 | ≤30 | 5 ч ±10 мин |

- b) Используемое при данном испытании оборудование состоит из камеры солевого тумана/климатической камеры, надлежащего устройства подачи лабораторной воды типа IV по стандарту ASTM D1193-06 (2018), устройств для обогрева камеры и необходимых средств для регулирования температуры в диапазоне от 22 °C до 62 °C. Оборудование также включает устройства подвода сжатого воздуха с соответствующими параметрами и одну или несколько форсунок для образования солевого тумана. Во избежание любого прямого попадания распыляемой жидкости на испытательные образцы форсунка(и) должна (должны) быть соответствующим образом ориентирована(ы) или отрегулирована(ы).
- c) Конструкция камеры должна соответствовать стандарту ISO 6270-2:2017. В ходе циклов смачивания с образованием капель, стекающих на дно камеры, проводящий испытание орган — в целях проверки надлежащей степени увлажненности — должен удостовериться в наличии на поверхности образцов различных мелких капелек жидкости.
- d) Можно использовать конденсат от парообразования при условии, что жидкость, служащая для генерации пара, не содержит ингибиторов коррозии. В ходе циклов смачивания с производством пара для подтверждения надлежащей степени увлажненности проводят визуальный осмотр на предмет наличия на поверхности образцов различных мелких капелек жидкости.
- e) Оборудование, используемое в фазе сушки, должно быть в состоянии задавать и поддерживать следующие условия окружающей среды: температура 60 ±2 °C и относительная влажность ≤30 %. Кроме того, это оборудование должно обеспечивать надлежащую циркуляцию воздуха во избежание температурного перекося, а также полное высушивание испытательных образцов.
- f) Напорная сила струи/прямое попадание солевого раствора не должны приводить к удалению коррозии или повреждению лакировки/лакокрасочного покрытия испытательных образцов.
- g) Концентрация веществ в комплексном солевом растворе, в процентах по массе, должна соответствовать указанным ниже значениям:
- i) хлористый натрий (NaCl): 0,9 %;
 - ii) хлорид кальция (CaCl₂): 0,1 %;
 - iii) бикарбонат натрия (NaHCO₃): 0,075 %.

Хлористый натрий должен быть аналитической степени чистоты или квалифицироваться как пригодный для применения в пищевой промышленности. Хлорид кальция должен быть аналитической степени чистоты. Бикарбонат натрия должен быть аналитической степени чистоты или квалифицироваться как пригодный для применения в пищевой промышленности (например, допустимо использование пищевой соды или аналогичного продукта). Вода должна соответствовать требованиям к лабораторной воде типа IV по стандарту ASTM D1193-06 (2018).

ПРИМЕЧАНИЕ: Как CaCl_2 , так и NaHCO_3 должны быть отдельно растворены в воде и добавлены к раствору других материалов. При добавлении всех твердых материалов в сухом виде может образоваться нерастворимый осадок.

- h) Образцы элемента оборудования устанавливают в камеру с соблюдением рекомендуемой изготовителем процедуры и подвергают предписанному испытанию на циклическую коррозию, описанному в таблице 13.
- i) Цикл повторяют ежедневно до наработки 100 циклов воздействия. На каждой стадии воздействия солевого тумана раствор при помощи аэрозольного аппарата распыляют с образованием свободно циркулирующей равномерной взвеси до тех пор, пока все участки не будут тщательно смочены/увлажнены. Для нанесения раствора допускается использование пластикового аэрозольного баллона либо сифонного распылителя с контролем подаваемого на испытательные образцы безмасляного воздуха. Количество распыляемого аэрозоля должно быть достаточным для того, чтобы смыть следы солевых отложений от предыдущих операций распыления. В фазе воздействия внешних факторов проводят в общей сложности четыре стадии воздействия солевым туманом. Ни на каком другом этапе испытания к применению солевого тумана не прибегают. Первую стадию воздействия солевым туманом проводят в начале фазы воздействия внешних факторов. Интервал между отдельными стадиями составляет примерно 90 минут, с тем чтобы имелось время, достаточное для высыхания испытательного образца. При необходимости прервать испытание на выходные и праздничные дни, испытательный образец консервируют при температуре окружающей среды 25 ± 3 °C и относительной влажности 45 ± 10 %, после чего цикл возобновляют с фазы воздействия внешних факторов.
- j) Время перепада влажности при переходе от фазы воздействия внешних факторов к фазе смачивания и от фазы смачивания к фазе сушки может серьезно сказаться на динамике ускоренного испытания (это обусловлено тем, что в эти переходные периоды наблюдается наиболее высокая скорость коррозии). Время перехода от фазы воздействия внешних факторов к фазе смачивания составляет 60 ± 5 минут, а от фазы смачивания к фазе сушки — 180 ± 10 минут.
- k) Сразу же после испытания на коррозионную стойкость образцы промывают свежей водопроводной водой и дают им просохнуть, прежде чем приступить к проведению оценки.
- l) После этого испытываемые образцы подвергают испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.2.2) и гидростатическому испытанию на прочность (пункт 6.2.6.2.1).

6.2.6.2.5 Испытание на воздействие жидкостей, используемых в транспортном средстве

Устойчивость к воздействию жидкостей, используемых на автомобильном транспорте, определяют при помощи указанного ниже испытания.

- a) Соединительные патрубки на входе и выходе клапанного блока подсоединяют или перекрывают в соответствии с инструкциями изготовителя. Наружные поверхности клапанного блока в течение не менее 24 часов и при температуре окружающей среды подвергают воздействию каждой из следующих жидкостей:
 - i) серная кислота: 19-процентный водный раствор по объему;
 - ii) смесь бензина с этанолом: топливо E10, состоящее из бензина и этанола в концентрации 90 %/10 %; и
 - iii) жидкость для обмыва ветрового стекла (50 % по объему метилового спирта и воды).

По мере необходимости эти жидкости добавляют для обеспечения полного погружения образца на протяжении всего испытания. Для каждой из жидкостей проводят отдельное испытание. Воздействию последовательно всеми жидкостями может подвергаться один элемент оборудования.

- b) После воздействия каждым химическим веществом элемент оборудования протирают и промывают водой.
- c) На данном элементе оборудования не должно иметься таких признаков механического повреждения, способного негативно отразиться на функциональной пригодности элементов оборудования, как трещины, размягчения или вздутия. Такие сугубо внешние изменения, как следы разъедания или пятна, дефектами не считаются. По завершении всех испытаний на воздействие блок(и) должен (должны) отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.2.2) и гидростатическому испытанию на прочность (пункт 6.2.6.2.1).

6.2.6.2.6 Испытание на воздействие атмосферных условий

Испытание на воздействие атмосферных условий проводят для цели проверки соответствия контрольного клапана и запорных клапанов квалификационным требованиям, если в данном элементе оборудования имеются неметаллические материалы, на которые при обычных условиях эксплуатации воздействуют атмосферные условия.

- a) Все неметаллические материалы, используемые для обеспечения изоляции топлива и подвергаемые воздействию атмосферных условий, в отношении которых подателем заявки не представлены удовлетворяющие технические спецификации, не должны растрескиваться или иметь видимых внешних повреждений после воздействия на них в течение по крайней мере 96 часов кислородом при температуре 70 °C и давлении 2 МПа в соответствии со стандартом ISO 188:2011 или ASTM D572-04 (2019).
- b) Стойкость всех эластомеров к действию озона подтверждают посредством:
 - i) определения стойкости к действию озона каждого из соединений эластомера;

- ii) испытания элемента оборудования в соответствии со стандартом ISO 1431-1:2012, ASTM D1149-18 либо с использованием эквивалентных методов;
- iii) испытательный образец, растягиваемый до его удлинения на 20 %, подвергают при 40 °С воздействию воздуха с концентрацией озона 50 частей на 100 млн в течение 120 часов. Неметаллические материалы, имеющиеся в испытательном образце, не должны растрескиваться или иметь видимых внешних повреждений после воздействия на них озоном.

6.2.6.2.7 Электрические испытания

Электрические испытания проводят для цели проверки соответствия запорных клапанов квалификационным требованиям, но не проводят для целей квалификационной проверки контрольных клапанов.

- a) Испытание при отклонении напряжения от требуемого значения. Соленоидный клапан подсоединяют к источнику регулируемого напряжения постоянного тока. Работу соленоидного клапана регулируют следующим образом:
 - i) в течение минимум 1 часа поддерживают равновесное состояние (температура в установившемся режиме) при не менее чем полуторакратном номинальном напряжении;
 - ii) подаваемое напряжение увеличивают до не менее чем двукратного номинального напряжения или 60 Вольт в зависимости от того, какое значение меньше, и сохраняют на этом уровне в течение минимум 1 минуты;
 - iii) никакой пробой не должен приводить к внешней утечке через клапан согласно пункту 6.2.6.2.2, открытию клапана или созданию таких других небезопасных условий, как дым, огонь или плавление.
- b) Испытание на сопротивление изоляции. От силового кабеля на кожух элемента оборудования в течение минимум 2 секунд подают постоянный ток напряжением 1000 В. Минимально допустимое сопротивление для данного элемента оборудования составляет 240 кОм.

6.2.6.2.8 Испытание на виброустойчивость

На клапанный блок, заглушенный с обеих сторон, подают давление ≥ 100 % НРД и в течение 30 минут воздействуют на него вибрацией по каждой из трех ортогональных осей (вертикальной, продольной и поперечной) с наиболее агрессивной резонансной частотой для каждой оси. Наиболее агрессивные резонансные частоты определяют посредством развертки в диапазоне синусоидального изменения частоты от 10 до 500 Гц в течение 10 минут при значении ускорения 1,5 g. Если резонансная частота не находится в пределах этого диапазона, то испытание проводят при частоте 40 Гц. По завершении воздействия вибрации на образце не должно иметься видимых внешних повреждений, указывающих на эксплуатационную непригодность данной детали. После этого испытания клапанный блок должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность, указанному в пункте 6.2.6.2.2, и гидростатическому испытанию на прочность, указанному в пункте 6.2.6.2.1.

6.2.6.2.9 Испытание на коррозионное растрескивание

Данному испытанию подвергают только клапанные блоки с компонентами, изготовленными из медных сплавов и подвергающимися

воздействию внешних факторов. Проведение этого испытания допускается в случае, если тестирующий орган не располагает информацией о наличии медных сплавов.

В случае клапанных блоков, содержащих компоненты, изготовленные из медного сплава (например, латуни), испытанию подвергают один блок. Клапанный блок разбирают, все компоненты, изготовленные из медного сплава, обезжиривают, а затем блок собирают вновь и выдерживают в течение минимум 10 дней подряд во влажных парах аммиачно-воздушной смеси в накрытой стеклянной крышкой кюветной камере.

На дне кюветной камеры под образцом находится водный раствор аммиака удельной плотностью 0,94 в концентрации, составляющей не менее 20 мл на литр объема камеры. Образец помещают на лоток из инертного материала, который закрепляют над водным раствором аммиака на высоте 35 ± 5 мм. Температуру влажных паров аммиачно-воздушной смеси поддерживают на уровне 35 ± 5 °C при атмосферном давлении. В результате этого испытания на компонентах, изготовленных из медного сплава, не должно образовываться трещин или появляться расслоений.

7. Транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода (СХСЖВ)

7.1 Факультативные требования к СХСЖВ

Как указано в пунктах 23 и 118 преамбулы, Договаривающиеся стороны могут по своему усмотрению принять решение о принятии ГТП ООН с учетом или без учета требований к СХСЖВ по настоящему пункту 7.

Пункт 7 имеет следующую структуру:

Пункт 7.2 Квалификационные требования к конструкции системы СХСЖВ

Пункт 7.3 Целостность топливной системы СХСЖВ

Пункт 7.4 Процедуры испытаний конструкции системы СХСЖВ на соответствие установленным требованиям

Пункт 7.5 Процедуры испытаний на целостность топливной системы СХСЖВ

7.2 Квалификационные требования к конструкции системы СХСЖВ

В настоящем разделе оговорены требования в отношении целостности системы хранения сжиженного водорода.

Система хранения водорода должна отвечать указанным в настоящем разделе квалификационным требованиям в отношении испытания на эффективность. Все системы хранения сжиженного водорода, предназначенные для использования на дорожных транспортных средствах, должны удовлетворять требованиям пункта 7.2.

Изготовитель должен указать максимально допустимое рабочее давление (МДРД) для внутреннего корпуса резервуара.

Элементы испытаний для проверки этих требований к эффективности резюмированы в таблице 14.

Данные критерии применяют для квалификационной оценки систем хранения на предмет использования в новых транспортных средствах серийного производства. Они не применяются для переосвидетельствования любых штучных систем на предмет их использования сверх расчетного срока службы либо для

переосвидетельствования после устранения серьезной неисправности, чреватой пагубными последствиями.

Таблица 14

Обзор квалификационных требований к эффективности

| | |
|--|--|
| Пункт 7.2.1 Проверка базовых параметров | |
| 7.2.1.1 | Испытание на соответствие давлению |
| 7.2.1.2 | Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров; испытание проводят на внутреннем корпусе резервуара |
| 7.2.1.3 | Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы |
| Пункт 7.2.2 Проверка ожидаемой эффективности в дорожных условиях | |
| Пункт 7.2.2.1 | Утечка паров |
| Пункт 7.2.2.2 | Герметичность |
| Пункт 7.2.2.3 | Потеря вакуума |
| Пункт 7.2.3 Проверка на окончательный выход системы из строя: испытание на огнестойкость | |
| Пункт 7.2.4 Проверка элементов оборудования | |
| 7.2.1 | Проверка базовых параметров |
| 7.2.1.1 | Испытание на соответствие давлению Систему накачивают до давления, соответствующего $p_{test} \geq 1,3$ (МДРД $\pm 0,1$ МПа), в соответствии с процедурой испытания по пункту 7.4.1.1; на резервуаре под давлением не должно наблюдаться следов видимой деформации, заметных повреждений или явной утечки. |
| 7.2.1.2 | Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров Испытание на разрыв проводят с соблюдением процедуры по пункту 7.4.1.2 на одном образце внутреннего корпуса резервуара, не встроенного в наружный кожух и не снабженного изоляцией. Давление разрыва должно по меньшей мере равняться значению давления разрыва, используемому при механических расчетах. Для стальных резервуаров оно соответствует либо: а) максимально допустимому рабочему давлению (МДРД) (в МПа) плюс 0,1 МПа, помноженному на 3,25; либо б) максимально допустимому рабочему давлению (МДРД) (в МПа) плюс 0,1 МПа, помноженному на 1,5 и на R_m/R_p , где R_m — минимальный предел прочности материала на растяжение, а R_p (минимальная прочность на разрыв) составляет 1,0 для аустенитных сталей и 0,2 для прочих сталей. |
| 7.2.1.3 | Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы В случае использования металлических резервуаров и/или металлических вакуумных кожухов изготовитель либо представляет данные расчетов с целью продемонстрировать, что конструкция резервуара отвечает требованиям действующего регионального законодательства или принятых стандартов (например, в Соединенных Штатах это норматив Американского общества инженеров-механиков (ASME) “Кодекс по эксплуатации нагревательных установок и емкостей высокого давления”, в Европе — стандарты EN 1251-1 и EN 1251-2, а во всех других странах — применимые правила в отношении конструкции металлических резервуаров, работающих под давлением), либо определяет и проводит надлежащие испытания (в том числе по |

пункту 7.4.1.3), подтверждающие тот же уровень безопасности, что и в случае конструкции, подкрепленной соответствующими расчетами на базе принятых стандартов.

В случае неметаллических резервуаров и/или вакуумных кожухов изготовитель, в дополнение к испытаниям по пункту 7.4.1.3, должен предусмотреть надлежащие испытания для подтверждения аналогичного по сравнению с металлическими резервуарами уровня безопасности.

7.2.2 Проверка ожидаемой эффективности в дорожных условиях

7.2.2.1 Утечка паров

Испытание на утечку паров проводят на системе хранения сжиженного водорода, оснащенной всеми элементами оборудования, указанными в пункте G.1 b) преамбулы (рис. 36 в разделе G части I). Испытание проводят на системе, заполненной сжиженным водородом, с соблюдением процедуры по пункту 7.4.2.1; испытание имеет целью продемонстрировать, что система газификации обеспечивает ограничение по давлению во внутреннем корпусе резервуара для хранения на уровне ниже максимально допустимого рабочего давления.

7.2.2.2 Герметичность

После испытания на утечку паров по пункту 7.2.2.1 давление в системе поддерживают на уровне давления вскипания и измеряют суммарный расход в результате утечки с соблюдением процедуры по пункту 7.4.2.2. Предельно допустимый расход из системы хранения водорода составляет $R * 150$ Нмл/мин,

где: $R = (V_{width} + 1) * (V_{height} + 0,5) * (V_{length} + 1) / 30,4$ м³, а V_{width} , V_{height} и V_{length} — соответственно ширина, высота и длина транспортного средства в метрах.

7.2.2.3 Потеря вакуума

Испытание на потерю вакуума проводят на системе хранения сжиженного водорода, оснащенной всеми элементами оборудования, указанными в пункте G.1 b) (и на рис. 36 в части I). Испытание проводят на системе, заполненной сжиженным водородом, с соблюдением процедуры по пункту 7.4.2.3; испытание имеет целью продемонстрировать, что в случае потери вакуума как первичные, так и вторичные предохранительные устройства сброса давления обеспечивают ограничение по давлению до значений, указанных в пункте 7.4.2.3.

7.2.3 Проверка на окончательный выход системы из строя: испытание на огнестойкость

Функционирование устройств сброса давления и отсутствие разрыва при нижеследующих условиях, предполагающих окончательный выход системы из строя, должны быть продемонстрированы по крайней мере на одной системе. Специфические особенности процедур испытаний приведены в пункте 7.4.3.

Систему хранения водорода заполняют жидкостью до половины максимального уровня заполнения и подвергают воздействию пламени в соответствии с процедурой испытания по пункту 7.4.3. Предохранительное(ые) устройство(а) для сброса давления должно(ы) обеспечивать контролируемое стравливание газов из резервуара без его разрыва.

В случае стальных резервуаров испытание считается пройденным при выполнении требований в отношении указанных в пункте 7.4.3 пределов давления для предохранительных устройств сброса давления. В случае

резервуаров, изготовленных из других материалов, должен быть продемонстрирован эквивалентный уровень безопасности.

7.2.4 Проверка элементов оборудования

Повторного освидетельствования (пункт 7.2) всей системы хранения не требуется, если запорные устройства и предохранительные устройства сброса давления (элементы оборудования, показанные на рис. 36 в части I, за исключением резервуара для хранения), которыми оснащен резервуар, заменяют на эквивалентные элементы оборудования, выполняющие аналогичную функцию, снабженные аналогичной арматурой и имеющие сопоставимые размеры, а также отвечающие квалификационным требованиям в отношении эксплуатационной пригодности, подтвержденной теми же квалификационными испытаниями (пункты 7.2.4.1 и 7.2.4.2), что и исходные элементы оборудования.

7.2.4.1 Квалификационные требования к устройствам для сброса давления

Испытания на проверку соответствия конструкции установленным требованиям проводят на типичных для нормального производства готовых предохранительных устройствах для сброса давления. Устройства сброса давления должны отвечать требованиям, предъявляемым следующими квалификационными испытаниями на эффективность:

- a) испытание на избыточное давление (процедура испытания по пункту 7.4.4.1);
- b) испытание на внешнюю утечку (процедура испытания по пункту 7.4.4.2);
- c) испытание в рабочих условиях (процедура испытания по пункту 7.4.4.4);
- d) испытание на коррозионную стойкость (процедура испытания по пункту 7.4.4.4);
- e) испытание на термоциклирование (процедура испытания по пункту 7.4.4.8).

7.2.4.2 Квалификационные требования к запорным клапанам

Испытания на проверку соответствия конструкции установленным требованиям проводят на типичных для нормального производства готовых запорных клапанах (на рис. 36 в части I они именуется запорными устройствами). Эти клапаны должны отвечать требованиям, предъявляемым следующими квалификационными испытаниями на эффективность:

- a) испытание на избыточное давление (процедура испытания по пункту 7.4.4.1);
- b) испытание на внешнюю утечку (процедура испытания по пункту 7.4.4.2);
- c) испытание на износоустойчивость (процедура испытания по пункту 7.4.4.3);
- d) испытание на коррозионную стойкость (процедура испытания по пункту 7.4.4.5);
- e) испытание на теплостойкость (процедура испытания по пункту 7.4.4.6);
- f) испытание на стойкость к действию озона (процедура испытания по пункту 7.4.4.7);

- g) испытание на термоциклирование (процедура испытания по пункту 7.4.4.8);
- h) испытание гибкого топливопровода на циклическое изменение давления (процедура испытания по пункту 7.4.4.9).
- 7.2.5 Маркировка
- На каждом резервуаре прочно крепится табличка с указанием, по крайней мере, следующей информации: наименование изготовителя, серийный номер, дата изготовления, МДРД и вид топлива. Любая табличка, которая крепится на резервуаре в соответствии с положениями настоящего раздела, должна постоянно оставаться на своем месте. Договаривающиеся стороны могут установить дополнительные требования в отношении маркировки.
- 7.3 Целостность топливной системы СХСЖВ
- В настоящем разделе оговорены требования в отношении целостности системы подачи водородного топлива, в которую входят система хранения сжиженного водорода, трубопроводы, соединения и элементы оборудования, контактирующие с водородом. Эти требования дополняют требования, указанные в пункте 5.2; все они применяются к транспортным средствам с системами хранения сжиженного водорода, за исключением требований по пункту 5.2.1.1. На наклейке, помещаемой на заправочном блоке, в качестве типа топлива указывают сжиженный водород. Процедуры испытаний приведены в пункте 7.5.
- 7.3.1 Используемые в транспортном средстве легковоспламеняющиеся материалы должны быть защищены от конденсата, который может образовываться на элементах топливной системы.
- 7.3.2 Если не предусмотрена система сбора и испарения сжиженного воздуха, то изоляция элементов оборудования должна предотвращать сжижение воздуха, вступающего в контакт с наружными поверхностями. Материалы, из которых изготовлены прилегающие элементы оборудования, должны быть совместимы с насыщенной кислородом газовой средой.
- 7.4 Процедуры испытаний конструкции системы СХСЖВ на соответствие установленным требованиям
- 7.4.1 Испытания для проверки базовых параметров
- 7.4.1.1 Испытание на соответствие давлению
- Внутренний корпус резервуара и система трубопроводов, проходящих между внутренним корпусом резервуара и наружным кожухом, должны выдерживать испытание на соответствие внутреннему давлению, проводимое при комнатной температуре с соблюдением нижеследующих требований.
- Изготовитель определяет испытательное давление p_{test} , которое должно отвечать приводимым ниже требованиям:
- $p_{\text{test}} \geq 1,3$ (МДРД $\pm 0,1$ МПа), причем
- a) в случае металлических резервуаров либо значение p_{test} больше или равно максимальному давлению, действующему на стенки внутреннего корпуса резервуара в момент возникновения сбоя (определяемого по пункту 7.4.2.3), либо изготовитель подтверждает путем расчетов, что при максимальном давлении, действующем на стенки внутреннего корпуса резервуара в момент возникновения сбоя, разрыв не происходит;
- b) в случае неметаллических резервуаров значение p_{test} больше или равно максимальному давлению, действующему на стенки

внутреннего корпуса резервуара в момент возникновения сбоя (определяемого по пункту 7.4.2.3).

Испытание проводят с соблюдением следующей процедуры:

- a) испытанию подвергают внутренний корпус резервуара для хранения и соединительные трубопроводы, проходящие между внутренним корпусом резервуара и вакуумным кожухом, причем со снятым наружным кожухом;
- b) проводят либо гидравлическое испытание с использованием воды или водно-гликолевой смеси, либо — в качестве альтернативы — пневматическое с использованием газа. Резервуар равномерно накачивают до испытательного давления p_{test} и выдерживают при этом давлении минимум 10 минут;
- c) испытание проводят при температуре окружающей среды. В случае использования для накачки резервуара газа увеличение давления производится таким образом, чтобы температура резервуара оставалась на уровне или примерно на уровне температуры окружающей среды.

Испытание считается успешно пройденным, если в течение первых 10 минут после подачи проверочного давления на резервуаре под давлением не наблюдается заметной остаточной деформации, видимых признаков повреждения и видимой утечки.

7.4.1.2 Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров

Испытание проводят с соблюдением следующей процедуры:

- a) испытанию при температуре окружающей среды подвергают внутренний корпус резервуара;
- b) проводят гидравлическое испытание с использованием воды или водно-гликолевой смеси;
- c) давление увеличивают равномерно со скоростью, не превышающей 0,5 МПа/мин, до разрыва резервуара или образования утечки;
- d) по достижении МДРД резервуар выдерживают в течение по крайней мере 10 минут при постоянном давлении; в этот период может проводиться проверка резервуара на деформацию;
- e) давление регистрируют или записывают на протяжении всего испытания.

В случае резервуаров с внутренним корпусом из стали испытание считается успешно пройденным, если обеспечивается соблюдение по крайней мере одного из двух критериев, указанных в пункте 7.2.1.2. В случае же резервуаров с внутренним корпусом из алюминиевого сплава или другого материала определяют критерий успешного прохождения испытания, гарантирующий по меньшей мере уровень безопасности, аналогичный по сравнению с резервуарами с внутренним корпусом из стали.

7.4.1.3 Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы

Резервуары и/или вакуумные кожухи подвергают циклическому изменению давления в течение числа циклов, по крайней мере в три раза превышающего число возможных полных циклов изменения давления (от наименьшего до наибольшего рабочего давления), проводимых при проверке ожидаемой эффективности в дорожных условиях. Число циклов изменения давления определяется изготовителем с учетом диапазона рабочего давления, емкости системы хранения и

соответственно максимального числа заправок топливом и максимального числа циклов изменения давления в экстремальных условиях эксплуатации и хранения. Испытание на циклическое изменение давления проводят при температуре жидкого азота с приращением давления от атмосферного до МДРД, например путем заполнения резервуара до определенного уровня жидким азотом и попеременного увеличения и сброса давления в нем с использованием (предварительно охлажденного) газообразного азота или гелия.

7.4.2 Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях

7.4.2.1 Испытание на утечку паров

Испытание проводят с соблюдением следующей процедуры:

- a) для целей предварительного кондиционирования резервуар заполняют сжиженным водородным топливом до указанного максимального уровня заполнения. Затем водород постепенно стравливают до достижения половины уровня заполнения, а систему выдерживают для ее полного охлаждения в течение по крайней мере 24 часов и максимум 48 часов;
- b) резервуар заполняют до указанного максимального уровня заполнения;
- c) резервуар накачивают до достижения давления вскипания;
- d) после начала газификации испытание продолжается в течение еще по крайней мере 48 часов и не прекращается до момента, пока давление не стабилизируется. Стабилизация давления происходит тогда, когда его среднее значение не увеличивается за 2-часовой период времени.

На протяжении всего испытания регистрируют или записывают давление, действующее на стенки внутреннего корпуса резервуара. Испытание считается успешно пройденным при выполнении следующих требований:

- a) давление стабилизируется и на протяжении всего испытания остается ниже МДРД;
- b) на протяжении всего испытания устройства для сброса давления находятся в закрытом положении.

7.4.2.2 Испытание на герметичность

Испытание проводят в соответствии с процедурой, описанной в пункте 7.4.4.2.

7.4.2.3 Испытание на потерю вакуума

Первую часть испытания проводят с соблюдением следующей процедуры:

- a) испытание на потерю вакуума проводят на полностью охлажденном резервуаре (согласно процедуре по пункту 7.4.2.1);
- b) резервуар заполняют жидким водородом до указанного максимального уровня заполнения;
- c) в вакуумный кожух равномерно подают воздух до достижения атмосферного давления;
- d) испытание прекращают, когда первое предохранительное устройство сброса давления больше не срабатывает.

На протяжении всего испытания регистрируют или записывают давление, действующее на стенки внутреннего корпуса резервуара или

вакуумного кожуха. Регистрируют или записывают давление открытия первого предохранительного устройства. Первая часть испытания считается пройденной при выполнении следующих требований:

- a) первое предохранительное устройство сброса давления срабатывает при \leq МДРД и обеспечивает ограничение по давлению на уровне не выше 110 % МДРД;
- b) первое предохранительное устройство сброса давления не открывается при давлении, превышающем МДРД;
- c) вторичное предохранительное устройство сброса давления на протяжении всего испытания находится в закрытом положении.

После завершения первой части испытание повторяют для восстановления в резервуаре разреженности и его охлаждения, как это указано выше:

- a) разрежение восстанавливают до значения, указанного изготовителем. Вакуумметрическое давление поддерживают в течение по крайней мере 24 часов. Вакуумный насос может отсоединяться непосредственно перед началом ослабления вакуума;
- b) вторую часть испытания на потерю вакуума проводят на полностью охлажденном резервуаре (согласно процедуре по пункту 7.4.2.1);
- c) резервуар заполняют до указанного максимального уровня заполнения;
- d) топливопровод на выходе первого предохранительного устройства сброса давления перекрывают и в вакуумный кожух равномерно подают воздух до достижения атмосферного давления;
- e) испытание прекращают, когда второе предохранительное устройство сброса давления больше не срабатывает.

На протяжении всего испытания регистрируют или записывают давление, действующее на стенки внутреннего корпуса резервуара или вакуумного кожуха. В случае стальных резервуаров вторая часть испытания считается пройденной, если вторичное предохранительное устройство сброса давления не открывается при давлении ниже 110 % давления срабатывания первого устройства сброса давления и обеспечивает ограничение по давлению внутри резервуара на уровне не выше 136 % МДРД, если используется предохранительный клапан, либо 150 % МДРД, если в качестве вторичного предохранительного устройства сброса давления используется разрывная мембрана. В случае резервуаров, изготовленных из других материалов, должен быть продемонстрирован эквивалентный уровень безопасности.

7.4.3 Проверочное испытание на окончательный выход системы из строя при возгорании

Подвергаемая испытанию система хранения сжиженного водорода по своей конструкции и способу изготовления должна соответствовать типу, подлежащему официальному утверждению. Она должна представлять собой готовое комплектное изделие со всеми элементами оборудования.

Первую часть испытания проводят с соблюдением следующей процедуры:

- a) испытание на огнестойкость проводят на полностью охлажденном резервуаре (согласно процедуре по пункту 7.4.2.1);

- b) резервуар, заполненный сжиженным водородом в объеме, равном по меньшей мере половине объема внутреннего корпуса резервуара по воде, выдерживают в течение 24 часов;
- c) резервуар заполняют сжиженным водородом таким образом, чтобы его количество, определенное при помощи системы измерения массы, соответствовало половине максимально допустимого количества, на которое рассчитан внутренний корпус резервуара;
- d) источник огня располагают на расстоянии 0,1 м под резервуаром. Пламя должно охватывать резервуар и выходить за его габаритную длину и ширину на 0,1 м. Температура пламени составляет не менее 590 °С. Огонь продолжает гореть на всем протяжении испытания;
- e) в начале испытания давление в резервуаре составляет в пределах от 0 МПа до 0,01 МПа при температуре во внутреннем корпусе резервуара, соответствующей точке кипения водорода;
- f) испытание продолжают до тех пор, пока давление в системе хранения не снизится до значения, которое меньше или равно давлению в начале испытания, либо — в качестве альтернативы — если первое УСД относится к устройству повторного включения, испытание продолжают до тех пор, пока предохранительное устройство не сработает второй раз;
- g) условия проведения испытания и максимальное давление, зарегистрированное в ходе испытания внутри резервуара, указывают в свидетельстве о проверке, которое подписывается изготовителем и представителем технической службы.

Испытание считается пройденным при выполнении следующих требований:

- a) вторичное предохранительное устройство сброса давления не открывается при давлении ниже 110 % давления срабатывания первичного устройства сброса давления;
- b) резервуар не дает разрыва, и давление во внутреннем корпусе резервуара не превышает соответствующее допустимое пороговое значение, при котором возникает сбой.

Допустимое пороговое значение для стальных резервуаров:

- a) если в качестве вторичного устройства сброса давления используется предохранительный клапан, то давление в резервуаре не должно превышать 136 % МДРД для внутреннего корпуса резервуара;
- b) если в качестве вторичного устройства сброса давления на выходе из вакуумной зоны используется разрывная мембрана, то ограничение по давлению внутри резервуара составляет 150 % МДРД для внутреннего корпуса резервуара;
- c) если в качестве вторичного устройства сброса давления внутри вакуумной зоны используется разрывная мембрана, то ограничение по давлению внутри резервуара составляет 150 % максимально допустимого рабочего давления для внутреннего корпуса резервуара плюс 0,1 МПа (МДРД \pm 0,1 МПа).

В случае резервуаров, изготовленных из других материалов, должен быть продемонстрирован эквивалентный уровень безопасности.

7.4.4 Испытания для проверки элементов оборудования

Испытания проводят с использованием газообразного водорода, качество которого должно соответствовать стандарту ISO 14687:2019/SAE J2719_202003. Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды $20 (\pm 5) ^\circ\text{C}$. Предусматриваются нижеследующие квалификационные испытания УСДТ на эффективность.

7.4.4.1 Испытание под давлением

Элемент оборудования, по которому проходит водород, должен выдерживать, не давая какой-либо видимой утечки и не подвергаясь какой-либо заметной деформации, испытательное давление, составляющее 150 % МДРД, с заглушенными выпускными отверстиями детали высокого давления. Затем давление постепенно увеличивают со 150 % до 300 % МДРД. На элементе оборудования не должно наблюдаться каких-либо видимых признаков разрыва или трещин.

Система подачи давления должна быть оборудована контролируемым запорным клапаном и манометром, рассчитанным на измерение давления, превышающего не менее чем на 150 % и не более чем на 200 % испытательное давление; обеспечиваемая манометром погрешность измерения должна составлять 1 %.

Применительно к элементам оборудования, в случае которых требуется проведение испытания на утечку, это испытание проводят до испытания под давлением.

7.4.4.2 Испытание на внешнюю утечку

При испытании в соответствии с процедурой, описанной в пункте 7.4.4.3.3, при любом давлении газа от 0 до МДРД элементы оборудования не должны давать утечки через герметические уплотнения штока или корпуса либо другие разъемы и не должны иметь признаков пористости литья.

Испытание проводят на одном и том же оборудовании при следующих условиях:

- a) при температуре окружающей среды;
- b) при минимальной рабочей температуре или температуре жидкого азота после выдерживания в течение достаточно продолжительного времени при такой температуре в целях обеспечения термостатирования;
- c) при максимальной рабочей температуре после выдерживания в течение достаточно продолжительного времени при такой температуре в целях обеспечения термостатирования.

В ходе данного испытания проверяемое оборудование подсоединяют к источнику, создающему давление газа. К трубопроводу, подающему давление, подключают контролируемый запорный клапан и манометр, рассчитанный на измерение давления, превышающего не менее чем на 150 % и не более чем на 200 % испытательное давление; обеспечиваемая манометром погрешность измерения должна составлять 1 % от полного диапазона. Манометр подключают на участке между контролируемым запорным клапаном и испытываемым образцом.

На протяжении всего испытания проводят проверку образца на предмет утечки с использованием поверхностно-активного вещества, при этом либо не должно образовываться пузырей, либо измеренная скорость утечки должна составлять менее 216 Нмл/ч.

- 7.4.4.3 Испытание на износоустойчивость
- 7.4.4.3.1 Элемент оборудования должен выдерживать соответствующие испытания на утечку, предписываемые в пунктах 7.4.4.2 и 7.4.4.9, после обработки 20 000 циклов открытия и закрытия.
- 7.4.4.3.2 Соответствующие испытания на внешнюю утечку и на утечку через седло клапана, описываемые в пунктах 7.4.4.2 и 7.4.4.9, проводят сразу же по завершении испытания на износоустойчивость.
- 7.4.4.3.3 Запорный клапан надежно подсоединяют к источнику сжатого сухого воздуха или азота и подвергают 20 000 рабочим циклам. Цикл состоит из одного открытия и одного закрытия элемента оборудования в течение периода времени продолжительностью не менее 10 ± 2 секунды.
- 7.4.4.3.4 96 % от общего числа указанных рабочих циклов проводят при температуре окружающей среды и МДРД элемента оборудования. Во время нерабочей части цикла предусматривают возможность снижения давления на выходе из испытательной арматуры до 50 % от МДРД элемента оборудования.
- 7.4.4.3.5 2 % от общего числа рабочих циклов элемента оборудования проводят при максимальной температуре материала (от -40 °C до $+85$ °C) после выдерживания в течение достаточно продолжительного времени при такой температуре в целях обеспечения термостатирования и при МДРД. По завершении циклов воздействия высокой температуры элемент оборудования должен отвечать требованиям пунктов 7.4.4.2 и 7.4.4.9 при соответствующей максимальной температуре материала (от -40 °C до $+85$ °C).
- 7.4.4.3.6 2 % от общего числа рабочих циклов элемента оборудования проводят при минимальной температуре материала (от -40 °C до $+85$ °C), но не менее чем температура жидкого азота, после выдерживания в течение достаточно продолжительного времени при такой температуре в целях обеспечения термостатирования и при МДРД элемента оборудования. По завершении циклов воздействия низкой температуры элемент оборудования должен отвечать требованиям пунктов 7.4.4.2 и 7.4.4.9 при соответствующей минимальной температуре материала (от -40 °C до $+85$ °C).
- 7.4.4.4 Испытание в рабочих условиях
- Испытание в рабочих условиях проводят в соответствии с нормативом EN 13648-1 или EN 13648-2. Применяются конкретные требования стандарта.
- 7.4.4.5 Испытание на коррозионную стойкость
- Металлические элементы оборудования, содержащие водород, должны выдерживать испытания на утечку, указанные в пунктах 7.4.4.2 и 7.4.4.9, после их выдерживания в течение 144 часов в солевом тумане в соответствии со стандартом ISO 9227, причем все соединительные патрубки должны быть перекрыты.
- Медные или латунные элементы оборудования, содержащие водород, должны выдерживать испытания на утечку, указанные в пунктах 7.4.4.2 и 7.4.4.9, после их погружения на 24 часа в аммиак в соответствии со стандартом ISO 6957, причем все соединительные патрубки должны быть перекрыты.
- 7.4.4.6 Испытание на теплостойкость
- Испытание проводят в соответствии со стандартом ISO 188. Испытательный образец подвергают воздействию воздуха при температуре, равной максимальной рабочей температуре, в течение 168 часов. Изменение прочности на растяжение не должно

превышать ± 25 %. Изменение удлинения в момент разрыва не должно превышать следующих значений:

максимальное увеличение 10 %,

максимальное уменьшение 30 %.

7.4.4.7 Испытание на стойкость к действию озона

Испытание проводят в соответствии со стандартом ISO 1431-1. Испытательный образец, растягиваемый до его удлинения на 20 %, подвергают при $+40$ °C воздействию воздуха с концентрацией озона 50 частей на 100 млн в течение 120 часов.

Растрескивания испытуемого образца не допускается.

7.4.4.8 Испытание на термоциклирование

Неметаллическая деталь, содержащая водород, должна выдерживать испытания на утечку, указанные в пунктах 7.4.4.2 и 7.4.4.9, после того как она была подвергнута в течение 96 часов циклическому воздействию температуры, варьирующейся в диапазоне от минимальной до максимальной рабочей температуры, с продолжительностью каждого цикла 120 минут, при МДРД.

7.4.4.9 Испытание гибкого топливопровода на циклическое изменение давления

Любой гибкий топливопровод должен отвечать требованиям, предъявляемым в отношении предусмотренного испытания на внешнюю утечку, указанного в пункте 7.4.4.2, после того как он был подвергнут 6000 циклам изменения давления.

Менее чем за 5 секунд давление увеличивают от атмосферного до МДРД резервуара и по истечении по крайней мере 5 секунд снижают менее чем за 5 секунд до атмосферного.

Соответствующее испытание на внешнюю утечку, указанное в пункте 7.4.4.2, проводят сразу же после испытания на износоустойчивость.

7.5 Процедуры испытаний топливной системы СХСЖВ на целостность

7.5.1 Испытание системы хранения сжиженного водорода на герметичность после столкновения

Перед началом испытания транспортного средства на столкновение проводят соответствующую подготовку системы хранения сжиженного водорода (СХСЖВ):

- a) если транспортное средство в стандартной комплектации еще не оснащено нижеперечисленными элементами оборудования, то для целей проведения испытаний по пункту 6.1.1 перед началом испытания на него устанавливают:
 - i) датчик давления СХСЖВ. Датчик давления должен иметь полный диапазон измерений не менее 150 % МДРД, погрешность не более 1 % по полной шкале и обеспечивать считывание показаний на уровне минимум 10 КПа,
 - ii) датчик температуры СХСЖВ. Датчик температуры должен обеспечивать возможность измерения сверхнизких температур, ожидаемых перед столкновением. Датчик размещают на выходе как можно ближе к резервуару,
 - iii) соответствующий заправочный и сливной каналы. Должна быть обеспечена возможность наполнения и опорожнения СХСЖВ перед началом и после краш-теста с

использованием как сжиженной, так и газообразной субстанции;

- b) СХСжВ продувают газообразным азотом в количестве, соответствующем по меньшей мере 5-кратной емкости резервуара;
- c) СХСжВ заполняют азотом до уровня, соответствующего максимальному уровню заполнения водородом по весу;
- d) после заполнения системы отводной канал для газа (азота) перекрывают, и резервуар выдерживают для целей стабилизации;
- e) подтверждают герметичность СХСжВ.

Как только датчики давления и температуры СХСжВ указывают на охлаждение и стабилизацию системы, транспортное средство подвергают краш-тесту в соответствии с национальными или региональными правилами. В течение по крайней мере 1 часа после столкновения система не должна давать какой-либо видимой утечки охлажденного газообразного или жидкого азота. Кроме того, проверяют исправное функционирование регуляторов давления или предохранительных УСД, с тем чтобы удостовериться в том, что после столкновения система СХСжВ защищена от разрыва. Если в результате удара не произошло разгерметизации СХСжВ, в систему через заправочный/сливной канал может быть дополнительно подан газообразный азот, который закачивают до тех пор, пока не сработают регуляторы давления и/или УСД. В случае регуляторов давления или УСД повторного включения проверяют их срабатывание и повторное включение в течение по крайней мере 2 циклов изменения давления. В ходе этих послеварийных испытаний газ, стравливаемый через регуляторы давления или УСД, не должен поступать в пассажирский салон, багажное или грузовое отделение.

После подтверждения дальнейшей функциональной пригодности регулятора давления и/или предохранительных клапанов сброса давления систему СХСжВ подвергают испытанию на герметичность с использованием процедуры либо по пункту 6.1.1.1, либо по пункту 6.1.1.2.

Для обеспечения соблюдения предписаний в отношении процедуры испытания по пункту 7.5.1 может применяться либо процедура испытания по пункту 7.5.1.1, либо альтернативная процедура испытания по пункту 7.5.1.2 (включающего подпункты 7.5.1.2.1 и 7.5.1.2.2).

7.5.1.1 Испытание систем хранения сжиженного водорода (СХСжВ) на герметичность после столкновения

Указанное ниже испытание заменяет как испытание на герметичность по пункту 7.5.1.2.1, так и измерения концентрации газа согласно пункту 7.5.1.2.2. После подтверждения дальнейшей функциональной пригодности регулятора давления и/или предохранительных клапанов сброса давления может проводиться проверка на подтверждение герметичности СХСжВ посредством выявления при помощи газоанализатора или откалиброванного по гелию индикатора утечки, используемого в режиме всасывания, любых возможных участков просачивания. Это испытание может проводиться как альтернативное при соблюдении следующих предварительных условий:

- a) ни один из возможных участков просачивания не находится ниже уровня заполнения резервуара для хранения жидким азотом;
- b) при накачивании системы СХСжВ давление на все возможные участки просачивания подают с использованием гелия;

- c) для получения доступа ко всем потенциальным участкам просачивания соответствующие кожухи и/или панели и части корпуса могут сниматься.

Перед испытанием изготовитель представляет перечень всех возможных участков просачивания в СХСЖВ. К числу возможных участков просачивания относятся:

- a) любые соединительные разъемы между трубопроводами и между трубопроводами и резервуаром;
- b) любые сварные соединения трубопроводов и элементов оборудования на выходе из резервуара;
- c) клапаны;
- d) гибкие топливопроводы;
- e) датчики.

Перед испытанием на герметичность избыточное давление в СХСЖВ сбрасывают до атмосферного, после чего систему СХСЖВ заполняют под давлением гелием до достижения по крайней мере рабочего давления, но значительно ниже значения обычной настройки регулятора давления (с тем чтобы регуляторы давления не сработали в процессе испытания). Испытание считается пройденным, если суммарная (т. е. по сумме всех выявленных мест утечки) скорость утечки составляет менее 216 Нмл/ч.

7.5.1.2 Альтернативные послеаварийные испытания систем хранения сжиженного водорода

Оба испытания (по пунктам 7.5.1.2.1 и 7.5.1.2.2) проводят с соблюдением процедуры по пункту 7.5.1.2.

7.5.1.2.1 Альтернативное испытание на герметичность после столкновения

После подтверждения дальнейшей функциональной пригодности регулятора давления и/или предохранительных клапанов сброса давления может проводиться нижеследующее испытание для измерения уровня утечки после столкновения. Если уровень концентрации водорода не был непосредственно измерен после столкновения транспортного средства, то параллельно в течение 60-минутного интервала проводят соответствующее испытание по пункту 6.1.1.1.

Давление в резервуаре стравливают до атмосферного, содержащуюся в нем сжиженную субстанцию удаляют и резервуар нагревают до температуры окружающей среды. Нагревание может осуществляться, например, за счет продувки резервуара надлежащее число раз потоком теплого азота или путем повышения вакуумметрического давления.

Если регулятор давления установлен на давление, составляющее менее 90 % МДРД, то его отключают, с тем чтобы он не сработал в ходе испытания на герметичность и чтобы через него не произошло стравливания газа.

Затем резервуар продувают гелием одним из следующих способов:

- a) прокачкой газа в количестве, соответствующем по меньшей мере 5-кратной емкости резервуара;

либо

- b) путем подачи и сброса давления в резервуаре СХСЖВ по крайней мере 5 раз.

После этого СХСЖВ заполняют гелием до достижения 80 % МДРД резервуара или до давления в пределах 10 % значения регулировки первичного клапана сброса давления в зависимости от того, какое

значение соответствует более низкому давлению, и выдерживают в течение 60 минут. Потеря давления, измеренная за 60-минутный период испытания, не должна превышать следующий заданный предельный уровень с учетом емкости СХСЖВ по жидкости:

- a) допустимая потеря для систем емкостью 100 л или меньше — 2 атм.;
- b) допустимая потеря для систем емкостью более 100 л, но не более 200 л — 1 атм.; и
- c) допустимая потеря для систем емкостью свыше 200 л — 0,5 атм.

7.5.1.2.2 Послеаварийное испытание в закрытых кожухом пространствах

Результаты измерений, зарегистрированные в ходе краш-теста, служат для оценки потенциального уровня утечки сжиженного водорода (процедура испытания по пункту 7.5.1.2.1), если для целей испытания в СХСЖВ закачан водород, или гелия (процедура испытания по пункту 6.1.2), если проводят испытание на утечку гелия.

Для целей краш-теста датчики выставляют на измерение увеличения концентрации водорода или гелия (в зависимости от того, какой газ закачивается в систему хранения сжиженного водорода (СХСЖВ)). Датчики могут использоваться либо для определения содержания водорода/гелия в воздухе внутри салона или отделений, либо для измерения уменьшения содержания кислорода (обусловленного вытеснением воздуха при утечке водорода/гелия).

Датчики калибруют по соответствующим эталонам в порядке обеспечения точности 5 % при заданных предельных уровнях объемной концентрации в воздухе, составляющих 4 % для водорода (в случае испытания с использованием сжиженного водорода) или 0,8 % для гелия (в случае испытания при комнатной температуре с использованием гелия), а полный диапазон измерений должен как минимум на 25 % превышать заданные критерии. Датчик должен обеспечивать 90-процентное срабатывание на изменение концентрации, соответствующее отклонению стрелки на полную шкалу, в течение 10 секунд.

Порядок размещения датчиков на транспортных средствах с СХСЖВ должен отвечать тем же требованиям, что и их установка на транспортных средствах с системами хранения компримированного водорода по пункту 6.1.2. Показания датчиков считываются по крайней мере каждые 5 секунд, и сбор данных продолжается в течение 60 минут после полной остановки транспортного средства, если измеряют увеличение концентрации водорода после удара, либо после начала испытания на утечку гелия, если измеряют увеличение концентрации гелия. Для обеспечения “сглаживания” побочных помех и устранения эффекта паразитных частных значений применительно к измерениям допускается запаздывание скользящего среднего до 5 секунд. Скользящее среднее показаний каждого датчика в любое время на протяжении 60 минут после краш-теста должно быть ниже заданных предельных уровней объемной концентрации в воздухе, составляющих 4 % для водорода (в случае испытания с использованием сжиженного водорода) или 0,8 % для гелия (в случае испытания при комнатной температуре с использованием гелия)».