19 July 2013

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)
Совершено в Женеве 25 июня 1998 года

Добавление 13: Глобальные технические правила № 13

Глобальные технические правила, касающиеся транспортных средств, работающих на водороде и топливных элементах

Введены в Глобальный регистр 27 июня 2013 года

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

GE.13-23072 (EXT)

1323072

Просьба отправить на вторичную переработку

Глобальные технические правила, касающиеся транспортных средств, работающих на водороде и топливных элементах

Содержание

Стр.

I. Изложение технических соображений и обоснования 6

A. Введение 6

B. План действий в связи с ГТП 7

C. Описание типичных транспортных средств, работающих на водородных топливных элементах (ТСВТЭ) 9

1. Описание транспортного средства 9

2. Система заправки водородом 11

3. Система хранения водорода 11

4. Система подачи водородного топлива 13

5. Система топливных элементов 14

6. Система электрической тяги и распределения энергии 15

D. Обоснование области применения, определений и применимости 16

1. Обоснование пункта 2 (Область применения) 16

2. Обоснование пунктов 3.9 и 3.48 (Определения терминов "срок службы" и "дата снятия с эксплуатации") 16

3. Обоснование пункта 4 (Применимость требований) 17

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 42

3. Требования к электробезопасности и потребности с точки зрения безопасности 47

F. Обоснование процедур испытаний системы хранения и топливной системы 50

1. Обоснование испытаний системы хранения и топливной системы на целостность 50

2. Обоснование пункта 6.2 (Процедуры испытаний систем хранения компримированного водорода) 52

G. Факультативные требования: транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода: обоснование 54

1. Справочная информация по системам хранения сжиженного водорода 54

2. Обоснование приведенных в пункте 7.2 квалификационных требований к конструкции систем хранения сжиженного водорода 56

3. Обоснование квалификационных требований к конструкции топливной системы транспортного средства (СжH$_2$) 60

4. Обоснование процедур испытания СХСжВ 60

5. Обоснование пункта 7.5 (Процедура испытания для измерения послеаварийной концентрации для транспортных средств с системами хранения сжиженного водорода (СХСжВ)) 60

H. Национальные предписания в отношении совместимости материалов (включая водородное охрупчивание) и соответствие производства 65

1. Совместимость материалов и водородное охрупчивание 65

2. Национальные требования, дополняющие требования ГТП 65

I. Темы для рассмотрения на следующем этапе разработки ГТП для транспортных средств, работающих на водороде 65

J. Действующие правила, директивы и международные стандарты 67

1. Целостность топливной системы транспортного средства 67

2. Система хранения 68

3. Электрическая безопасность 69

K. Выгоды и затраты 70

II. Текст Правил 72

1. Цель 72

2. Область применения 72

3. Определения 72

4. Применимость требований 77

5. Требования к эффективности 77

5.1 Система хранения компримированного водорода 77

5.2 Топливная система транспортного средства 86

5.3 Электрическая безопасность 89

6. Условия проведения и процедуры испытаний 96

6.1 Испытания на проверку соответствия требованиям в отношении целостности топливной системы 96

6.2 Процедуры испытаний системы хранения компримированного водорода 102

6.3 Процедуры испытаний для оценки электробезопасности 125

7. Транспортные средства с системами хранения сжиженного водорода (СХСжВ) 137

7.1 Факультативные требования к СХСжВ 137

7.2 Квалификационные требования к конструкции системы СХСжВ 138

7.3 Целостность топливной системы СХСжВ 142

7.4 Процедуры испытаний конструкции системы СХСжВ на соответствие установленным требованиям 142

7.5 Процедуры испытаний топливной системы СХСжВ на целостность 151

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 компримированного 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 ООН с его результатами, а именно с двумя предложениями − по компримированному газообразному водороду и сжиженному 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 компримированном 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 самой своей природе все виды топлива изначально сопряжены с определенной степенью опасности, проистекающей из заключенной в них энергетической составляющей. Безопасность же водорода, особенно в компримированном 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 (ГТП) Организации Объединенных Наций 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 ООН. Цели этих глобальных технических правил (ГТП) заключаются в разработке и введении ГТП 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.

B. План действий в связи с ГТП

5. 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.

6. В июне 2005 года WP.29/AC.3 согласился с предложением Германии, Соединенных Штатов Америки и Японии относительно оптимального способа управления процессом разработки ГТП, касающихся водородных транспортных средств (ECE/TRANS/WP.29/AC.3/17). В соответствии с достигнутой договоренностью AC.3 одобрил план действий по разработке ГТП, представленный соспонсорами. В этой связи были сформированы две подгруппы для рассмотрения аспектов этих ГТП, 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. На первоначальном этапе разработки ГТП ими были охвачены топливные элементы (ТЭ) и двигатели внутреннего сгорания (ДВС), двигатели, работающие на компримированном газообразном водороде ($КГН_2$) и жидком водороде ($ЖН_2$). На одной из последующих сессий WP.29 Исполнительным комитетом AC.3 был представлен и одобрен план действий по разработке ГТП (ECE/TRANS/WP.29/2007/41).

7. Для разработки ГТП с учетом эволюции водородной технологии трехсторонняя группа соспонсоров предлагает сформулировать ГТП в два этапа:

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

Ввести к 2010 году ГТП для водородных транспортных средств на основе сочетания требований к уровню компонентов и подсистем и к транспортному средству в целом. В ГТП 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 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 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 полного испытания транспортного средства на столкновение с точки зрения целостности топливной системы.

8. ГТП будут охватывать следующие ключевые аспекты:

a) Требования к уровню 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 (во время использования);

iii) требования к эффективности и другие требования к компоновке подсистем в транспортном средстве.

b) Требования к транспортному средству в целом:

Изучение рисков, возникающих в результате использования различных типов топливных систем в различных режимах столкновения. Обзор и оценка анализов и результатов испытаний на столкновение, проводимых для 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.

C. Описание типичных транспортных средств, работающих на водородных топливных элементах (ТСВТЭ)

1. Описание транспортного средства

9. В водородных транспортных средствах для обеспечения энергией могут использоваться либо двигатели внутреннего сгорания (ДВС), либо топливные элементы; однако водородные транспортные средства обычно приводятся в движение силовыми установками на базе топливных элементов. 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;

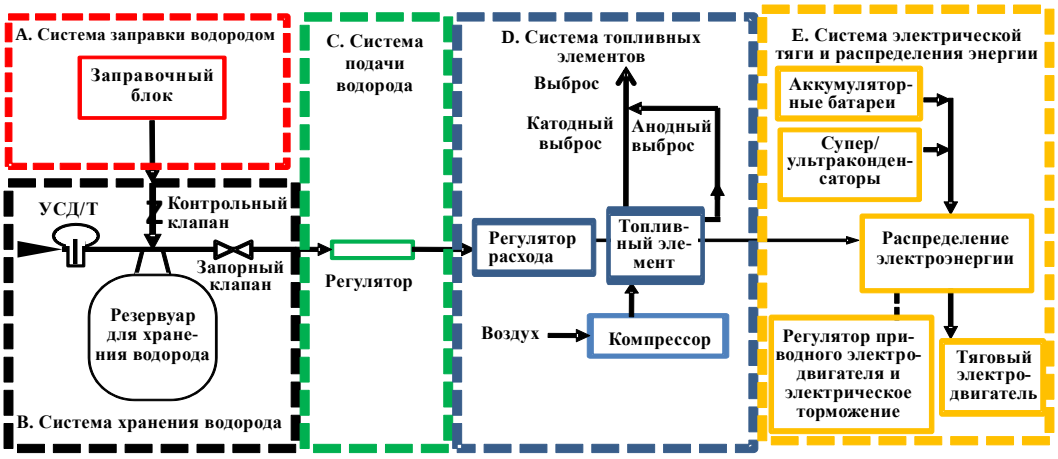
d) система топливных элементов;

e) система электрической тяги и распределения энергии.

10. 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 компримированном 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

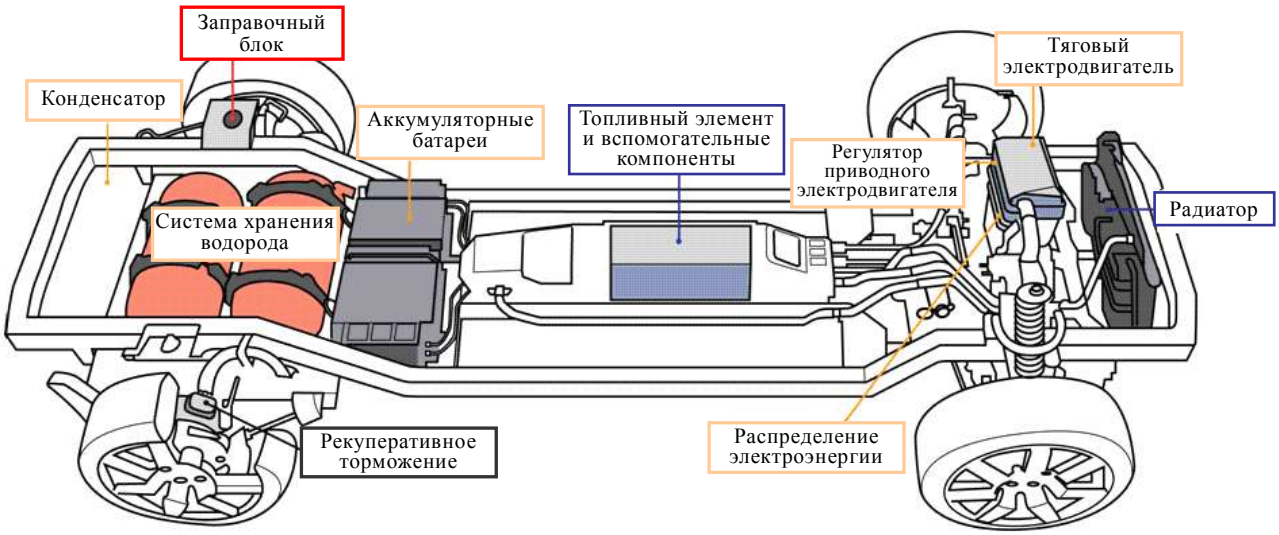
Примерная принципиальная схема главных систем ТСВТЭ



11. На рис. 2 показана стандартная компоновка основных элементов главных систем типичного транспортного средства, работающего на водородных топливных элементах (ТСВТЭ). Заправочный блок изображен в своем обычном месте расположения в задней четверти транспортного средства. Как и в случае бензобаков, резервуары, предназначенные для хранения водорода − будь то в компримированном газообразном или сжиженном состоянии, − как правило, устанавливаются в поперечной плоскости в задней части транспортного средства; однако допускается также возможность иной установки, например в продольной плоскости в середине транспортного средства. 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.

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

Рис. 2
Пример транспортного средства, работающего на водородных топливных элементах



2. Система заправки водородом

13. 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.

14. 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

15. 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, 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 компримированном газообразном состоянии. Водород может также храниться в сжиженном состоянии (в услови-

ях криогенного охлаждения). Описание каждого из этих типов систем хранения водорода приведено в нижеследующих разделах.

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

a) Система хранения компримированного водорода

17. Элементы типичной системы хранения компримированного водорода показаны на рис. 3. В систему входят резервуар и все другие элементы, которые образуют "первичный контур давления", предотвращающий утечку водорода из системы. В данном случае система хранения компримированного водорода состоит из следующих элементов:

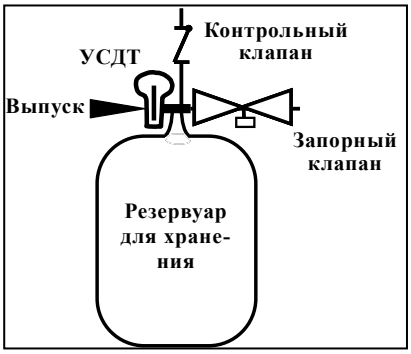
a) резервуар;

b) контрольный клапан;

c) запорный клапан;

d) предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла (УСДТ).

Рис. 3
Типичная система хранения компримированного водорода



18. Водородные резервуары предназначены для хранения компримированного газообразного 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 °C. В будущем, по мере процесса коммерциализации, вполне возможны иные значения давления (более высокие, более низкие или промежуточные между выбранными на сегодня).

19. 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, 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 термореактивного пропитанного смолой и армированного стекловолокном композитного материала, образующего "кокон" вокруг газонепроницаемого внутреннего слоя).

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

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

22. 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

23. 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, применяемых к транспортным средствам с системами хранения сжиженного водорода.

4. Система подачи водородного топлива

24. 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.

25. 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

26. 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 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 (CO_2) или других вредных выбросов, характерных для бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

27. 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 бóльшая 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.

28. 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.

29. 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

30. Электроэнергия, вырабатываемая системой топливных элементов, используется для питания тяговых электродвигателей, которые приводят в движение транспортное средство. Как показано на рис. 2, многие пассажирские 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 спортивно-хозяйственного назначения, работающие на топливных элементах, могут быть полноприводными с расположением электродвигателей на передней и задней осях либо с компактными электродвигателями на каждом колесе.

31. 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.

32. 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.

D. Обоснование области применения, определений и применимости

1. Обоснование пункта 2 (Область применения)

33. Настоящие ГТП 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.

34. Настоящие ГТП 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 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.

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

36. Настоящими ГТП 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.

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

37. Эти определения имеют отношение к квалификационной оценке системы хранения компримированного 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 компримированного водорода, имеющих срок службы 15 лет или меньше (пункт 5.1). Срок службы указывается изготовителем.

38. Дата снятия с эксплуатации − это календарная дата (месяц и год), указанная для выведения 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)

39. Оговоренные в пункте 5 требования к эффективности имеют отношение к квалификационной оценке конструкции для целей эксплуатации в дорожных условиях.

40. Ожидается, что все Договаривающиеся стороны признают транспортные средства, полностью отвечающие требованиям настоящих ГТП, 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.

41. Предполагается также, что любая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению установить иные требования к другим транспортным средствам в отношении их пригодности для дорожной эксплуатации на своей национальной территории. Например:

a) настоящие ГТП предписывают использование газообразного водорода при проведении испытания на огнестойкость системы хранения компримированного газа (пункт 6.2.5). Любая Договаривающаяся сторона может по своему усмотрению признать транспортные средства пригодными для дорожной эксплуатации при проведении испытания на огнестойкость с использованием в качестве испытательного газа либо водорода, либо воздуха. В таком случае транспортные средства, прошедшие испытания с использованием воздуха, могут считаться пригодными для дорожной эксплуатации на национальной территории данной Договаривающейся стороны;

b) транспортные средства, признанные пригодными для дорожной эксплуатации с соблюдением требований настоящих ГТП, включая проведение гидравлического испытания с прохождением 11 000 циклов изменения давления по пункту 5.1.2, будет 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 другие транспортные средства, в случае которых их системы хранения компримированного водорода подвергаются испытанию с использованием 5 500 или 7 500 циклов изменения давления (пункт 5.1.1.2).

E. Обоснование пункта 5 (Требования к эффективности)

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

42. Удержание водорода в системе хранения компримированного 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.

43. *Требования в отношении испытаний* на эффективность, предъявляемые ко всем системам хранения компримированного 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.

44. *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.

45. *Структура требований*: к числу квалификационных требований к конструкции по пункту 5.1 для целей эксплуатации в дорожных условиях относятся:

5.1.1 испытания для проверки базовых параметров;

5.1.2 проверочные испытания на ресурс прочности (последовательные испытания под пневматическим давлением);

5.1.3 проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные испытания под гидравлическим давлением);

5.1.4 проверочное испытание на окончательный выход системы из строя.

46. 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.

47. *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 ЕЭК ООН"). 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 опреде-

ленностью того, в каком 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".

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 обеспечивают достижение соответствующей намечаемой цели в плане безопасности. Заслуживают упоминания два примера.

a) Первый пример: некоторыми национальными правилами предписано, чтобы система хранения компримированного 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 КПГ, 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 четырех минут воздействия при 180% НРД и после 10 часов воздействия при

150% НРД (на основе данных о времени возникновения разрыва "при наихудших условиях" для композиционных жил), было принято требование в отношении остаточной (на момент выхода из строя) прочности (без разрыва) при воздействии в течение четырех 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, нагревшегося 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 ±10%. Использовавшееся 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 нового резервуара.

48. 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 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 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 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 по подпункту c) можно указать следующие требования ГТП: 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 (см. 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).

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

a) Обоснование пункта 5.1.1 − Испытания для проверки базовых параметров

50. 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.

51. 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 пункт 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

52. В пункте 5.1.1.1 вводится средний показатель давления разрыва для новых резервуаров (ВРО), на основе которого проверяется, находятся ли показатели исходного давления разрыва для систем, отобранных из квалификационной партии, в пределах ВРО ± 10%. ВРО 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 ВРО составляет не менее 225% НРД либо 350% НРД (для композитных материалов на основе стекловолокна); эти значения были предварительно выбраны без опоры на имеющиеся данные, но 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. 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 ±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).

53. 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

54. 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 определенного числа циклов изменения давления (число циклов). Конкретное число циклов в пределах 5 500−11 000 устанавливается каждой Договаривающейся стороной в индивидуальном порядке. Это означает, что число циклов изменения давления, в течение которых не должна происходить утечка, не может превышать 11 000, при этом Договаривающаяся сторона может выбрать меньшее число циклов, которое не должно быть меньше 5 500 циклов из расчета 15-летнего срока службы. 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 для новых резервуаров

55. Требование в отношении базового показателя циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров 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 (см. 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.

56. 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 5 500 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.

57. 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 (5 500−11 000), 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 5 500 и не более 11 000"

58. 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 1 200−1 800;

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 1 650−3 100;

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 пяти годам. В эксплуатации на протяжении полных пять лет находятся менее 10% транспортных средств. Среднегодовой пробег транспортных средств, эксплуатируемых в две смены семь дней в неделю, составляет 72 000 миль. Сведения о каких-либо транспортных средствах, активно эксплуатируемых на протяжении всех пяти 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 2 750−3 600;

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 2 900−6 000. С учетом этих экстремальных прогнозов эксплуатации минимальное число полных циклов изменения гидравлического давления при проведении квалификационных испытаний на системах хранения водорода устанавливается на уровне 5 500. 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)).

59. При определении числа циклов было признано, что некоторые системы хранения (например, системы с обмоткой из композиционных 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 5 500. При выборе циклов признавалось, что в случае указания 5 500 циклов некоторые Договаривающиеся стороны могут потребовать введение ограничений на использование, с тем чтобы фактическое число заправок не превышало числа циклов.

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

60. 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 частотность 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

61. Соответствующие допущения включают нижеследующее:

a) Случай наиболее длительной эксплуатации в экстремальных условиях соответствует самым неблагоприятным режимам полной заправки (125% НРД при температуре 85 °C, 80% НРД при температуре −40 °C) 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 защитных покрытий.

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 КПГ), 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.

e) Предельный показатель числа наполнений/опорожнений

Обоснование числа циклов свыше 5 500 и менее 11 000 приводится в пунктах 58 и 59 раздела E.1 a) ii) b преамбулы.

f) Экстремальные условия давления для циклов наполнения/опорожнения (пункт 5.1.2.4)

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 и/или правила для заправочных станций.)

ii) Данные с мест о частотности сбоев на заправочных станциях высокого давления, приведших к активации предохранительных устройств сброса давления, отсутствуют. Опыт эксплуатации транспортных средств на КПГ 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)

Анализ метеорологических сводок показывает, что в странах, расположенных к северу от 45-й параллели, температура воздуха мо-

жет падать до −40 °C и ниже; в пустынях же стран, расположенных в более низких широтах, температура может подниматься примерно до 50 °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 °C. Соответственно период устойчивого воздействия температур ниже −30 °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):

i) www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/results_e.html?Province=ONTpercent20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=4157&

ii) www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/results_e.html?Province=YT per cent20 per cent20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=1617&.

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 1 000 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 компримированного 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 излага-

ются 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 компримированным 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 КПГ. 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 1 000 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 четырех 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 1 000 часов под статическим давлением связано (согласно техническому докладу 2009-01-0012 Общества инженеров автомобильной промышленности и транспорта (SAE)) с предусмотренным для данного требования допуском ±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 резервуаров 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.

c) Обоснование пункта 5.1.3 – Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные пневматические испытания)

62. 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.

63. 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.

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: анализ метеорологических сводок показывает, что в странах, расположенных к северу от 45-й параллели, температура воздуха может падать до −40 °C и ниже; в пустынях же стран, расположенных в более низких широтах, температура может подниматься примерно до 50 °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 °C. Соответственно, период устойчивого воздействия температур ниже −30 °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):

a. www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/results_e.html?Province=ONTpercent20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=4157&;

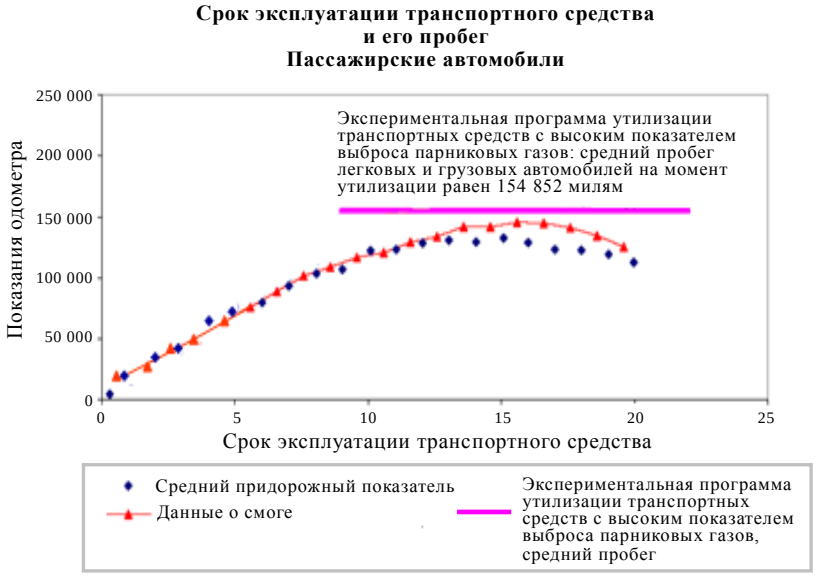
b. www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/results_e.html?Province=YTpercent20percent20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=1617&.

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.4
Срок эксплуатации транспортного средства и его 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 циклов = 250 000 миль/500 миль на цикл ~150 000 миль/300 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 выдержать 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, возникала утечка по периметру О-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, возникала 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 КПГ 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 КПГ 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 твердых 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, предъявляемым к транспортным средствам на природном газе (ТСПГ2), 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 сбоя 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 к ТСПГ2 Американской национальной ассоциации по стандартизации и Канадской ассоциации по стандартизации (ANSI/CSA), скор-

ректированным 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. В SAE J2601 предусмотрен следующий протокол наполнения – самое быстрое время наполнения порожнего резервуара составляет 3 минуты (что сопоставимо с типичной заправкой бензином; обеспечивается на действующих современных станциях, осуществляющих заправку водородом); температура топлива в случае быстрой заправки при 70 МПа составляет примерно −40 °C.

b. Ожидаемые условия максимального термоудара предусмотрены для системы, термостатированной при температуре окружающей среды примерно 50 °C, которую наполняют топливом, имеющим температуру −40 °C, и для системы, термостатированной при температуре −40 °C, наполнение которой производят в закрытом помещении при температуре приблизительно +20 °C.

c. Систему поочередно подвергают воздействию стрессовых факторов, возникающих при заправке и во время стоянки.

c) Стоянка, не сопровождающаяся утечкой, при полном заполнении (пункт 5.1.3.3)

i) Утечка и просачивание являются факторами, чреватыми 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) при наихудших гаражных условиях, характеризующихся ограниченностью пространства, очень высокой температурой (55 °C) окружающей среды и низкой кратностью воздухообмена (0,03 объемной части в час). Консервативный показатель в 25% НПВ хорошо подходит 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 Сети обмена передовым опытом ЕК (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) Результирующий предельно допустимый расход, измеренный при 55 °C и 115% НРД (полное наполнение при 55 °C) после того, как система хранения была подвергнута оговоренному числу циклов изменения пневматического давления, может быть пересчитан с учетом габаритов транспортного средства исходя из номинального показателя 150 мл/мин для гаража объемом 30,4 м^3. Коэффициент пересчета (R = (Vwidth+1)*(Vheight+0,05)*(Vlength+1)/30,4) применим к различным возможным комбинациям "гараж/транспортное средство", включая небольшие транспортные средства, которые могут стоять в гаражах меньшего размера. Такие требования в отношении скорости просачивания для транспортных средств согласуются с предложениями, разработанными по линии ЕС "HySafe" (СОПО) (см. ссылку выше). Показатели просачивания, измеренные для отдельных резервуаров системы хранения одного транспортного средства, в совокупности не должны превышать предельный показатель для всего транспортного средства.

iv) Вместе с тем для того чтобы облегчить проверку соблюдения, данное требование в отношении расхода было указано применительно к скорости просачивания из системы хранения, а не к скорости просачивания из транспортного средства (подпункт iii) выше). Такой способ проверки соблюдения согласуется с предложениями, разработанными по линии СОПО "HySafe" ЕС. В данном случае предельный показатель просачивания, измеренный при 55 °C и 115% НРД, составляет 46 мл/ч на литр емкости системы хранения по воде. Если общая вместимость системы хранения транспортного средства по воде составляет менее 330 л, а кубатура гаража меньше 50 м^3, то при соблюдении требования 46 мл/ч на литр емкости системы по воде получаем концентрацию водорода в установившемся состоянии не более 1%. (Верхний предел из расчета на один резервуар системы хранения 46 мл/ч (на литр емкости резервуара) x 330 л (вместимость системы)/60 мин/ч = 253 мл/мин на одну систему хранения; данный показатель сопоставим с показателем, полученным на основе альтернативного подхода: 150 мл/мин x 50/30,4 = 247 мл/мин (коэффициент пересчета R = 1,645), что дает концентрацию 1%). Данная техническая спецификация для скорости просачивания была принята исходя из того предположения, что, поскольку использование систем хранения емкостью ~330 л на транспортных средствах, охватываемых об-

ластью применения настоящих ГТП, не предусматривается, может быть учтено требование в отношении гаражей с кубатурой менее 50 $м^3$.

v) Максимальное давление полностью заполненного резервуара при 55 °C составляет 115% НРД (эквивалентно зарядке до 125% НРД при 85 °C и 100% НРД при температуре 15 °C).

vi) Испытание на локальную утечку проводят с целью удостовериться в том, что утечка во внешнюю среду не может поддерживать пламя, способное ослабить материалы и впоследствии привести к нарушению герметичности. Согласно техническому докладу 2008-01-0726 ("Предельные 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.

vii) Во время стоянки возможно насыщение водородом межслоевого пространства, намотки, материалов оболочки, стыков, О-образных колец и разъемов; воздействие давлением при наполнении осуществляют в условиях насыщения водородом и без таковых. Насыщение водородом характеризуется просачиванием вплоть до стабилизации.

viii) 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 четырех 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 частотности сбоев на заправочных станциях высокого давления, приведших к активации предохранитель-

ных 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 преследует цель 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

64. Проверка функционирования в условиях, имитирующих окончательный выход системы из строя, имеет целью не допустить разрыв такой силы, что дальнейшая изоляция водорода станет невозможной. Возгорание является единственным условием выхода из строя, принимаемым в расчет при установлении квалификационных требований к конструкции.

65. Тщательное обследование случаев отказа резервуаров КПГ 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 возгоранию по большей части были подвержены системы хранения, не оборудованные надлежащим образом сконструированными устройствами сброса давления (УСД); в остальных же случаях не сработали предохранительные УСД, поскольку тепловое воздействие на них оказалось недостаточным, 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.

66. 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. Ниже приводятся основные выводы.

a) В ходе примерно 40% рассмотренных лабораторных испытаний транспортных средств на огнестойкость возникали условия, которые можно охарактеризовать как локальное возгорание, поскольку данные свидетельствуют о том, что содержащий компримированный газ резервуар из композитных материалов мог получить местное повреждение еще до срабатывания обычных УСД, установленных на оконечных приливах (удаленных от зоны локального воздействия огня). (Примечание: температура 300 °C была выбрана в качестве температуры, при которой может возникнуть локальное возгорание, поскольку тепловой гравиметрический анализ (ТГА) указывает на начало процесса быстрой деградации 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) Средняя максимальная температура в период испытания на огнестойкость с использованием локального огня не превышала 570 °C, при этом пиковая температура в отдельных случаях достигала приблизительно 600−880 °C.

d) Увеличение пиковой температуры к концу периода локального воздействия огня зачастую свидетельствовало о переходе к охватывающему пламени.

67. С учетом вышеупомянутых выводов был принят температурный режим, изложенный в пункте 6.2.5. Выбор 600 °C в качестве минимальной температуры для периода локального воздействия огня обеспечивает соответствие показателей средней температуры и времени предусмотренного испытанием локального воздействия огня данным испытаний. Термопары, размещаемые на расстоянии 25 мм ± 10 мм от внешней поверхности испытательного образца, служат для контроля за подачей тепла и подтверждения того, что необходимый температурный режим соблюдается. В целях обеспечения равномерности нагревания и большей регулируемости пламени в ходе испытания (а также воспроизводимости результатов) предусматривается использование сжиженного нефтяного газа (СНГ) и ветрозащитных экранов. Как показывает опыт, использование СНГ позволяет поддерживать температуру пламени вне помещений на уровне примерно ±100 °C, обеспечивая возможность достижения пиковой температуры, что также благоприятно сказывается на результатах испытаний.

68. Предлагаемая схема локального испытания на огнестойкость основана на предварительной работе, проделанной Министерством транспорта Канады и Национальной администрацией по безопасности дорожного движения (НАБДД) в Соединенных Штатах Америки, однако их подход был расширен, с тем чтобы охватить квалификационные испытания системы хранения, прово-

димые на транспортных средствах либо в общей, либо в конкретно оговоренной комплектации. Эти два метода имеют следующие различия:

a) при общей (конкретно не оговоренной) комплектации испытание на локальное воздействие огня может проводиться более чем на одном транспортном средстве, однако при этом защитные устройства (например, экраны) должны быть прочно прикреплены к системе хранения и должны защищать всю систему, а не только участок локального воздействия огня. Локальное испытание на огнестойкость при общей комплектации проводят на участке поверхности длиной 250 мм ± 50 мм и шириной, обеспечивающей полный охват резервуара по диаметру;

b) локальное испытание на огнестойкость при конкретно оговоренной комплектации транспортного средства проводят с учетом фактических размеров зоны воздействия огня, причем схемой испытания охватываются все защитные элементы транспортного средства. Если изготовитель транспортного средства выбирает подход на базе конкретной комплектации, то расположение и размеры зоны локального воздействия огня корректируют с учетом особенностей транспортного средства, таких как наличие выштампованных участков в прилегающем листовом металле под осветительное оборудование, каналов для электропроводки и патрубков или же отверстий, образовавшихся в результате плавления материалов по фронту распространения огня. Если такие углубления или отверстия являются небольшими, то размеры зоны локального воздействия огня сокращают (по сравнению с теми, которые предусмотрены для испытания с использованием общей конфигурации), с тем чтобы придать испытанию более строгий (и реалистичный) характер.

e) Обоснование пунктов 5.1.5 и 6.2.6 – Квалификационные испытания запорных устройств (для ограничения расхода) системы хранения водорода

69. Надежность и износоустойчивость 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 подвергают 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 при повышении температуры (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.

70. 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 TPRD1:2009 и HGV3.1 (пока не опубликованы), 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. Различия между требованиями, установленными в настоящем тексте и в документах CSA, обусловлены главным образом различиями в контексте области применения. Требования CSA распространяются на все виды применения на дороге, в том числе в случае двигателей большой мощности.

i) Обоснование квалификационных требований к УСДТ

71. 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

72. 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 ISO14687-2 ("Водородное топливо – спецификация продукции"). Общее число рабочих циклов должно составлять 11 000 (циклы наполнения) для контрольного клапана и 50 000 (рабочие циклы) для автоматического запорного клапана.

73. Перекрытие подачи топлива автоматическим запорным клапаном, устанавливаемым на резервуаре системы хранения компримированного 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.

74. Электрические испытания автоматического запорного клапана, устанавливаемого на резервуарах системы хранения компримированного 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

75. 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

a) Требования, предъявляемые в условиях эксплуатации

i) Обоснование требований к заправочному блоку по пункту 5.2.1.1

76. 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 типе 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

77. 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

a. Обоснование пункта 5.2.1.3.1 − Системы сброса давления

78. Выходное отверстие вытяжного трубопровода для стравливания водорода из систем хранения (через УСДТ и УСД) должно быть снабжено защитным колпачком для предотвращения закупоривания, например грязью, осколками камней и льдом.

b. Обоснование пункта 5.2.1.3.2 − Системы выпуска для транспортных средств

79. В целях обеспечения безопасности выпуска из транспортного средства предусматриваются испытания на эффективность, призванные 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 временнóй 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 фиксирования показаний менее чем за 300 миллисекунд.

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

80. 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 полузакрытых 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 ± 1,0% или более, то в этом случае предусматривается подача предупреждающего сигнала. Если объемная концентрация водорода в воздухе в закрытых или полузакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает 3 ± 1,0%, то должен срабатывать основной запорный клапан, полностью перекрывая систему хранения.

v) Обоснование пункта 5.2.1.5 − Утечка в топливной системе

81. Поддающаяся обнаружению утечка не допускается.

vi) Обоснование пункта 5.2.1.6 – Система подачи визуального сигнала/предупреждения

82. 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)

83. (Справочная информация по пункту 3.34): Минимальный уровень концентрации водорода в газовой смеси, при которой она становится воспламеня-

ющейся. 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 и присутствия разрежающих газов, был определен с использованием конкретных методов испытания (например, E681-04 Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM)). 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. 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 Кручес, 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

84. 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

85. 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, 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 был взят показатель Правил № 94, равный 30 г/мин.

86. 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 для транспортных средств либо с системами хранения компримированного водорода, либо с системами хранения сжиженного водорода можно рассчитать следующим образом:

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

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

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

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

88. 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 1 000 Нл/мин. Как показали результаты, хотя возгорание водорода может сопровождаться громким хлопком, звукового давления и теплового потока (даже при скорости утечки 1 000 Нл/мин) недостаточно ни для повреждения днища транспортного средства, ни для открытия капота двигателя, ни для нанесения телес-

ных 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"). Резервуар должен оставаться закрепленным на транспортном средстве как минимум в одной точке крепления.

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

89. 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

90. 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.

3. Требования к электробезопасности и потребности с точки зрения безопасности

a) Обоснование требований к электробезопасности

91. Неисправность высоковольтной системы может привести к поражению (человека) электрическим током. Причиной такого поражения может стать любой источник электроэнергии, обеспечивающий прохождение достаточного по силе тока через кожу, мышцы или волосы человека. Как правило, данное определение используется для обозначения непредусмотренного воздействия электричества, последствия которого считаются нежелательными.

92. Минимальная сила тока, которую способен ощутить человек, зависит от вида электрического тока (переменный или постоянный) и его частоты. Человек в состоянии почувствовать по крайней мере 1 мА (среднеквадратичное значение) переменного тока при 60 Гц, хотя для постоянного тока данный показатель составляет минимум 5 мА. Электрический ток, если он является достаточно высоким, может стать причиной повреждения тканей или фибрилляции, вызывающей остановку сердца. Фибрилляцию может вызвать переменный ток силой 60 мА (среднеквадратичное значение, 60 Гц) или постоянный ток силой 300−500 мА.

93. Длительное воздействие постоянным электрическим током напряжением 120 В и частотой 60 Гц является особенно опасной причиной вентрикулярной фибрилляции, поскольку такой ток обычно превышает уровень, при котором человек сохраняет контроль над своим телом, но при этом не передает телу

первоначальную энергию, достаточную для того, чтобы оттолкнуть его от источника тока. Вместе с тем потенциальная серьезность поражения электротоком зависит от того, какие органы он затрагивает.

94. При напряжении менее 200 В основное сопротивление прохождению тока через тело человека в случае широкомасштабного поражения через две точки на теле оказывает кожа. Однако электропроводность кожи не является линейной. Если напряжение превышает 450−600 В, то диэлектрическая способность кожи нарушается. Степень защиты от тока, обеспечиваемая кожей, уменьшается при потении, процесс которого ускоряется, если электроток в течение продолжительного периода времени вызывает более быстрое сокращение мышц по сравнению с уровнем, при котором человек сохраняет контроль над своим телом.

b) Эксплуатационные требования

95. Под "эксплуатационными требованиями" понимаются технические характеристики, которые необходимо учитывать при разработке транспортного средства на топливных элементах. Они подлежат соблюдению, с тем чтобы избежать опасности поражения пассажиров электромобиля электрическим током.

96. Эти требования в первую очередь распространяются на электропривод, работающий под высоким напряжением, а также на высоковольтные компоненты и системы, которые имеют гальваническое соединение.

97. Во избежание поражения электрическим током требуется обеспечить защиту людей от прямого контакта с частями под напряжением (токопроводящими частями, предназначенными для работы под напряжением в обычных условиях эксплуатации).

98. Защиту от прямого контакта внутри пассажирского салона проверяют с помощью стандартного испытательного провода (IPXXD).

Рис. 5
Стандартный испытательный провод

99. Вне салона для проверки возможности контакта с частями под напряжением надлежит использовать стандартный испытательный штифт (IPXXB).

Рис. 6
Стандартный испытательный штифт

100. Кроме того, незащищенные токопроводящие части (части, до которых можно дотронуться стандартным испытательным штифтом и которые оказываются под напряжением при нарушении изоляции) должны быть также защищены от непрямого контакта. Это означает, что, например, токопроводящие ограждения или кожухи должны быть надежно подсоединены гальваническим методом к электрическому шасси.

101. Помимо защиты от прямого и непрямого контакта, для систем переменного и постоянного тока необходимо обеспечить сопротивление изоляции. Сопротивление изоляции, измеренное по отношению к электрическому шасси, является физическим параметром, характеризующим максимальную силу тока, который может пройти через тело человека, не причиняя ему вреда.

102. Хотя системы постоянного тока менее опасны для людей (см. пункт 5.4.1), все же необходимо обеспечить сопротивление 100 Ом/вольт. Для систем переменного тока требуется обеспечить сопротивление не менее 500 Ом/вольт. Для систем постоянного тока требуется бортовая система контроля за сопротивлением изоляции, которая предупреждает водителя о падении уровня сопротивления изоляции ниже 100 Ом/вольт.

103. Предъявляемые к сопротивлению изоляции требования на уровне 100 Ом/вольт для постоянного тока и 500 Ом/вольт для переменного тока предполагают максимальную силу тока, проходящего через тело человека, на уровне 10 мА и 2 мА соответственно.

c) Требования к последствиям столкновения

104. Под требованиями к последствиям столкновения понимаются технические характеристики, которым транспортные средства должны отвечать после удара. Они не предусматривают описание порядка нанесения удара; данный вопрос решается каждой Договаривающейся стороной. Эти требования подлежат соблюдению, с тем чтобы избежать опасности поражения пассажиров электромобиля электрическим током.

105. Эти требования в первую очередь распространяются на электропривод, работающий под высоким напряжением, а также на высоковольтные компоненты и системы, которые имеют гальваническое соединение.

106. После столкновения транспортного средства должно быть обеспечено соответствие по следующим трем критериям, которые подтверждают безопасность его систем. Это будет означать, что остаточный "электрический уровень" высоковольтных систем более не представляет опасности для пассажиров транспортного средства.

a) Отсутствие высокого напряжения

После удара значения напряжения должны составлять не более 30 В при переменном токе или 60 В при постоянном токе.

b) Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции, измеренное по отношению к электрическому шасси, является физическим параметром, характеризующим максимальную силу тока, которая не представляет опасности для человека.

После удара минимальное сопротивление изоляции, измеренное по отношению к электрическому шасси, для систем переменного тока должно составлять 500 Ом/вольт, а для систем постоянного тока – 100 Ом/вольт.

Предъявляемые к сопротивлению изоляции требования на уровне 100 Ом/вольт для постоянного тока и 500 Ом/вольт для переменного тока предполагают максимальную силу тока, проходящего через тело человека, на уровне 10 мА и 2 мА соответственно.

c) Физическая защита

После удара должна быть исключена возможность касания оказавшихся оголенными частей под напряжением, проверяемых с использованием стандартного испытательного штифта. Кроме того, должно быть обеспечено соблюдение требований в отношении защиты от непрямого контакта.

По решению Договаривающихся сторон Соглашения 1998 года допускается использование четвертого критерия.

d) Низкопотенциальная энергия

После удара энергопотенциал системы должен составлять менее 2,0 Дж.

F. Обоснование процедур испытаний системы хранения и топливной системы

107. 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

108. 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

109. 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 временнóго 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.

110. 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:

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

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

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

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:

$$W_{H2/}W_{He} = C_{H2/}C_{He} \times (M_{H2/}M_{He})^{½}.$$

111. 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:

$$V_{H2/}V_{He} = C_{H2/}C_{He} \times (M_{He/}M_{H2})^{1/2}.$$

112. 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, объемный расход водорода может быть рассчитан по формуле:

$$V_{H2} = V_{He/}0{,}75,$$

где V_{He} – объемный расход гелия после удара (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)

113. Это испытание может проводиться путем измерения либо увеличения концентрации водорода, либо соответствующего уменьшения содержания кислорода. Датчики устанавливают 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.

114. В случае 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 108–112 преамбулы, путем умножения предельного уровня концентрации водорода на 0,75. Таким образом, предельный уровень концентрации для гелия составляет:

X_{He} = 4% H_2 (по объему) x 0,75 = 3,0% (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.

115. 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)

116. 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 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 ООН", К. Висвикис.

117. Требования в отношении запорных устройств системы хранения водорода (УСДТ, автоматический запорный клапан и контрольный клапан) были разработаны CSA (HGV3.1 и TPRD-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) Показатель термочувствительности, T_{life} = 9,1 x T_{act} 0,503, указанный для ускоренного испытания на долговечность (пункт 6.2.6.1.2), основан на работе Д. Стивенса (Институт прикладных наук им. Бэттела) "Обоснование температурного режима испытания на долговечность УСД, срабатывающих под воздействием тепла".

d) 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.

e) 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 и согласовано с ISO CD 12619, часть 2 (элементы оборудования, по которым проходит водород), и ISO 15500, часть 2 (элементы оборудования, по которым проходит СПГ). Требования и процедура испытания на озоностойкость взяты из Правил № 110, касающихся элементов оборудования, по которым проходит СПГ, и добавлены к документам CSA, касающимся элементов оборудования, через которые проходит как водород, так и СПГ.

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

118. 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

119. 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. 7

120. 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. 7, состоит из следующих обязательных элементов:

a) резервуар(ы) для хранения сжиженного водорода;

b) запорное(ые) устройство(а);

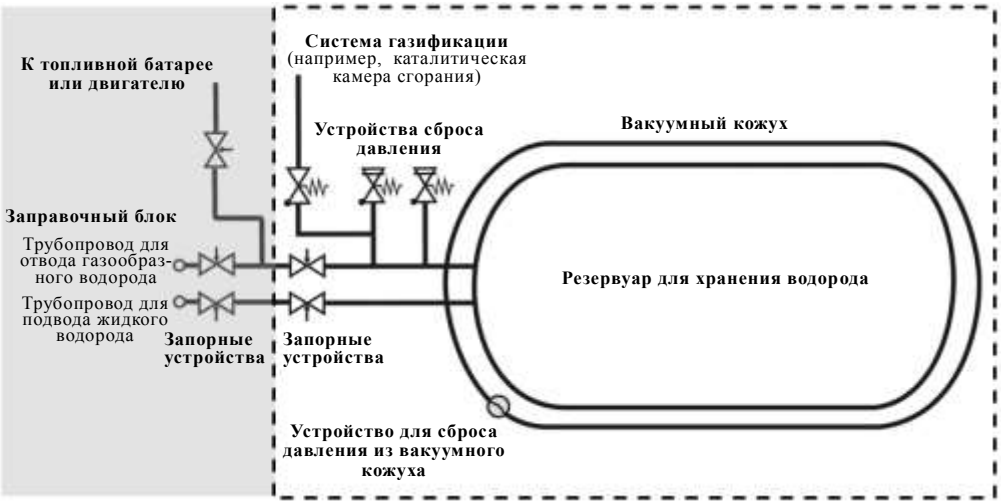
c) система газификации;

d) устройства сброса давления (УСД);

e) трубопроводы (если таковые имеются) и фитинги для подсоединения указанных выше элементов оборудования.

Рис. 7

Схема типичной системы хранения сжиженного газа



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

121. 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 газовозвратном трубопроводе.

d) Сжиженный водород хранится в условиях криогенного охлаждения

122. 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

123. 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

124. 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(е) 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

125. 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

126. 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.

127. 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.

128. 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

129. 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

130. В силу конструктивных 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

131. В силу конструктивных 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.

132. 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

133. 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

134. 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.

135. 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 c) преамбулы, суммарный расход из системы хранения сжиженного водорода транспортного средства может составлять, таким образом, 150 мл/мин для гаража объемом 30,4 $м^3$. В случае компримированного газа может быть использован коэффициент пересчета $[(V_{ширина}+1)*(V_{высота}+0,05)*(V_{длина}+1)/30,4]$, который применим к различным возможным комбинациям "гараж/транспортное средство", включая небольшие транспортные средства, которые могут стоять в гаражах меньшего размера.

136. 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

137. 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.

138. 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 конструктивным 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.

139. 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

140. 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

141. Соответствие квалификационным требованиям позволяет удостовериться в том, 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

142. 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, предусмотренным 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 (см. Правила ЕС 406/2010, стр. 52 оригинала, пункт 4.1.1). Общее число рабочих циклов для автоматических запорных клапанов должно составлять 20 000 (испытательные циклы).

143. 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.

144. 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 (СжН$_2$)

145. 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 типа топлива указывается сжиженный водород. Процедуры испытаний приводятся в пункте 7.5.

4. Обоснование процедур испытания СХСжВ

146. 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))

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

148. 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 C или 20 K), в то время как испытание на герметичность проводится приблизительно при комнатной температуре (20 °C или 293 K). В данном случае уравнения, приводимые в разделе F1 *a)*, могут быть использованы для соотнесения массового расхода гелия и водорода следующим образом:

$$W_{He} / W_{H2} = C_{He} / C_{H2} \times (M_{He} / M_{H2})^{1/2} \times (T_{H2} / T_{He})^{1/2},$$

а для соотнесения объемного расхода гелия и водорода следующим образом:

$$V_{He} / V_{H2} = C_{He} / C_{H2} \times (M_{H2} / M_{He})^{1/2} \times (T_{He} / T_{H2})^{1/2}.$$

Используемые термины определены в пункте A 5.2.1.1. 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.

a) Обоснование пункта 7.5.1: испытание на герметичность после столкновения − системы хранения сжиженного водорода (СХСжВ)

149. 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 ($СжH_2$) 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 мг/с (216 Нмл/ч) результирующая допустимая скорость образования пузырьков составляет примерно 2 030 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.

150. 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 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 бóльшей 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.

151. 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 113–115 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:

$W_l = C_d \times A \times (2 \times \rho_l \times \Delta P_l)^{1/2}$ *Уравнение А.7.5.1-1,*

где W_l – 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:

$W_{He} = C \times C_d \times A \times (\rho_{He} \times P_{He})^{1/2}$ *Уравнение А.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:

$C = \gamma/((\gamma + 1)/2)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}$ *Уравнение А.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:

$W_{He}/W_l = C_{He} \times (\rho_{He}/\rho_l)^{1/2} \times (P_{He}/(2 \times \Delta P_l))^{1/2}$ *Уравнение А.7.5.1-4,*

объединив *уравнения А.7.5.1-1 и А.7.5.1-2*. У*равнение А.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.

152. 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:

$W_t = P_t \times (W_{He}/P_{He})$ *Уравнение А.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

$P_t V = M_t \times R_g \times T$ *Уравнение А.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:

$\partial P_t/\partial t = R_g \text{ x } T/V \text{ x } \partial M_t/\partial t$ *Уравнение А.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:

$\partial P_t/ P_t = R_g \text{ x } T/V \text{ x } (W_{He}/P_{He}) \text{ x } \partial t = (W_{He}/M_{He}) \text{ x } \partial t$ *Уравнение А.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:

$P_{допустимое} = P_{He} \text{ x } \exp(-W_{He}/M_{He} \text{ x } t_{период})$ *Уравнение А.7.5.1-9*

и

$\Delta P_{допустимое} = P_{He} \text{ x } (1 - \exp(-W_{He}/M_{He} \text{ x } t_{период}))$ *Уравнение А.7.5.1-10,*

где $t_{период}$ – период испытания.

153. 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 ($t_{период}$) = 60 минут

Допустимый показатель утечки сжиженного $H_2(W_l)$ = 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

C для гелия = 0,725 (из *уравнения А.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_l) = 5,8 атм. – 1 атм. = 4,8 атм.

Соотношение утечки гелий–сжиженный H_2 по массе (W_{He}/W_l) = 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 А.7.5.1-6*

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

154. 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. 8). 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. 8
Допустимая потеря давления в ходе испытания на герметичность СХСжВ

155. 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 А.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.

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

1. Совместимость материалов и водородное охрупчивание

156. 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 конструктивным 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 ГТП.

2. Национальные требования, дополняющие требования ГТП

157. 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 ГТП для транспортных средств, работающих на водороде

158. 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 правила 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.

Ожидается, что в число основных тем для рассмотрения на этапе 2 войдут следующие:

a) возможный пересмотр области применения с учетом дополнительных классов транспортных средств;

b) возможное согласование требований в отношении краш-тестов;

c) требования в отношении совместимости материалов и водородного охрупчивания;

d) требования к заправочному блоку;

e) оценка процедуры предложенного на этапе 1 испытания на разрушение под действием длительной нагрузки на основе эксплуатационных характеристик;

f) анализ результатов исследований, полученных по завершении этапа 1, с особым акцентом на исследования в области электробезопасности, систем хранения водорода и послеаварийной безопасности;

g) рассмотрение требования в отношении минимального давления разрыва, составляющего 200% НРД или меньше;

h) рассмотрение вопроса о системе защитных ограждений на случай пробоя изоляции.

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 +10% среднего давления разрыва (ВРО) для намечаемого способа применения. Затем

   i) три резервуара выдерживают при давлении >80% ВРО и температуре 65(±5) °C; в течение 100 часов на них не должно наблюдаться признаков разрушения; регистрируют время до разрушения;

   ii) три резервуара выдерживают при давлении >75% ВРО и температуре 65(±5) °C; в течение 1 000 часов на них не должно наблюдаться признаков разрушения; регистрируют время до разрушения;

   iii) три резервуара выдерживают при давлении >70% ВРО и температуре 65(±5) °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 $ВР_{min}$ = 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 x 1,02 = 230% НРД или выше, то указанные расчеты можно не производить.

J. Действующие правила, директивы и международные стандарты

1. Целостность топливной системы транспортного средства

a) Национальные правила и директивы:

a) Европейский союз: Регламент 79/2009 – Официальное утверждение типа механических транспортных средств, работающих на водороде;

b) Европейский союз: Регламент 406/2010 – Об осуществлении Регламента ЕС 79/2009;

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 компримированном газообразном водороде;

e) Канада: Стандарт на безопасность автотранспорта (CMVSS) 301.1 – Целостность топливной системы;

f) Канада: Стандарт безопасности автотранспорта (CMVSS) 301.2 – Транспортные средства, работающие на КПГ;

g) Корея: Стандарт на безопасность автотранспортных средств, статья 91 − целостность топливной системы;

h) Соединенные Штаты: Федеральный стандарт на безопасность автотранспорта (FMVSS) № 301 − Целостность топливной системы;

i) Соединенные Штаты: FMVSS № 303 – Транспортные средства, работающие на КПГ;

j) Китай: GB/T 24548-2009 − Электромобили, работающие на топливных элементах: терминология;

k) Китай: GB/T 24549-2009 − Электромобили, работающие на топливных элементах: требования безопасности;

l) Китай: GB/T 24554-2009 − Двигатели, работающие на топливных элементах: характеристики, методы испытаний.

b) Национальные и международные стандарты:

a) ISO 17268: Соединительные устройства для заправки наземных транспортных средств компримированным водородом;

b) ISO 23273-1: Дорожные транспортные средства на топливных элементах – требования безопасности – Часть 1: функциональная безопасность транспортного средства;

c) ISO 23273-2: Дорожные транспортные средства на топливных элементах – требования безопасности – Часть 2: защита от опасностей, связанных с водородом, в транспортных средствах, работающих на компримированном водороде;

d) ISO 14687-2: Водородное топливо – спецификация на продукцию – Часть 2: топливные элементы с протонообменной мембраной (ПОМ) для дорожных транспортных средств;

e) SAE J2578: Общая безопасность транспортных средств, работающих на топливных элементах;

f) SAE J2600: Соединительные устройства для заправки наземных транспортных средств компримированным водородом;

g) SAE J2601: Регламент по заправке наземных транспортных средств малой грузоподъемности, работающих на газообразном водороде;

h) SAE J2799: Руководящие принципы по качеству водорода для транспортных средств на топливных элементах.

2. Система хранения

a) Национальные правила и директивы:

a) Китай: Правила по контролю за безопасностью специального оборудования;

b) Китай: Правила по контролю за безопасностью газовых баллонов;

c) Япония: JARI S001(2004) − Технический стандарт на резервуары топливной системы транспортных средств, работающих на компримированном водороде;

d) Япония: JARI S002(2004) − Технический стандарт на компоненты топливной системы транспортных средств, работающих на компримированном водороде;

e) Япония: KHK 0128(2010) − Технический стандарт на топливные резервуары транспортных средств, работающих на компримированном водороде, с максимальным давлением заправки до 70 МПа;

f) Корея: Закон о контроле за безопасностью газа высокого давления;

g) Соединенные Штаты: FMVSS 304 − Целостность топливного резервуара для компримированного природного газа;

h) Европейский союз: Регламент 406/2010 об осуществлении Регламента ЕС 79/2009;

i) Китай: QC/T 816-2209 − Транспортные средства, работающие на водороде и заправляемые водородом − технические требования.

b) Национальные и международные стандарты:

a) CSA B51, часть 2: Баллоны высокого давления для хранения природного газа и водорода в качестве топлива на автотранспортных средствах;

b) CSA NGV2-2000: Основные требования к топливным резервуарам транспортных средств, работающих на компримированном природном газе (ТС КПГ);

c) CSA TPRD-1-2009: Устройства сброса давления для топливных резервуаров транспортных средств, работающих на компримированном водороде;

d) CSA HGV 3.1-2011: Компоненты топливной системы транспортных средств, работающих на газообразном водороде (проект);

e) ISO 13985:2006: Сжиженный водород – топливные баки наземных транспортных средств;

f) ISO 15869:2009: Газообразный водород и водородные смеси – топливные баки наземных транспортных средств (технические характеристики);

g) SAE J2579: Топливные системы транспортных средств на топливных элементах и других водородных транспортных средств.

3. Электрическая безопасность

a) Национальные правила и директивы:

a) Канада: CMVSS 305 − Транспортные средства, работающие на электрическом приводе: защита от разлива электролита и от электрического удара;

b) ЕЭК: Правила № 100 − Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения аккумуляторных электромобилей в отношении особых требований к конструкции и функциональной безопасности;

c) Япония: Приложение № 101 − Технический стандарт на защиту пассажиров от поражения током высокого напряжения в транспортных средствах, работающих на топливных элементах;

d) Япония: Приложение № 110 − Технический стандарт на защиту пассажиров от поражения током высокого напряжения в электромобилях и гибридных транспортных средствах;

e) Япония: Приложение № 111 − Технический стандарт для защиты пассажиров от поражения током высокого напряжения при столкновении в электромобилях и гибридных транспортных средствах;

f) Корея: Стандарт на безопасность автотранспортных средств, статья 18-2 − высоковольтная система;

g) Корея: Стандарт на безопасность автотранспортных средств, статья 91-4 − защита от разлива электролита и от электрического удара;

h) Соединенные Штаты: FMVSS 305 − Электромобили: защита от разлива электролита и от электрического удара.

b) Национальные и международные промышленные стандарты:

a) ISO 23273-3: Дорожные транспортные средства на топливных элементах – требования безопасности – Часть 3: защита людей от поражения электротоком;

b) SAE J1766: Испытание на целостность при ударе систем батарей электромобилей и гибридных транспортных средств;

c) SAE J2578: Общая безопасность транспортных средств, работающих на топливных элементах.

K. Выгоды и затраты

159. На первом этапе в ГТП не делается попытки оценить соответствующие затраты и выгоды в количественном выражении. Хотя целью разработки ГТП 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.

160. 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).

161. Несмотря на ожидаемые определенные затраты, Договаривающиеся стороны полагают, что выгоды от разработки ГТП 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 топлива[1]. Наиболее примечательным является, возможно, то, что связанное с широким использованием ТСВТЭ сокращение выбросов парниковых газов и основных загрязняющих веществ (например, NO_2, SO_2 и взвешенных частиц), как 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 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 нефти[2]. Следует добавить, хотя это и не входит в задачу настоящих ГТП, что их разработка может дать выгоды в плане

[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).

[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. www.hydrogen.energy.gov/production.html (последний доступ 24 августа 2011 года).

содействия соблюдению изготовителями применимых стандартов, касающихся экономии топлива и выбросов парниковых газов, за счет стимулирования более широкого производства и использования ТСВТЭ.

162. Договаривающимся сторонам не удалось также оценить непосредственное воздействие ГТП 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.

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 и/или электрического удара в результате контакта с высоковольтной системой транспортного средства.

2. Область применения

Настоящие правила применяют ко всем водородным транспортным средствам категорий 1-1 и 1-2 полной массой (ПМТС) 4 536 кг или менее.

3. Определения

Для цели настоящих правил применяют следующие определения:

3.1 "*режим, допускающий движение*" – режим работы транспортного средства, при котором после нажатия на педаль акселератора (либо включения эквивалентного органа управления) или отключения тормозной системы электрический привод обеспечивает движение транспортного средства;

3.2 "*автоматический разъединитель*" – устройство, которое в результате срабатывания размыкает электрическую цепь, соединяющую источник электроэнергии и остальную высоковольтную цепь электрического привода;

3.3 "*разрывная мембрана*" – рабочая часть одноразового использования устройства сброса давления, которая (при ее наличии) должна разрываться при заданном давлении и обеспечивать возможность сброса компримированного водорода;

3.4 "*контрольный клапан*" – обратный клапан, предотвращающий противоток в топливопроводе транспортного средства;

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) – элемент системы хранения водорода, в котором помещается исходный объем водородного топлива;

3.7 "*подводящее соединение*" – соединение, в котором используются соединители для подключения к внешнему источнику питания

в целях зарядки перезаряжаемой энергоаккумулирующей системы (ПЭАС);

3.8 "*соединительная система для зарядки перезаряжаемой энергоаккумулирующей системы (ПЭАС)*" – электрическая цепь, используемая для зарядки ПЭАС от внешнего источника электропитания, включая входное соединительное устройство на транспортном средстве;

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 заводского испытания на соответствие давлению;

3.11 "*прямой контакт*" означает контакт людей с частями, находящимися под высоким напряжением;

3.12 "*закрытые или полузакрытые 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 и система регулирования подачи топлива) и ее корпусом (если таковой имеется), в которых может скапливаться водород (тем самым создавая опасность); такие пространства могут быть в пассажирском салоне, багажном отделении, грузовом отделении и под крышкой багажника;

3.13 "*кожух*" – элемент, закрывающий внутренние части и обеспечивающий защиту от любого прямого контакта;

3.14 "*система преобразования электроэнергии*" – система (например, топливный элемент), генерирующая и подающая электроэнергию для создания тяги и приведения в движение транспортного средства;

3.15 "*электрический привод*" – электрическая цепь, которая может включать в себя тяговый(е) электродвигатель(и) и может также включать ПЭАС, систему преобразования электроэнергии, электронные преобразователи, тяговые электродвигатели, соответствующие жгуты проводов и соединители, а также соединительную систему для зарядки ПЭАС;

3.16 "*электрическое шасси*" – совокупность электрически связанных друг с другом токопроводящих частей, электропотенциал которых берется за основу;

3.17 "*электрическая цепь*" – совокупность находящихся под высоким напряжением и соединенных друг с другом частей, предназначенных для пропускания электрического тока в обычных условиях эксплуатации;

3.18 "*электроизоляция*" – электрическое сопротивление между высоковольтной шиной транспортного средства и любым токопроводящим элементом конструкции транспортного средства;

3.19 "*электрозащитное ограждение*" – элемент, обеспечивающий защиту от прямого контакта с частями под напряжением с любой стороны;

3.20 "*электронный преобразователь*" – устройство, позволяющее обеспечивать контроль за электроэнергией и/или ее преобразование для создания электрической тяги;

3.21 "*точка выброса*" – геометрический центр зоны, откуда происходит удаление продувочного газа топливных элементов из транспортного средства;

3.22 "*незащищенная токопроводящая часть*" – токопроводящая часть, до которой можно дотронуться в условиях уровня защиты IPXXB и которая оказывается под напряжением при нарушении изоляции. Она включает части под кожухом, который можно снять без использования инструментов;

3.23 "*внешний источник электропитания*" – источник переменного или постоянного тока, находящийся вне транспортного средства;

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 ≤1 500 В для постоянного тока или >30 В и ≤1 000 В для переменного тока;

3.27 "*высоковольтная шина*" – электрическая цепь, включающая в себя соединительную систему для зарядки ПЭАС, которая функционирует под высоким напряжением;

3.28 "*водородное транспортное средство*" означает любое автотранспортное средство, использующее компримированный газообразный 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 пассажирского транспортного средства указано в ISO 14687-2 и SAE J2719;

3.29 "*система хранения водорода*" означает резервуар под давлением, устройства сброса давления (УСД) и запорное устройство, которые изолируют находящийся на борту водород от остальной топливной системы и окружающей среды;

3.30 "*непрямой контакт*" – контакт людей с незащищенными токопроводящими частями;

3.31 "*части под напряжением*" – токопроводящие части, предназначенные для работы под напряжением в обычных условиях эксплуатации;

3.32 "*багажное отделение*" – пространство в транспортном средстве, предназначенное для размещения багажа и ограниченное крышей, крышкой багажника, полом, боковыми стенками, а также электрозащитными ограждениями и кожухами, служащими для защиты от прямого контакта с находящимися под напряжением частями электропривода, которое отделено от пассажирского салона передней перегородкой или задней перегородкой;

3.33 "*система хранения сжиженного водорода*" означает резервуар(ы) для хранения сжиженного водорода, 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 составляет 4% водорода по объему (пункт 83 преамбулы);

3.35 "*максимально допустимое рабочее давление (МДРД)*" – наибольшее манометрическое давление, при котором резервуар с топливом или система хранения может функционировать в обычных условиях эксплуатации;

3.36 "*максимальное давление заправки (МДЗ)*" – максимальное давление подачи компримированного топлива в систему 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 резервуаров с компримированным газообразным водородом НРД – это установленное давление компримированного газа при постоянной температуре 15 °C при полном резервуаре или заполненной системе хранения;

3.38 "*бортовая система контроля за сопротивлением изоляции*" – устройство, контролирующее сопротивление изоляции между высоковольтными шинами и электрическим шасси;

3.39 "*тяговая батарея открытого типа*" – тип жидкостной батареи, выделяющей водород, выпускаемый в атмосферу;

3.40 "*пассажирский салон (с точки зрения оценки электробезопасности)*" – пространство, предназначенное для водителя и пассажиров и ограниченное крышей, полом, боковыми стенками, дверцами, внешним остеклением, передней перегородкой и задней перегородкой либо задней дверью, а также электрозащитными ограждениями и кожухами, служащими для защиты от прямого контакта водителя и пассажиров с находящимися под напряжением частями;

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 "*степень защиты IPXXB*" означает защиту от контакта с частями, находящимися под высоким напряжением, обеспечиваемую либо электрозащитным ограждением, либо кожухом и проверенную с использованием шарнирного испытательного штыря (IPXXB), описанного в пункте 6.3.3;

3.44 "*степень защиты IPXXD*" означает защиту от контакта с частями, находящимися под высоким напряжением, обеспечиваемую либо электрозащитным ограждением, либо кожухом и проверенную с использованием испытательного провода (IPXXD), описанного в пункте 6.3.3;

3.45 "*перезаряжаемая энергоаккумулирующая система (ПЭАС)*" – перезаряжаемая энергоаккумулирующая система, которая обеспечивает подачу электроэнергии для создания электрической тяги;

3.46 "*разрыв* и *взрыв*" означают внезапное и резкое механическое разрушение, пробой или фрагментацию под воздействием внутреннего давления;

3.47 "*служебный разъединитель*" – устройство, служащее для размыкания электрической цепи при проведении проверок и обслуживания ПЭАС, батареи топливных элементов и т.д.;

3.48 "*срок службы*" (резервуара для компримированного водорода) означает период времени, на который разрешена эксплуатация (использование);

3.49 "*запорный клапан*" – клапан между резервуаром для хранения и топливной системой транспортного средства, который может срабатывать автоматически; штатный режим работы этого клапана, когда он не находится под напряжением, соответствует "закрытому" положению;

3.50 "*одиночный сбой*" – разовая неисправность, включая любые обусловленные ею последующие нарушения;

3.51 "*твердая изоляция*" – изоляционное покрытие кабельных жгутов, закрывающее и защищающее части, находящиеся под высоким напряжением, от любого прямого контакта. Оно включает закрывающие элементы для изоляции находящихся под высоким напряжением частей соединителей, а также лак или краску, используемые для целей изоляции;

3.52 "*предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла (УСДТ)*" – невозвратное УСД, которое срабатывает при повышении температуры и открывается для удаления газообразного водорода;

3.53 "*официальное утверждение типа*" означает проведенную признанным компетентным органом процедуру сертификации с указанием того, что прототип или предпроизводственные образцы конкретного транспортного средства, конкретной системы транспортного средства либо конкретного элемента системы транспортного средства отвечают соответствующим установленным эксплуатацион-

ным характеристикам и что соблюдены также окончательные серийные варианты компоновки, при условии подтверждения соответствия производства;

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);

3.55 "*рабочее напряжение*" – наиболее высокое эффективное значение напряжения электрической цепи, указанное изготовителем или определенное путем измерения, которое может быть зафиксировано между любыми токопроводящими частями при разомкнутой цепи либо в обычных условиях эксплуатации. Если электрическая цепь разделена гальванической изоляцией, то рабочее напряжение соответственно определяется для каждой изолированной цепи.

4. Применимость требований

4.1 Требования пункта 5 (с соблюдением условий проведения и процедур испытаний по пункту 6) применяют ко всем транспортным средствам, работающим на компримированном водороде.

4.2 Каждая Договаривающаяся сторона Соглашения 1998 года сохраняет 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 пункта 5.3 применяют ко всем водородным транспортным средствам, работающим под высоким напряжением.

5. Требования к эффективности

5.1 Система хранения компримированного водорода

В настоящем разделе установлены требования в отношении целостности системы хранения компримированного водорода. Система хранения водорода состоит из резервуара высокого давления и первичных запорных устройств на входе в резервуар высокого давления. На рис. 1 показана типичная система хранения компримированного водорода, в которую входят резервуар под давлением, три запорных устройства и их арматура. К запорным устройствам относятся:

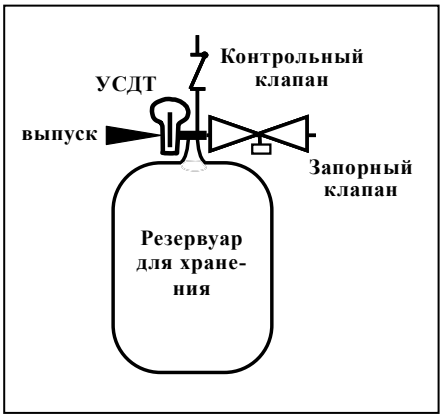
a) УСДТ;

b) контрольный клапан, предотвращающий проход водорода обратно в заправочный трубопровод; и

c) автоматический запорный клапан, блокирующий подачу водородного топлива из резервуара на топливные элементы или в ДВС. Любой запорный клапан, а также УСДТ, образующие первичный контур, предотвращающий утечку водорода из резервуара для хранения, монтируют непосредственно на каждом резервуаре или внутри него. Непосредственно на

каждом резервуаре или внутри него устанавливают по крайней мере одно устройство, выполняющее функцию контрольного клапана.

Рис. 1
Типичная система хранения компримированного водорода



Все новые системы хранения компримированного водорода, предназначенные для использования на дорожных транспортных средствах, должны иметь НРД, составляющее 70 МПа или меньше, срок службы до 15 лет и удовлетворять требованиям пункта 5.1.

Система хранения водорода должна отвечать указанным в настоящем пункте требованиям в отношении испытания на эффективность. К числу квалификационных требований для целей эксплуатации в дорожных условиях 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;

5.1.5 проверочное испытание на ресурс прочности первичных запорных устройств.

Элементы испытаний для проверки этих требований к эффективности резюмируются в таблице 1. Соответствующие процедуры испытаний приведены в пункте 6.

Таблица 1
Обзор требований в отношении квалификационных испытаний на эффективность

5.1.1	Испытания для проверки базовых параметров
5.1.1.1	Базовый показатель давления разрыва для новых резервуаров
5.1.1.2	Базовый показатель циклов изменения давления на протяжении срока службы для новых резервуаров
5.1.2	Проверочные испытания на ресурс прочности (последовательные испытания под гидравлическим давлением)
5.1.2.1	Испытание на соответствие давлению
5.1.2.2	Испытание на сбрасывание (ударную нагрузку)
5.1.2.3	Испытание на повреждение поверхности
5.1.2.4	Испытания на химическую стойкость и на циклическое изменение давления при температуре окружающей среды
5.1.2.5	Испытание под статическим давлением при повышенной температуре
5.1.2.6	Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах
5.1.2.7	Испытание на соответствие остаточному давлению
5.1.2.8	Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв
5.1.3	Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные испытания под пневматическим давлением)
5.1.3.1	Испытание на соответствие давлению
5.1.3.2	Испытание (пневматическое) на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах
5.1.3.3	Испытание (пневматическое) на утечку/просачивание газа при статическом давлении в условиях экстремальных температур
5.1.3.4	Испытание на соответствие остаточному давлению
5.1.3.5	Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв (под гидравлическим давлением)
5.1.4	Проверочные испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании
5.1.5	Проверочные испытания на износоустойчивость запорных устройств

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 ме-

ре из 10 резервуаров, подвергают воздействию гидравлического давления до разрыва (процедура испытания по пункту 6.2.2.1). Изготовитель должен представить документацию (результаты измерений и статистические выкладки), позволяющую установить среднее давление разрыва новых резервуаров для хранения, BP_O.

Давление разрыва всех испытываемых резервуаров должно находиться в пределах ±10% BP_O и быть больше или равно минимальному давлению BP_{min}, составляющему 225% НРД.

Кроме того, 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, подвергают циклическому изменению гидравлического давления при температуре 20 (±5) °C и 125% НРД без разрыва в течение 22 000 циклов или до появления утечки (процедура испытания по пункту 6.2.2.2). Резервуар должен выдерживать без утечки определенное число циклов изменения давления, причем число циклов устанавливается каждой Договаривающейся стороной в индивидуальном порядке и может составлять 5 500, 7 500 или 11 000 циклов из расчета 15-летнего срока службы.

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 ±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.

Резервуар для хранения водорода не должен давать утечки на протяжении всей серии испытаний, которым последовательно подвергается отдельно взятая система и которые проиллюстрированы на рис. 2. Испытанию для целей подтверждения эксплуатационной пригодности подвергают по крайней мере одну систему, произвольно отобранную для квалификационной проверки из партии изделий. Специфические особенности процедур испытаний применительно к системе хранения водорода приведены в пункте 6.2.3.

Рис. 2

Проверочные испытания на ресурс прочности (под гидравлическим давлением)

5.1.2.1 Испытание на соответствие давлению

Резервуар для хранения накачивают до давления, соответствующего 150% НРД, и выдерживают в течение 30 секунд (процедура испытания по пункту 6.2.3.1). Резервуар для хранения, прошедший испытание на соответствие давлению на стадии изготовления, освобождается от данного испытания.

5.1.2.2 Испытание на сбрасывание (ударную нагрузку)

Резервуар для хранения сбрасывают с высоты под несколькими углами (процедура испытания по пункту 6.2.3.2).

5.1.2.3 Испытание на повреждение поверхности

Резервуар для хранения подвергают испытанию на повреждение поверхности (процедура испытания по пункту 6.2.3.3).

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

Резервуар для хранения подвергают воздействию химических веществ, с которыми возможен контакт в условиях дорожного движения, и давлению, соответствующему 125% НРД, при температуре 20 (±5) °C для 60% от общего числа циклов изменения давления (процедура испытания по пункту 6.2.3.4). Испытание на химическую стойкость прекращают до начала последних 10 циклов, которые проводят при давлении, соответствующем 150% НРД.

5.1.2.5 Испытание под статическим давлением при повышенной температуре

Резервуар для хранения подвергают давлению, соответствующему 125% НРД, и выдерживают при температуре ≥85 °C в течение 1 000 часов (процедура испытания по пункту 6.2.3.5).

5.1.2.6 Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах

Резервуар для хранения подвергают циклическому изменению давления при температуре ≤−40 °C и 80% НРД для 20% от общего числа циклов и при температуре ≥+85 °C и относительной влажности 95% при 125% НРД для 20% от общего числа циклов (процедура испытания по пункту 6.2.2.2).

5.1.2.7 Гидравлическое испытание остаточным давлением. Резервуар для хранения накачивают до давления, соответствующего 180% НРД, и выдерживают в течение 4 минут, при этом разрыв резервуара не допускается (процедура испытания по пункту 6.2.3.1).

5.1.2.8 Испытание для проверки остаточной прочности на разрыв

Резервуар для хранения подвергают гидравлическому испытанию на разрыв с целью удостовериться, что давление разрыва составля-

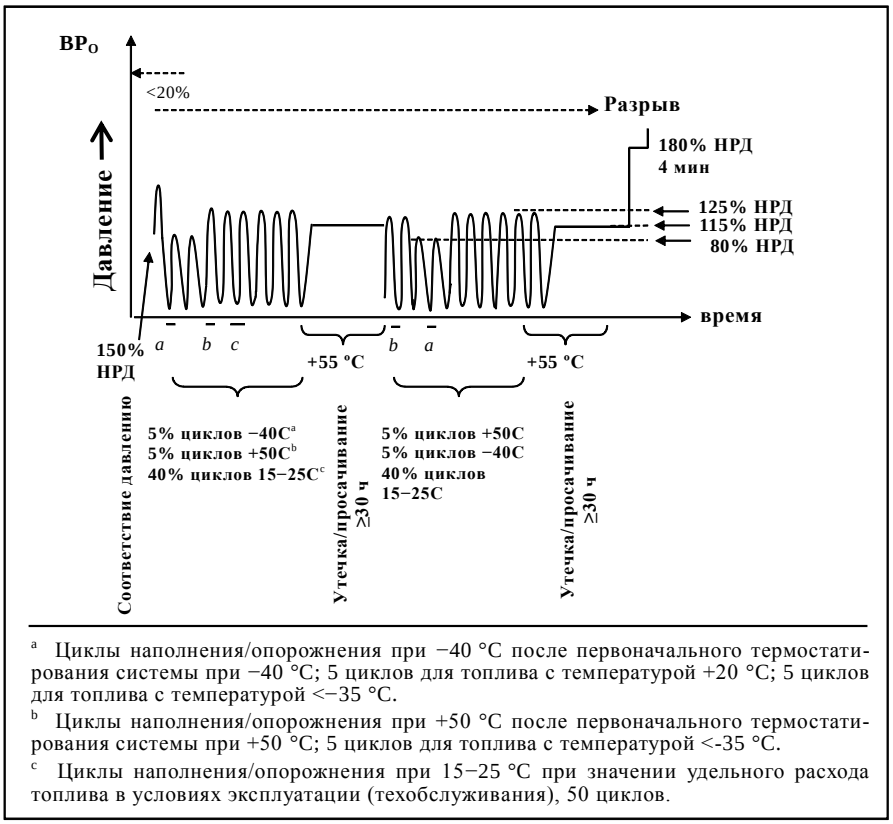
ет не менее 80% от базового показателя давления разрыва для новых резервуаров (ВРО), определенного в пункте 5.1.1.1 (процедура испытания по пункту 6.2.2.1).

5.1.3 Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (последовательные пневматические испытания)

Система хранения водорода не должна давать утечки после проведения серии испытаний, показанной на рис. 3. Специфические особенности процедур испытаний применительно к системе хранения водорода приведены в пункте 6.

Рис. 3

Проверочные испытания на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (пневматические/гидравлические)



[a] Циклы наполнения/опорожнения при −40 °C после первоначального термостатирования системы при −40 °C; 5 циклов для топлива с температурой +20 °C; 5 циклов для топлива с температурой <−35 °C.

[b] Циклы наполнения/опорожнения при +50 °C после первоначального термостатирования системы при +50 °C; 5 циклов для топлива с температурой <-35 °C.

[c] Циклы наполнения/опорожнения при 15−25 °C при значении удельного расхода топлива в условиях эксплуатации (техобслуживания), 50 циклов.

5.1.3.1 Испытание на соответствие давлению

Давление в системе повышают до 150% НРД в течение 30 секунд (процедура испытания по пункту 6.2.3.1). Резервуар для хранения, прошедший испытание на соответствие давлению на стадии изготовления, освобождается от данного испытания.

5.1.3.2 Испытание на циклическое изменение давления газа при температуре окружающей среды и при экстремальных температурах

Систему подвергают испытанию на циклическое изменение давления с помощью газообразного водорода в течение 500 циклов (процедура испытания по пункту 6.2.4.1).

a) Циклы изменения давления подразделяются на две группы: половину циклов (250) проводят до воздействия статическим давлением (пункт 5.1.3.3), а остальную половину циклов (250) проводят после первоначального воздействия статическим давлением (пункт 5.1.3.3), как показано на рис. 3.

b) Применительно к первой группе циклов изменения давления: проводят 25 циклов при 80% НРД и температуре ≤−40 °C, затем 25 циклов при 125% НРД, температуре ≥+50 °C и относительной влажности 95%, остальные 200 циклов при 125% НРД и температуре 20 (±5) °C.

Применительно к второй группе циклов изменения давления: проводят 25 циклов при 125% НРД, температуре ≥+50 °C и относительной влажности 95%, затем 25 циклов при 80% НРД и температуре ≤−40 °C, а остальные 200 циклов при 125% НРД и температуре 20 (±5) °C.

c) Температура газообразного водородного топлива составляет ≤−40 °C.

d) В случае первой группы из 250 циклов изменения давления 5 циклов проводят при температуре топлива +20 (±5) °C после термостатирования системы в условиях температуры ≤−40 °C; 5 циклов проводят при температуре топлива ≤−40 °C; и 5 циклов − с использованием топлива, имеющего температуру ≤−40 °C, после термостатирования системы при ≥50 °C и относительной влажности 95%.

e) 50 циклов изменения давления проводят при скорости опорожнения, равной скорости опорожнения в условиях технического обслуживания или превышающей ее.

5.1.3.3 Испытание на утечку/просачивание при статическом давлении в условиях экстремальных температур

a) испытание проводят после отработки каждой группы из 250 циклов изменения пневматического давления по пункту 5.1.3.2;

b) предельно допустимый расход водорода из системы хранения компримированного водорода составляет 46 мл/ч на литр емкости системы хранения (процедура испытания по пункту 6.2.4.2);

c) если измеренная скорость просачивания составляет более 0,005 мг/с (3,6 Нмл/мин), то проводят испытание на локальную утечку с целью удостовериться в том, что ни в одной точке локальная внешняя утечка не превышает 0,005 мг/с (3,6 Нмл/мин) (процедура испытания по пункту 6.2.4.3).

5.1.3.4 Испытание (гидравлическое) на соответствие остаточному давлению

Резервуар для хранения накачивают до давления, соответствующего 180% НРД, и выдерживают в течение 4 минут, причем разрыв резервуара не допускается (процедура испытания по пункту 6.2.3.1).

5.1.3.5 Испытание (гидравлическое) для проверки остаточной прочности на разрыв

Резервуар для хранения подвергают гидравлическому испытанию на разрыв с целью удостовериться, что давление разрыва соответствует базовому показателю давления разрыва, определенному в пункте 5.1.1.1, ± 20% (процедура испытания по пункту 6.2.2.1).

5.1.4 Проверочные испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании

В настоящем разделе описывается испытание на огнестойкость с использованием компримированного водорода в качестве испытательного газа. Подвергаемые такому испытанию резервуары должны быть официально признаны всеми Договаривающимися сторонами. Вместе с тем Договаривающиеся стороны Соглашения 1998 года могут в качестве альтернативного испытательного газа использовать сжатый воздух для целей сертификации резервуара, предназначенного для эксплуатации исключительно в своей стране или регионе.

Систему хранения водорода подвергают давлению, соответствующему НРД, и воздействию огня (процедура испытания по пункту 6.2.5.1). Предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла, должно обеспечивать контролируемое стравливание газов из резервуара без его разрыва.

5.1.5 Проверочные испытания на износоустойчивость первичных запорных устройств

Изготовители ведут регистрационные записи, подтверждающие, что запорные устройства, обеспечивающие герметизацию системы хранения водорода под высоким давлением (УСДТ, контрольный(ые) клапан(а), запорный(ые) клапан(а), показанные на рис. 1), соответствуют требованиям, изложенным в остальной части настоящего раздела.

Повторного освидетельствования (пункт 5.1) всей системы хранения не требуется, если эти запорные устройства (элементы оборудования, показанные на рис. 1, за исключением резервуара для хранения) заменяются на эквивалентные запорные устройства, выполняющие аналогичную функцию, снабженные аналогичной арматурой, изготовленные из сопоставимых материалов, обеспечивающие соизмеримую прочность и имеющие сопоставимые размеры, а также отвечающие квалификационным требованиям в отношении эксплуатационной пригодности, подтвержденной теми же квалификационными испытаниями, что и оригинальные элементы оборудования. Однако при изменении технических параметров УСДТ, места его установки или продувочных магистралей требуется переосвидетельствование с проведением испытания на огнестойкость в соответствии с пунктом 5.1.4.

5.1.5.1 Квалификационные требования к УСДТ

Испытания на проверку соответствия конструкции установленным требованиям проводят на типичных для нормального производства готовых предохранительных устройствах для сброса давления.

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).

5.1.5.2 Квалификационные требования к контрольному клапану и автоматическому запорному клапану

Испытания на проверку соответствия конструкции установленным требованиям проводят на типичных для нормального производства готовых контрольных клапанах и автоматических запорных клапанах. 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);

j) испытание на воздействие предварительно охлажденным водородом (пункт 6.2.6.2.10).

5.1.6 Маркировка

На каждом резервуаре прочно крепится табличка с указанием по крайней мере следующей информации: наименование изготовителя, серийный номер, дата изготовления, НРД, тип топлива и дата

снятия с эксплуатации. На каждом резервуаре также проставляют число циклов изменения давления, установленных для серии испытаний, проведенных по пункту 5.1.1.2. Любая табличка, которая крепится на резервуаре в соответствии с положениями настоящего раздела, должна оставаться на своем месте, а надпись на ней должна быть удобочитаемой на протяжении всего рекомендуемого изготовителем срока службы резервуара.

Дата снятия с эксплуатации не должна превышать 15 лет, считая с даты изготовления.

5.2 Топливная система транспортного средства

В настоящем разделе установлены требования в отношении целостности системы подачи водородного топлива, в которую входят система хранения водорода, 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 противоток топлива и его утечку в атмосферу. Процедура испытания предполагает визуальный осмотр.

5.2.1.1.2 Маркировка заправочного блока. Вблизи заправочного блока, например с внутренней стороны наливной горловины, прикрепляют наклейку с указанием следующей информации: тип топлива, НРД 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)

a) УСДТ системы хранения. Выходное отверстие вытяжного трубопровода, если таковой имеется, для стравливания газообразного водорода из системы хранения через УСДТ и/или УСД должно быть снабжено защитным колпачком.

b) УСДТ системы хранения. Газообразный водород, выводимый из системы хранения через УСДТ, не должен стравливаться:

i) в закрытые или полузакрытые кожухом пространства;

ii) внутрь или в направлении любых надколесных дуг транспортного средства;

iii) в направлении резервуаров с газообразным водородом;

iv) вперед по ходу движения транспортного средства либо в горизонтальной плоскости (параллельно дороге) сзади или с боков транспортного средства.

c) Снаружи системы хранения водорода могут использоваться другие предохранительные устройства для сброса давления (например, разрывная мембрана). Газообразный водород, выводимый из системы через другие устройства для сброса давления, не должен стравливаться:

i) в направлении оголенных электрических клемм, незащищенных электропереключателей или других источников воспламенения;

ii) внутрь или в направлении пассажирского салона или грузового отделения транспортного средства;

iii) внутрь или в направлении любых надколесных дуг транспортного средства;

iv) в направлении резервуаров с газообразным водородом.

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% 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% (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 утечке и/или просачивании водорода из системы хранения водорода он не должен поступать непосредственно в пассажирский салон, багажное или грузовое отделение либо в любые закрытые или полузакрытые 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 каком-либо месте пассажирского салона (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 полузакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает 2 ± 1,0%, то в этом случае предусматривается подача предупреждающего сигнала (пункт 5.2.1.6). Если же объемная концентрация водорода в воздухе в закрытых или полузакрытых кожухом пространствах внутри транспортного средства превышает 3 ± 1,0%, 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 и система(ы) хранения водорода не должны 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 и красным – в случаях, подпадающих под требования пункта 5.2.1.4.3 настоящего раздела;

c) в зажженном состоянии быть видимым для водителя в условиях вождения как в дневное, так и ночное время;

d) продолжать гореть, пока сохраняется 2 ± 1,0-процентная концентрация или сбой функции выявления неисправности и если система блокировки зажигания приведена в положение "включено" либо пока работает тяговая установка.

5.2.2 Целостность топливной системы после столкновения

5.2.2.1 Предельные уровни утечки топлива

В течение 60 минут после испытания на столкновение объемный расход газообразного водорода при его утечке в среднем не должен превышать 118 Нл в минуту (процедура испытания по пункту 6.1.1).

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, багажном и грузовом отделениях превышала 3 ± 1,0% (процедура испытания по пункту 6.1.2). Выполнение данного требования под-

тверждается 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) для хранения должен (должны) продолжать оставаться закрепленным(и) на транспортном средстве как минимум в одной точке крепления.

5.3 Электрическая безопасность

5.3.1 Требования к электробезопасности – в условиях эксплуатации

5.3.1.1 Общие положения

Положения пункта 5.3.1 применяются к электрическому приводу транспортных средств на топливных элементах, которые оснащены одним или несколькими тяговыми двигателями, работающими на электричестве и не имеющими постоянного соединения с сетью, а также к их высоковольтным компонентам и системам, которые кондуктивно соединены с высоковольтной шиной электрического привода.

5.3.1.2 Требования в отношении защиты от электрического удара

5.3.1.2.1 Защита от электрического удара

Настоящие требования в отношении электрической безопасности применяются к высоковольтным шинам в тех случаях, когда они не подключены к внешним высоковольтным источникам энергии.

5.3.1.2.2 Защита от прямого контакта

Защита от прямого контакта с частями под напряжением должна соответствовать положениям пунктов 5.3.1.2.2.1 и 5.3.1.2.2.2. Защитные средства (твердая изоляция, электрозащитное ограждение, кожух и т.д.) должны быть устроены так, чтобы их нельзя было открыть, разобрать или снять без использования инструментов.

5.3.1.2.2.1 Для защиты частей под напряжением, находящихся внутри пассажирского салона или багажного отделения, обеспечивают степень защиты IPXXD.

5.3.1.2.2.2 Для защиты частей под напряжением, находящихся вне пассажирского салона или багажного отделения, должна быть обеспечена степень защиты IPXXB.

5.3.1.2.2.3 Соединители

Считается, что соединители (включая входное соединительное устройство на транспортном средстве) удовлетворяют этому требованию, если:

a) они соответствуют положениям пунктов 5.3.1.2.2.1 и 5.3.1.2.2.2 в случае разъединения без использования инструментов или

b) они расположены под полом и снабжены запорным механизмом, или

c) они снабжены запорным механизмом и для разъединения соединительного устройства требуется снять другие компоненты при помощи соответствующих инструментов, или

d) в течение 1 секунды после разъединения соединительного устройства эффективное значение напряжения частей под напряжением не превышает 60 В для постоянного тока или 30 В для переменного тока.

5.3.1.2.2.4 Служебный разъединитель

Для служебного разъединителя, который можно открыть, разобрать или снять без соответствующих инструментов, в условиях, когда он открыт, разобран или снят без использования инструментов, допускается степень защиты IPXXB.

5.3.1.2.2.5 Маркировка

5.3.1.2.2.5.1 На ПЭАС или рядом с нею наносят знак, приведенный на рис. 4. Фон знака должен быть желтым, кайма и стрелка должны быть черными.

Рис. 4
Маркировка высоковольтного оборудования

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

5.3.1.2.2.5.2 Знак должен быть отчетливо нанесен на защитных кожухах и электрозащитных ограждениях, при снятии которых открывается доступ к находящимся под напряжением частям высоковольтных цепей. Это положение является факультативным для любого соединительного устройства высоковольтных шин. Данное положение не применяют в любом из следующих случаев:

a) когда электрозащитные ограждения или кожухи являются физически недоступными и не могут быть открыты или сняты без снятия других компонентов транспортного средства при помощи инструментов;

b) когда электрозащитные ограждения или кожухи расположены под полом транспортного средства.

5.3.1.2.2.5.3 Кабели высоковольтных шин, находящиеся вне защитного кожуха, должны иметь отличительную внешнюю оболочку оранжевого цвета.

5.3.1.2.3 Защита от непрямого контакта

5.3.1.2.3.1 Для защиты от электрического удара вследствие непрямого контакта незащищенные токопроводящие части, такие как токопроводящие электрозащитные ограждения или кожухи, должны быть кондуктивно и надежно соединены с электрическим шасси посредством соединения с электрическим кабелем или кабелем заземления, сварного или болтового соединения и т.д. во избежание появления опасных потенциалов.

5.3.1.2.3.2 Сопротивление между всеми незащищенными токопроводящими частями и электрическим шасси при силе тока не менее 0,2 А должно быть ниже 0,1 Ом. Для подтверждения соответствия этому

требованию используется одна из процедур испытания, описанных в пункте 6.3.4.

Настоящее требование считается соблюденным, если гальваническое соединение выполнено методом сварки. При возникновении сомнений проводят измерение.

5.3.1.2.3.3 В случае автотранспортных средств, подключаемых с помощью подводящего соединения к заземленному внешнему источнику электропитания, предусматривают устройство, обеспечивающее кондуктивное соединение электрического шасси с "землей".

Это устройство должно обеспечивать соединение с "землей", прежде чем напряжение с внешнего источника электропитания будет подано на транспортное средство, и сохранять его до тех пор, пока подача напряжения на транспортное средство с внешнего источника электропитания не будет прекращена.

Соблюдение этого требования может быть продемонстрировано либо посредством использования соединительного устройства, указанного изготовителем транспортного средства, либо на основе анализа (например, путем визуального осмотра, при помощи чертежей и т.д.).

5.3.1.2.4 Система контроля за сопротивлением изоляции

5.3.1.2.4.1 В транспортных средствах на топливных элементах высоковольтные шины постоянного тока снабжают бортовой системой контроля за сопротивлением изоляции с сигнальным устройством, предупреждающим водителя о падении уровня сопротивления изоляции ниже минимального предписанного значения, составляющего 100 Ом/В. Надлежащее функционирование бортовой системы контроля за сопротивлением изоляции подтверждается в соответствии с пунктом 6.3.2.

Сопротивление изоляции между высоковольтной шиной соединительной системы для зарядки ПЭАС, которая находится под напряжением только в процессе зарядки ПЭАС, и электрическим шасси контролировать не требуется.

5.3.1.2.4.2 Электрический привод, содержащий отдельные электрические шины постоянного и переменного тока

Если высоковольтные шины переменного тока и высоковольтные шины постоянного тока кондуктивно изолированы друг от друга, то сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси должно иметь минимальное значение 100 Ом/В рабочего напряжения для шин постоянного тока и минимальное значение 500 Ом/В рабочего напряжения для шин переменного тока.

Измерение проводят в соответствии с пунктом 6.3.1.

5.3.1.2.4.3 Электрический привод, содержащий комбинированные электрические шины постоянного и переменного тока

Если высоковольтные шины переменного тока и высоковольтные шины постоянного тока гальванически соединены друг с другом, то сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электри-

ческим шасси должно иметь минимальное значение 500 Ом/В рабочего напряжения.

Вместе с тем сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси должно иметь минимальное значение 100 Ом/В рабочего напряжения, если все высоковольтные шины переменного тока защищены одним из двух указанных ниже способов:

a) наличие двух или более слоев твердой изоляции, электрозащитных ограждений или кожухов, которые удовлетворяют требованиям пункта 5.3.1.2.3 независимо друг от друга, например для жгута проводов;

b) наличие механически прочных защитных средств, обладающих достаточной износоустойчивостью на протяжении всего срока эксплуатации транспортного средства, таких как картер двигателя, контейнеры электронных преобразователей или соединители.

5.3.1.2.4.4 Требование в отношении сопротивления изоляции соединительной системы для зарядки ПЭАС

В случае если входное соединительное устройство на транспортном средстве рассчитано на соединение с заземленным внешним источником электропитания переменного тока и электрической цепью, кондуктивно соединенной с входным соединительным устройством на транспортном средстве в ходе зарядки ПЭАС, сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси должно составлять по крайней мере 1 МОм при отсоединенном зарядном устройстве. В ходе измерения ПЭАС может быть отключена. Измерение проводят в соответствии с пунктом 6.3.1.

5.3.1.3 Функциональная безопасность

Для водителя должен подаваться по крайней мере единовременный сигнал, когда транспортное средство находится в "режиме, допускающем движение".

Вместе с тем это положение не применяется в тех случаях, когда тяга для транспортного средства после запуска прямо или косвенно обеспечивается двигателем внутреннего сгорания.

Водитель, покидающий транспортное средство, должен четко оповещаться соответствующим сигналом (например, оптическим или звуковым), если транспортное средство все еще находится в режиме, допускающем движение.

Если бортовая ПЭАС может заряжаться снаружи, должна быть исключена возможность приведения транспортного средства в движение его собственной тяговой установкой, пока соединительное устройство внешнего источника электропитания физически соединено с входным соединительным устройством на транспортном средстве.

Соблюдение этого требования демонстрируют посредством использования соединительного устройства, указанного изготовителем транспортного средства.

Для водителя должно быть четко указано положение регулятора направления движения.

5.3.2 Требования в отношении электробезопасности – после столкновения

5.3.2.1 Общие положения

Транспортные средства на топливных элементах, оборудованные электрическим приводом, должны соответствовать требованиям пунктов 5.3.2.2–5.3.2.4. Их соответствие этим требованиям может быть подтверждено с помощью отдельного испытания на удар при условии, что электрические компоненты не влияют на защиту лиц, находящихся в транспортном средстве типа, определенного в правилах испытания на удар. При соблюдении данного условия проверку выполнения требований пунктов 5.3.2.2−5.3.2.4 осуществляют при помощи методов, изложенных в пункте 6.3.5.

5.3.2.2 Защита от электрического удара

После столкновения должно быть обеспечено соответствие по меньшей мере одному из трех критериев, указанных в пунктах 5.3.2.2.1−5.3.2.2.3.

Если в транспортном средстве предусмотрены функция автоматического разъединения или устройство(а), которое(ые) кондуктивно разъединяют цепь электрического привода в условиях вождения, то к разомкнутой цепи или к каждой индивидуальной разомкнутой цепи после активации функции разъединения применяют по меньшей мере один из нижеследующих критериев. Вместе с тем критерии, определенные в пункте 5.3.2.2.2, не применяют, если не обеспечивается требуемая степень защиты IPXXB более чем одной части высоковольтной шины.

В случае если испытания проводят в условиях, когда часть(и) высоковольтной системы не работает(ют) под напряжением, защиту соответствующей(их) части(ей) от электрического удара обеспечивают согласно либо пункту 5.3.2.2.2, либо пункту 5.3.2.2.3.

5.3.2.2.1 Отсутствие высокого напряжения

Значения напряжения Vb, V1 и V2 высоковольтных шин в течение 60 с после удара должны составлять не более 30 В при переменном токе или 60 В при постоянном токе, как указано в пункте 6.3.5 и в пункте 6.3.5.2.2.

5.3.2.2.2 Сопротивление изоляции

Должно быть обеспечено соблюдение критериев, указанных в пунктах 5.3.2.2.2.1 и 5.3.2.2.2.2 ниже.

Измерения проводят в соответствии с подпунктом 6.3.5.2.3 пункта 6.3.5.

5.3.2.2.2.1 Электрический привод, содержащий отдельные электрические шины постоянного и переменного тока

Если высоковольтные шины переменного тока и высоковольтные шины постоянного тока кондуктивно изолированы друг от друга, то сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электри-

ческим шасси (Ri определено в пункте 6.3.5.2.3) должно иметь минимальное значение 100 Ом/В рабочего напряжения для шин постоянного тока и минимальное значение 500 Ом/В рабочего напряжения для шин переменного тока.

5.3.2.2.2.2 Электрический привод, содержащий комбинированные электрические шины постоянного и переменного тока

Если высоковольтные шины переменного тока и высоковольтные шины постоянного тока кондуктивно соединены друг с другом, то они должны отвечать одному из следующих требований:

a) сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси (Ri определено в пункте 6.3.5.2.3) должно иметь минимальное значение 500 Ом/В рабочего напряжения;

b) сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси (Ri определено в пункте 6.3.5.2.3) должно иметь минимальное значение 100 Ом/В рабочего напряжения, а электрическая шина переменного тока отвечает требованиям в отношении физической защиты, оговоренной в пункте 5.3.2.2.3;

c) сопротивление изоляции между высоковольтной шиной и электрическим шасси (Ri определено в пункте 6.3.5.2.3) должно иметь минимальное значение 100 Ом/В рабочего напряжения, а электрическая шина переменного тока отвечает требованиям в отношении отсутствия высокого напряжения, оговоренного в пункте 5.3.2.2.1.

5.3.2.2.3 Физическая защита

Отдельные Договаривающиеся стороны могут отдавать предпочтение физической защите. Для защиты от прямого контакта с частями, находящимися под высоким напряжением, обеспечивают степень защиты IPXXB.

Кроме того, для защиты от электрического удара в результате непрямого контакта необходимо обеспечить, чтобы сопротивление между всеми незащищенными токопроводящими частями и электрическим шасси при силе тока не менее 0,2 А было ниже 0,1 Ом.

Это требование считается соблюденным, если гальваническое соединение выполнено методом сварки. При возникновении сомнений проводят измерение.

5.3.2.3 Разлив электролита

В течение 30 минут после столкновения не должно иметь место никакой утечки электролита из ПЭАС в пассажирском салоне, а утечка электролита из ПЭАС за пределами салона должна составлять не более 7%.

Изготовитель должен доказать соответствие этому требованию согласно пункту 6.3.5.2.6.

5.3.2.4 Удержание ПЭАС

ПЭАС, находящиеся в пассажирском салоне, должны оставаться в том месте, где они установлены, а компоненты ПЭАС должны находиться в пределах ПЭАС.

Ни одна из частей любой ПЭАС, установленной за пределами пассажирского салона для оценки электробезопасности, не должна попадать в салон в ходе или после испытания на удар.

Изготовитель должен доказать соответствие этому требованию согласно пункту 6.3.5.2.7.

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 систему хранения водорода устанавливают контрольно-измерительные приборы для проведения требуемых измерений давления и температуры, если стандартное приборное оснащение транспортного средства не обеспечивает предписанной точности измерения.

Затем систему хранения при необходимости продувают воздухом с соблюдением указаний изготовителя для удаления из резервуара возможных примесей перед ее заполнением 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_{target} = НРД x (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 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 определен-

ный временно́й 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 временно́й 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:

$\Delta t = V_{CHSS}$ x НРД/1 000 x ((-0,027 x НРД + 4) x R_s – 0,21) -1,7 x R_s,

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

Первичная масса водорода в системе хранения может быть рассчитана следующим образом:

$P_o' = P_o$ x 288/(273 + T_0),

$\rho_o' = -0{,}0027 \times (P_0')^2 + 0{,}75 \times P_0' + 0{,}5789$,

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

Соответственно, конечная масса водорода в системе хранения, M_f, в конце временно́го интервала Δt может быть рассчитана следующим образом:

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

$\rho_f' = -0{,}0027 \times (P_f')^2 + 0{,}75 \times P_f' + 0{,}5789$,

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

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

Средний расход водорода (который не должен превышать критерия, указанного в пункте 5.2.2.1) за определенный временно́й интервал составляет, соответственно,

$V_{H2} = (M_f - M_o)/\Delta t$ x 22,41/2,016 x (P_{target} /P_o),

где: V_{H2} – 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 (ºC), измеряют непосредственно перед ударом, а затем через определенный временно́й интервал после удара. Отсчет интервала времени Δt продолжительностью не менее 60 минут начинают после того, как транспортное средство полностью остановится после удара.

При необходимости временно́й 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:

$\Delta t = V_{CHSS}$ x НРД/1 000 x ((-0,028 x НРД + 5,5) x R_s – 0,3) – 2,6 x R_s,

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

Первичную массу водорода в системе хранения рассчитывают следующим образом:

$P_o' = P_o$ x 288/(273 + T_0),

$\rho_o' = -0{,}0043 \times (P_0')^2 + 1{,}53 \times P_0' + 1{,}49$,

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

Конечную массу водорода в системе хранения в конце временно́го интервала Δt рассчитывают следующим образом:

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

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

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

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

Средний расход гелия за определенный временно́й интервал составляет, соответственно,

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

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:

$V_{H2} = V_{He}/0{,}75$,

где: V_{H2} – соответствующий средний объемный расход водорода (который не должен выходить за рамки критерия, указанного в пункте 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 ±5% при заданных предельных уровнях объемной концентрации в воздухе, составляющих 4% для водорода или 3% 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, багажном и грузовом отделениях 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 и грузового отделений транспортного средства, которые непосредственно не подвергаются 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, багажном и грузовом отделениях 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 (временна́я 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 3 ± 1,0% для водорода или 2,25 ± 0,75% для гелия.

6.1.3 Испытание на соответствие предъявляемым требованиям в условиях единичного сбоя

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 2 ± 1,0% (или меньше) – для проверки работы функции предупреждения, и с концентрацией водорода 3 ± 1,0% (или меньше) – для проверки работы функции отсечки. Надлежащие уровни концентрации подбирают исходя из рекомендации изготовителя (или технических характеристик детектора).

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 с использованием в ходе испытания газовой смеси для проверки работы функции предупреждения.

c) Срабатывание основного запорного клапана подтверждают 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 фиксирования 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 легковоспламеняющиеся водородно-воздушные смеси;

6.1.3.2.1.3 до начала испытания транспортное средство проходит подготовку для удаления водорода из системы хранения при помощи функции дистанционного контроля. Количество, местоположение и производительность точек стравливания на выходе основного запорного клапана определяет изготовитель транспортного средства с учетом наихудшего из возможных сценариев утечки. 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 и в закрытых или полузакрытых 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 трех 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 снаружи транспортного средства.

6.1.4.4 Концентрацию водорода в отработавших газах измеряют непрерывно с соблюдением следующей последовательности:

a) силовую установку выключают;

b) по завершении этапа выключения силовую установку сразу же запускают;

c) по истечении одной минуты силовую установку выключают и измерения продолжают до полной остановки силового агрегата.

6.1.4.5 Время срабатывания измерительного устройства должно составлять менее 300 миллисекунд.

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 газосигнализатора 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 системы хранения компримированного водорода установленным требованиям включают следующее:

пункт 6.2.2 − Процедуры испытаний для проверки базовых эксплуатационных параметров (требования пункта 5.1.1);

пункт 6.2.3 − Процедуры испытаний на ресурс прочности (требования пункта 5.1.2);

пункт 6.2.4 − Процедуры испытаний на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (требования пункта 5.1.3);

пункт 6.2.5 − Процедуры испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании (требования пункта 5.1.4);

пункт 6.2.6 − Процедуры испытаний на износоустойчивость первичных запорных устройств (требования пункта 5.1.5)

6.2.2 Процедуры испытаний для проверки базовых эксплуатационных параметров (требования пункта 5.1.1)

6.2.2.1 Испытание на разрыв (под гидравлическим давлением)

Испытание на разрыв проводят при температуре 20 (±5) °C с использованием некоррозионной жидкости. Скорость увеличения давления не должна превышать 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

Испытание проводят в следующем порядке:

a) резервуар заполняют некоррозионной жидкостью;

b) в начале испытания резервуар и жидкость выдерживают для целей стабилизации при заданной температуре и относительной влажности; на протяжении всего испытания поддерживают заданную температуру окружающей среды, закачиваемой жидкости и оболочки резервуара. В процессе испытания температура резервуара может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды;

c) резервуар подвергают циклическому изменению давления от 2 (±1) МПа до заданного давления с частотой, не превышающей 10 циклов в минуту, в течение определенного числа циклов;

d) температуру гидравлической жидкости внутри резервуара поддерживают на заданном уровне и контролируют.

6.2.3 Процедуры испытаний на ресурс прочности (требования пункта 5.1.2)

6.2.3.1 Испытание на соответствие давлению

Систему постепенно и равномерно заполняют под давлением некоррозионной гидравлической жидкостью до достижения заданного испытательного давления и затем выдерживают в течение определенного периода времени.

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

Резервуар для хранения подвергают испытанию на сбрасывание при температуре окружающей среды без создания внутреннего давления или со снятыми клапанами. Поверхность, на которую падают резервуары, должна быть гладкой и горизонтальной и представлять собой бетонную подушку или иного рода настил, имеющий эквивалентную твердость.

a) Положение, в котором производят сбрасывание резервуара (согласно требованиям пункта 5.1.2.2), определяют следующим образом: один или несколько дополнительных резервуаров сбрасывают в каждом из положений, описанных ниже. Допускается сбрасывание во всех четырех положениях с использованием одного единственного резервуара либо до четырех резервуаров.

i) резервуар один раз сбрасывают в горизонтальном положении с высоты 1,8 м, измеренной от нижней части до поверхности, на которую он сбрасывается;

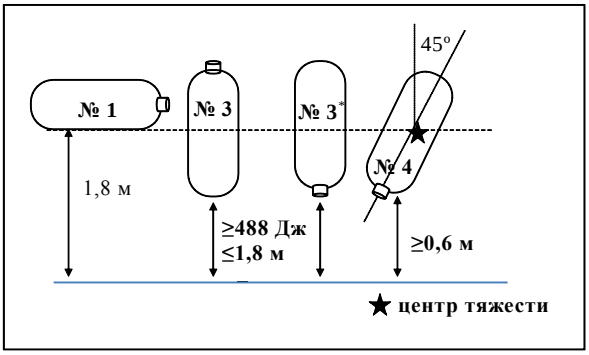
ii) резервуар один раз сбрасывают вертикально (горловиной вверх) с потенциальной энергией не менее 488 Дж, причем высота расположения нижнего конца должна быть не больше 1,8 м;

iii) резервуар один раз сбрасывают вертикально (горловиной вниз) с потенциальной энергией не менее 488 Дж, причем высота расположения нижнего конца должна быть не больше 1,8 м. В случае симметричного резервуара (с зеркальным расположением горловин) сбрасывания в этом положении не требуется;

iv) резервуар один раз сбрасывают вертикально (горловиной вниз) под углом 45° таким образом, чтобы высота его центра тяжести от земли составляла 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 1,8 м от земли.

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

Рис. 5
Положения, в которых производят сбрасывание



Предпринимать попыток избежать отскакивания резервуаров не нужно, однако при проведении испытания на вертикальное сбрасывание согласно подпункту b) выше могут приниматься меры во избежание опрокидывания.

Если сбрасывание во всех трех положениях производят с использованием нескольких резервуаров, то затем эти резервуары подвергают испытанию на циклическое изменение давления в соответствии с пунктом 6.2.2.2 либо до появления утечки, либо до прохождения 22 000 циклов без утечки. Резервуар не должен давать утечки в течение определенного числа циклов (5 500, 7 500 или 11 000).

Положение, в котором производят сбрасывание резервуара согласно требованиям пункта 5.1.2.2, выбирают следующим образом:

a) если сбрасыванию во всех четырех положениях был подвергнут один единственный резервуар, то тогда этот резервуар, сбрасывание которого производят согласно требованиям пункта 5.1.2.2, сбрасывают во всех четырех положениях;

b) если сбрасывание в четырех положениях производят с использованием нескольких резервуаров и если все резервуары выдерживают 22 000 циклов без утечки, то тогда положение, в котором сбрасывают резервуар согласно требованиям пункта 5.1.2.2, соответствует положению iv) под углом 45°, после чего этот резервуар подвергают дальнейшим испытаниям, указанным в пункте 5.1.2;

c) если сбрасывание в четырех положениях производят с использованием нескольких резервуаров и если какой-либо из резервуаров не выдерживает 22 000 циклов без утечки, то тогда новый резервуар испытывают на сбрасывание в определенном(ых) положении(ях), которое(ые) соответствует(ют) наименьшему числу циклов без утечки, и после этого подвергают дальнейшим испытаниям, указанным в пункте 5.1.2.

6.2.3.3 Испытание на повреждение поверхности (порожнего резервуара)

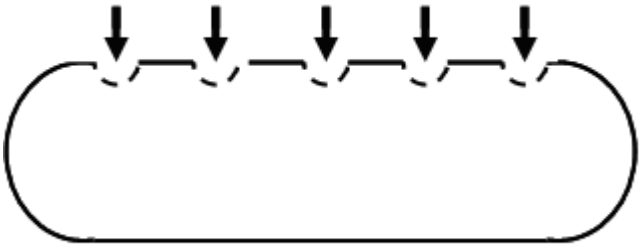
Испытание проводят в следующей последовательности:

a) имитация растрескивания поверхности: на днище внешнего корпуса порожнего резервуара для хранения, находящегося

в горизонтальном положении, вдоль цилиндрической части, прилегающей к "плечевой зоне", но не заступая в нее, при помощи ножовки наносят две продольные насечки. Первая насечка глубиной не менее 1,25 мм и длиной 25 мм проходит в направлении клапанной группы резервуара. Вторая насечка глубиной не менее 0,75 мм и длиной 200 мм проходит в направлении, противоположном клапанной группе резервуара;

b) удар маятником: верхнюю часть резервуара для хранения, расположенного горизонтально, подразделяют на пять отдельных зон (которые не должны накладываться друг на друга), каждая диаметром по 100 мм (см. рис. 6). После 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 резервуар удерживается в неподвижном состоянии и не должен находиться под давлением.

Рис. 6
Вид баллона сбоку



Вид баллона "сбоку"

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

Каждый из пяти участков порожнего резервуара, прошедшего предварительное кондиционирование ударом маятника (пункт 6.4.2.5.2), 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).

Испытуемый резервуар 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.

Выдерживание резервуара − прежде чем подвергнуть его дальнейшим испытаниям – с использованием стекловолоконного тампона продолжают в течение 48 часов при поддержании в резервуаре давления, соответствующего 125% НРД (подается гидравлическим способом), и температуре 20 (±5) °C.

Резервуар подвергают циклическому изменению давления при заданных значениях давления в соответствии с пунктом 6.2.2.2 при температуре 20 (±5) °C в течение определенного числа циклов. Прокладки из стекловолокна удаляют и поверхность резервуара промывают водой; проводят заключительные 10 циклов при указанном заданном конечном давлении.

6.2.3.5 Испытание статическим давлением (гидравлическое)

Давление в системе хранения, помещенной в камеру с регулируемой температурой, повышают до заданного значения. Температуру в камере и температуру некоррозионной гидравлической жидкости поддерживают на заданном уровне с отклонением ±5 °C в течение определенного периода времени.

6.2.4 Процедуры испытаний на ожидаемую эффективность в дорожных условиях (пункт 5.1.3)

(Предусматриваются процедуры пневматических испытаний; параметры проведения гидравлических испытаний приводятся в пункте 6.3.2)

6.2.4.1 Испытание (пневматическое) на циклическое изменение давления газа

В начале испытания систему хранения выдерживают для целей стабилизации при заданных значениях температуры, относительной влажности и уровня наполнения топливом в течение не менее 24 часов. Температуру и относительную влажность окружающей среды поддерживают на протяжении всей оставшейся части испытания на заданном уровне. (Если это требуется техническим заданием на испытание, то между циклами изменения давления температуру системы стабилизируют при температуре наружного воздуха.) Систему хранения подвергают циклическому изменению давления от менее чем 2 (+**0**/−1) МПа до указанного максимального давления (±1 МПа). 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. Наполняемость регулируют с учетом посто-

янного 3-минутного перепада порогового давления, причем скорость подачи топлива не должна превышать 60 г/с; температуру поступающего в резервуар водородного топлива поддерживают на заданном уровне. Однако перепад порогового давления следует уменьшить, если температура газа в контейнере превышает +85 °C. Степень опорожнения регулируют таким образом, чтобы она была больше предполагаемой максимальной потребности транспортного средства в топливе или равнялась ей. Проводят установленное число циклов изменения давления. Если для целей намечаемого способа применения транспортное средство оборудуют регулирующими и/или контрольными устройствами, предупреждающими возникновение внутри системы экстремальных температур, то испытание может проводиться при наличии таких устройств (или эквивалентных функций).

6.2.4.2 Испытание на просачивание газа (пневматическое)

Систему хранения полностью заполняют газообразным водородом при 115% НРД (максимальная плотность наполнения, равная 100% НРД при температуре +15 °C, составляет 113% НРД при температуре +55 °C) и выдерживают при температуре ≥ +55 °C в герметизированном контейнере до просачивания в установившемся состоянии или в течение 30 часов, в зависимости от того, какое время является более длительным. Измеряют суммарный расход в установившемся состоянии в результате утечки и просачивания.

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 соблюдением 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 лица, проводящего испытание, 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) *Примечание*: При локальной скорости просачивания 0,005 мг/с (3,6 Нмл/мин) результирующая допустимая скорость образования пузырьков составляет примерно 2 030 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 испытания на окончательный выход системы из строя при возгорании (пункт 5.1.4)

6.2.5.1 Испытание на огнестойкость

Водородный резервуар в сборе состоит из системы хранения компримированного водорода и соответствующих дополнительных компонентов, включая систему стравливания (например, продувочная магистраль и ее кожух) и любые защитные приспособления, прикрепленные непосредственно к резервуару (например, термообмотка резервуара(ов) и/или кожухи/изоляционные покрытия УСДТ).

Для определения схемы размещения системы над первичным (локальным) источником огня используют один из следующих двух методов.

6.2.5.1.1 Метод 1: квалификационные требования в отношении общей (конкретно не оговоренной) комплектации транспортного средства

Если комплектация транспортного средства конкретно не оговорена (и квалификационные требования к системе не ограничиваются конкретной комплектацией транспортного средства), то в этом случае зоной локального воздействия огня является участок на испытательном образце, наиболее удаленный от УСДТ. Как указано выше, к числу испытательных образцов относятся только средства теплозащиты или другие защитные устройства, прикрепленные непосредственно к резервуару, которые используются вне зависимости от способа применения транспортного средства. Система(ы) стравливания (например, продувочная магистраль и ее кожух) и/или кожухи/изоляционные покрытия УСДТ составляют часть резервуара в сборе, если их использование предусматривается при любом способе применения. В том случае, когда систему испытывают без типичных элементов оборудования, требуется проведение повторного испытания данной системы, если способ применения транспортного средства предполагает использование компонентов указанного типа.

6.2.5.1.2 Метод 2: квалификационные требования в отношении конкретной комплектации транспортного средства

Если комплектация транспортного средства конкретно оговорена и квалификационные требования к системе ограничиваются конкретной комплектацией транспортного средства, то в этом случае схемой испытания могут также охватываться другие элементы оборудования транспортного средства, помимо системы хранения водорода. Такие компоненты транспортного средства (например, защитные приспособления или изоляционные покрытия, прочно приделанные к конструкции транспортного средства методом сварки или болтами, но не прикрепленные к системе хранения) включают в схему испытания применительно к комплектации транспортного средства с системой хранения водорода. Данное локальное испытание на огнестойкость проводят с учетом наихудшего из возможных сценариев возгорания исходя из четырех направлений распространения пламени: источник возгорания, от которого распространяется пламя, находится в пассажирском салоне, грузовом/багажном отделении либо им является пролившийся бензин.

Резервуар может подвергаться воздействию охватывающего пламени при отсутствии каких-либо защитных элементов согласно процедуре, описанной в пункте 6.2.5.2.

Вне зависимости от используемого метода (1 или 2 выше), к испытанию предъявляют нижеследующие требования.

a) Резервуар в сборе заполняют компримированным водородом при 100% НРД. Резервуар в сборе располагают горизонтально приблизительно на высоте 100 мм над источником огня. (Примечание: как указано в пункте 5.1.4, Договаривающиеся стороны Соглашения 1998 года могут в качестве альтернативного испытательного газа использовать сжатый воздух для целей сертификации резервуара, предназначенного для эксплуатации в своей стране или регионе.)

Испытание на огнестойкость (в зоне локального воздействия огня)

b) Зоной локального воздействия огня является участок на испытательном образце, наиболее удаленный от УСДТ. Если выбирают метод 2 и намечают, применительно к конкретной комплектации транспортного средства, наиболее уязвимые участки, то соответствующий участок, расположенный дальше всего от УСДТ, размещают непосредственно над первичным источником огня.

c) Источник огня представляет собой газовые горелки (СНГ) в такой конфигурации, чтобы давать ровное пламя и воздействовать на испытательный образец с минимальной температурой, измеряемой как минимум пятью термопарами по всей длине испытательного образца максимум до 1,65 м (по крайней мере две термопары – в зоне локального воздействия огня и по крайней мере три термопары, равноотстоящие друг от друга на расстоянии не более 0,5 м, – в остальной зоне), размещенными на расстоянии 25 мм ± 10 мм от внешней поверхности испытательного образца вдоль его продольной оси. По усмотрению изготовителя или органа, проводящего испытание, для целей факультативной диагностики в местах установки УСДТ или любых других точках допускается размещение дополнительных термопар.

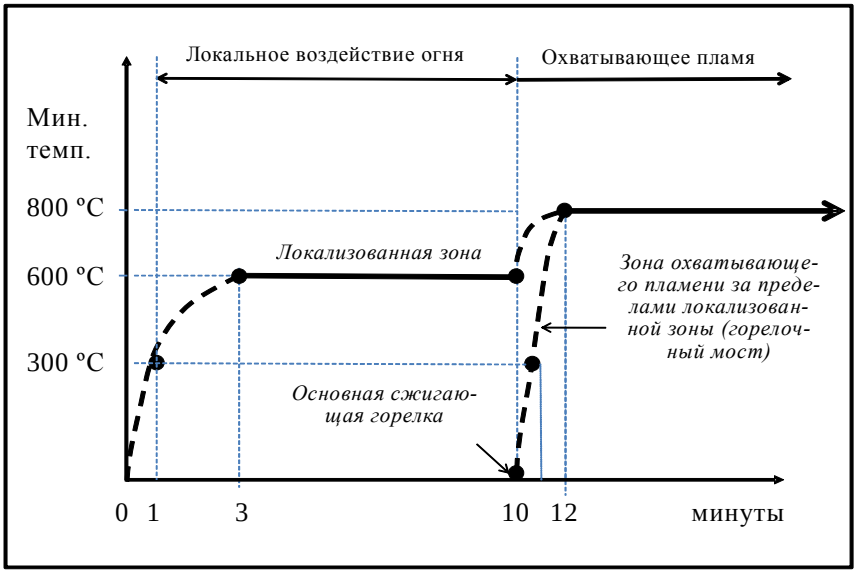
d) Для обеспечения равномерного нагревания применяют ветрозащитные экраны.

e) Источник огня, расположенный под зоной локального воздействия испытываемого образца и имеющий по фронту длину в пределах 250 мм ± 50 мм, приводят в действие. По ширине пламя от источника огня должно охватывать весь диаметр (всю ширину) резервуара для хранения. Если выбирают метод 2, то длину и ширину зоны пламени при необходимости уменьшают с учетом конкретных особенностей транспортного средства.

f) Как показано на рис. 7, температуру, которой подвергаются термопары в зоне локального воздействия огня, постепенно увеличивают в течение 1 минуты после зажигания огня не менее чем до 300 °C, в течение 3 минут после зажигания огня не менее чем до 600 °C и затем в течение следующих 7 минут поддерживают как минимум на уровне 600 °C. На протяжении этого периода температура в зоне локального воздействия огня не должна превышать 900 °C. Проверку соблюде-

ния тепловых требований начинают через 1 минуту после наступления периода, характеризующегося минимальным и максимальным предельными значениями, причем за основу берут 1-минутное скользящее среднее по каждой термопаре на данном рассматриваемом участке. (Примечание: температура вне зоны воздействия первичным источником огня в течение этих первых 10 минут после зажигания огня не оговорена.)

Рис. 7
Температурные условия в ходе испытания на огнестойкость



Испытание на огнестойкость (под воздействием охватывающего пламени)

На следующем двухминутном отрезке температуру вдоль всей поверхности испытательного образца увеличивают не менее чем до 800 °C и фронт огня удлиняют для обеспечения равномерного нагревания по всей длине (до 1,65 м) и по всей ширине испытательного образца (охватывающее пламя). Минимальную температуру поддерживают на уровне 800 °C, притом что максимальная температура не должна превышать 1 100 °C. Проверку соблюдения тепловых требований начинают через 1 минуту после наступления периода, характеризующегося стабильными минимальным и максимальным предельными значениями, причем за основу берут одноминутное скользящее среднее по каждой термопаре.

Испытательный образец выдерживают под воздействием температуры (в условиях охватывающего пламени) до опорожнения системы через УСДТ и падения давления до уровня, составляющего менее 1 МПа. Стравливание газа происходит постепенно (и непрерывно), причем система хранения не должна давать разрыва. Любое дополнительное газовыделение вследствие утечки (кроме стравливания через УСДТ) с образованием языка пламени длиной более 0,5 м вне периметра воздействия огня не допускается.

Таблица 2.
Резюме протокола испытания на огнестойкость

	Локальное воздействие огня	*Длительность*	*Воздействие охватывающего пламени (за пределами локального воздействия огня)*
Воздействие	Сжигающие горелки	0–1 минута	Горелка не функционирует
Минимальная температура	Не указана		Не указана
Максимальная температура	Менее 900 °C		Не указана
Воздействие	Повышение температуры и стабилизация пламени для начала локального воздействия огнем	1–3 минуты	Горелка не функционирует
Минимальная температура	Свыше 300 °C		Не указана
Максимальная температура	Менее 900 °C		Не указана
Воздействие	Продолжение локального воздействия огнем	3–10 минут	Горелка не функционирует
Минимальная температура	Одноминутное скользящее среднее свыше 600 °C		Не указана
Максимальная температура	Одноминутное скользящее среднее менее 900 °C		Не указана
Воздействие	Повышение температуры	10–11 минут	Основная горелка зажигается при значении 10 м
Минимальная температура	Одноминутное скользящее среднее свыше 600 °C		Не указана
Максимальная температура	Одноминутное скользящее среднее менее 1 100 °C		Менее 1 100 °C
Воздействие	Повышение температуры и стабилизация огня для начала воздействия охватывающим пламенем	11–12 минут	Повышение температуры и стабилизация огня для начала воздействия охватывающим пламенем

	Локальное воздействие огня	*Длительность*	*Воздействие охватывающего пламени (за пределами локального воздействия огня)*
Минимальная температура	Одноминутное скользящее среднее свыше 600 °C		Свыше 300 °C
Максимальная температура	Одноминутное скользящее среднее менее 1 100 °C		Менее 1 100 °C
Воздействие	Продолжение воздействия охватывающим пламенем	12 минут – конец испытания	Продолжение воздействия охватывающим пламенем
Минимальная температура	Одноминутное скользящее среднее свыше 800 °C		Одноминутное скользящее среднее свыше 800 °C
Максимальная температура	Одноминутное скользящее среднее менее 1 100 °C	12 минут – конец испытания	Одноминутное скользящее среднее менее 1 100 °C

Документирование результатов испытания на огнестойкость

В целях обеспечения воспроизводимости скорости нагревания испытательного образца надлежит достаточно подробно описать схему источника огня. К числу фиксируемых результатов относятся время, истекшее с момента зажигания огня до начала стравливания газа через УСДТ, а также максимальное давление и время опорожнения до падения давления до уровня, составляющего менее 1 МПа. Температуру термопар и давление в резервуаре регистрируют в ходе испытания с 10-секундными или менее продолжительными интервалами. Если произошел любой сбой, связанный с соблюдением требований в отношении поддержания заданной минимальной температуры на основе одноминутных скользящих средних значений, то результаты испытания аннулируются. Любой такой сбой приводит к аннулированию результатов испытания только в том случае, если в ходе испытания образец повреждается.

6.2.5.2 Испытание на огнестойкость только под воздействием охватывающего пламени

Объектом испытаний является система хранения компримированного водорода. Систему хранения заполняют компримированным водородом при 100% НРД. Резервуар располагают горизонтально таким образом, чтобы основание резервуара находилось приблизительно на высоте 100 мм над источником огня. Для того чтобы пламя непосредственно не касалось клапанов резервуара, фитингов и/или предохранительных устройств сброса давления, используют металлический экран. Металлический экран не должен находиться в прямом контакте с системой противопожарной защиты (предо-

хранительным устройством сброса давления или клапаном резервуара).

Источник ровного огня длиной 1,65 м должен давать прямое пламя, отражающееся от поверхности резервуара по всему его диаметру. Испытание продолжают до полного опорожнения резервуара (пока давление в резервуаре не упадет ниже 0,7 МПа (100 фунт-сила на квадратный дюйм)). Если в ходе испытания произошел любой сбой или нарушение параметров источника огня, то результаты испытания считаются недействительными.

Температура пламени контролируется как минимум тремя термопарами, размещенными в зоне пламени на расстоянии приблизительно 25 мм под основанием резервуара. Термопары могут быть встроены в стальные блоки кубической формы со стороной до 25 мм. В ходе испытания температуру термопар и давление в резервуаре регистрируют каждые 30 секунд.

В течение 5 минут после зажигания огня должна быть достигнута средняя температура пламени не менее 590 °C (определяемая по среднему значению максимальных показаний двух термопар, зарегистрированных за интервал, равный 60 секундам), которую поддерживают в течение всего испытания.

Если длина резервуара составляет менее 1,65 м, то центр резервуара должен располагаться над центром источника огня. В случае резервуара длиной более 1,65 м, если он оборудован на одном конце предохранительным устройством сброса давления, действие источника огня начинают с противоположной стороны резервуара. В случае резервуара длиной более 1,65 м, если он оборудован предохранительными устройствами с обоих концов или более чем в одном месте по длине резервуара, центр источника огня должен приходиться на середину расстояния между предохранительными устройствами сброса давления, наиболее далеко отстоящими друг от друга по горизонтали.

Содержимое резервуара должно выходить через предохранительное устройство для сброса давления, причем разрыв резервуара не допускается.

6.2.6 Процедуры испытаний на износоустойчивость первичных запорных устройств (требования пункта 5.1.5)

6.2.6.1 Квалификационные испытания на эффективность УСДТ системы хранения компримированного водорода

Испытания проводят с использованием газообразного водорода, качество которого должно соответствовать стандарту ISO 14687-2/SAE J2719. Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды 20 (±5) °C. Предусматриваются нижеследующие квалификационные испытания УСДТ на эффективность.

6.2.6.1.1 Испытание на циклическое изменение давления

Пять блоков УСДТ подвергают 11 000 циклам изменения внутреннего давления с использованием газообразного водорода, качество которого должно соответствовать стандарту ISO 14687–

2/SAE J2719. При первых пяти циклах давление изменяют от 2 (±1) МПа до 150% НРД (±1 МПа); при последующих циклах − от 2 (±1) МПа до 125% НРД (±1 МПа). Первые 1 500 циклов изменения давления проводят при температуре УСДТ, равной 85 °C или выше. Остальные циклы проводят при температуре УСДТ, равной 55 (±5) °C. Максимальная частота изменения циклов давления составляет 10 циклов в минуту. После данного испытания предохранительное устройство сброса давления должно соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10) и стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9).

6.2.6.1.2 Ускоренное испытание на долговечность

Испытанию подвергают восемь блоков УСДТ; три − при указанной изготовителем температуре активации, Tact, и пять − при температуре ускоренной активации, Tlife = 9,1 x Tact 0,503. УСДТ помещают в печь или жидкую ванну с температурой, поддерживаемой на постоянном уровне (±1 °C). Давление газообразного водорода на входе УСДТ составляет 125% НРД (±1 МПа). 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 снабжается контрольным клапаном для предотвращения снижения давления в системе в случае выхода из строя какого-либо образца. Активация трех УСДТ, испытываемых при Tact, должна происходить менее чем через 10 часов. Активация пяти УСДТ, испытываемых при Tlife, должна происходить не менее чем через 500 часов.

6.2.6.1.3 Испытание на циклическое воздействие температуры

a) УСДТ не под давлением помещают в жидкую ванну с температурой −40 °C или ниже и выдерживают в течение по крайней мере двух часов. Затем с интервалом в пять минут УСДТ переносят в жидкую ванну с температурой 85 °C или выше 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 °C или ниже.

b) Цикл изменения температуры по этапу a) повторяют 15 раз.

c) УСДТ, прошедшее кондиционирование в течение минимум двух часов в жидкой ванне с температурой −40 °C или ниже, подвергают (с использованием газообразного водорода) циклическому изменению внутреннего давления от 2 МПа (+1/−0 МПа) до 80% НРД (+2/−0 МПа) в течение 100 циклов при поддержании температуры жидкой ванны на уровне −40 °C или ниже.

d) После прохождения циклов изменения температуры и давления предохранительное устройство сброса давления должно соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытаний на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), за тем исключением, что испытания на герметичность проводят при тем-

пературе −40 °C (+5/−0 °C). 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

Испытанию подвергают два блока УСДТ. Любые нестационарные выходные заглушки снимают. Каждый блок УСДТ устанавливают на испытательную арматуру с соблюдением рекомендуемой изготовителем процедуры таким образом, чтобы имитировать реальные условия воздействия внешних факторов. Каждый блок выдерживают в течение 500 часов в солевом растворе (тумане), как указано в стандарте ASTM B117 (Стандартная практика проведения испытания методом разбрызгивания солевого раствора (тумана)), причем при испытании одного образца значение pH солевого раствора корректируют до 4,0 ± 0,2 посредством добавления серной и азотной кислоты в соотношении 2:1, а при испытании другого образца значение pH солевого раствора корректируют до 10,0 ± 0,2 посредством добавления гидроксида натрия. Температуру во влажной камере поддерживают на уровне 30−35 °C.

После этих испытаний каждое предохранительное устройство сброса давления должно соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10) и стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9).

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 20 (±5) °C подвергают воздействию каждой из следующих жидкостей:

   i) серная кислота: 19-процентный водный раствор по объему;

   ii) гидроксид натрия: 25-процентный водный раствор по весу;

   iii) нитрат аммония: 28-процентный водный раствор по весу; и

   iv) 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 каждой жидкостью элемент оборудования протирают и промывают водой.

c) На элементе оборудования 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 блок(и) должен (должны) отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), испытанию на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10) и стендовому испытанию на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9).

6.2.6.1.6 Испытание на коррозионное растрескивание

В случае УСДТ, содержащих компоненты, изготовленные из сплава на основе меди (например, латуни), испытанию подвергают один блок УСДТ. Все компоненты, изготовленные из сплава на основе меди и подвергающиеся атмосферному воздействию, обезжиривают, а затем выдерживают в течение 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 сплава на основе меди, не должно образовываться трещин или появляться расслоений.

6.2.6.1.7 Испытание на сбрасывание и виброустойчивость

a) Шесть блоков УСДТ при температуре окружающей среды (20 ± 5 °C) сбрасывают с высоты 2 м на гладкую бетонную поверхность. Допускается отскакивание образца от бетонной поверхности после первоначального удара. Один блок сбрасывают в шести положениях (противоположные направления трех ортогональных осей: вертикальная, поперечная и продольная). Если ни на одном из подвергнутых сбрасыванию образцов не имеется видимых внешних повреждений, указывающих на эксплуатационную непригодность данной детали, то переходят к этапу b).

b) Каждый из шести блоков УСДТ, подвергнутых сбрасыванию на этапе a), 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 в течение 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 испытания ни на одном из образцов не должно иметься видимых внешних повреждений, указывающих на эксплуатационную непригодность данной детали. После этих испытаний элемент оборудования должен соответствовать требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность (пункт 6.2.6.1.8), испытания на проверку расхода (пункт 6.2.6.1.10) и стендового испытания на срабатывание (пункт 6.2.6.1.9).

6.2.6.1.8 Испытание на герметичность

УСДТ, которое не подвергалось предыдущим испытаниям, испытывают при температуре окружающей среды, высоких и низких температурах без использования других испытаний на проверку соответствия конструкции установленным требованиям. На него подают испытательное давление и до испытания его выдерживают в течение одного часа при каждой температуре. Используют следующие три испытательных температурных режима:

a) температура окружающей среды: блок кондиционируют при 20 (±5) °C; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 150% НРД (+2/−0 МПа);

b) высокая температура: блок кондиционируют при не менее 85 °C; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 150% НРД (+2/−0 МПа);

c) низкая температура: блок кондиционируют при температуре не выше −40 °C; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 100% НРД (+2/−0 МПа).

Дополнительные блоки подвергают испытанию на герметичность, как это указано применительно к другим испытаниям по пункту 6.2.6.1, с непрерывным воздействием на них температурами, предписанными для данных испытаний.

Блок подвергают кондиционированию при всех указанных температурах в течение одной минуты посредством погружения 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 (с использованием соответствующего метода) 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 два новых блока УСДТ испытывают, не подвергая их другим испытаниям на проверку соответствия конструкции установленным требованиям. Дополнительные блоки, предварительно испытанные (в соответствии с пунктами 6.2.6.1.1, 6.2.6.1.3, 6.2.6.1.4, 6.2.6.1.5 или 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) °C. 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 двух минут поддерживают в пределах приемлемого диапазона значений.

c) Блок УСДТ под давлением помещают в печь или горн и регистрируют время активации устройства. Перед этим на один новый (предварительно не подвергавшийся испытаниям) блок УСДТ подают давление не более 25% НРД; на блоки УСДТ (предварительно испытанные) подают давление не более 25% НРД; и на один новый (предварительно не подвергавшийся испытаниям) блок УСДТ подают давление, соответствующее 100% НРД.

d) Блоки УСДТ, предварительно подвергнутые другим испытаниям по пункту 6.2.6.1, должны срабатывать не позже чем через две минуты по сравнению с базовым временем срабатывания нового блока УСДТ, на который было подано давление, составляющее до 25% НРД.

e) Разница между временем срабатывания двух 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, уже 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 с использованием водорода, воздуха или инертного газа.

c) Испытание на проверку расхода проводят при давлении на входе, составляющем 2 (±0,5) МПа. Давление на выходе равняется атмосферному. Регистрируют температуру и давление на входе.

d) Расход измеряют с точностью ±2%. Наименьшее измеренное значение по восьми предохранительным устройствам сброса давления должно составлять не менее 90% наибольшего значения расхода.

6.2.6.2 Квалификационные испытания на эффективность контрольного клапана и запорного клапана системы хранения компримированного водорода.

Испытания проводят с использованием газообразного водорода, качество которого должно соответствовать стандарту ISO 14687-2/SAE J2719. Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды 20 (±5) °C. Предусматриваются нижеследующие квалификационные испытания контрольного клапана и запорного клапана на эффективность.

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 трех минут подают гидростатическое давление, соответствующее 250% НРД (+2/−0 МПа). Элемент оборудования осматривают, с тем чтобы удостовериться в отсутствии разрыва.

b) Затем подаваемое гидростатическое давление увеличивают со скоростью не более 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 не менее 80% базового разрушающего давления, если только гидростатическое давление не превышает 400% НРД.

6.2.6.2.2 Испытание на герметичность

Один блок, который не подвергался предыдущим испытаниям, испытывают при температуре окружающей среды и при высокой и низкой температурах, не подвергая его другим испытаниям на проверку соответствия конструкции установленным требованиям. Используют следующие три испытательных температурных режима:

a) температура окружающей среды: блок подвергают кондиционированию при температуре 20 (±5) °C; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 150% НРД (+2/−0 МПа);

b) высокая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре 85 °C или выше; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 150% НРД (+2/−0 МПа);

c) низкая температура: блок подвергают кондиционированию при температуре −40 °C или ниже; испытание проводят при 5% НРД (+0/−2 МПа) и 100% НРД (+2/−0 МПа).

Дополнительные блоки подвергают испытанию на герметичность, как это указано применительно к другим испытаниям по пунк-

ту 6.2.6.2, с непрерывным воздействием на них температурами, предписанными для этих испытаний.

Выпускное отверстие закрывают соответствующей плотной заглушкой и на вход подают водород под давлением. Блок подвергают кондиционированию при всех указанных испытательных температурах в течение одной минуты посредством погружения 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 с использованием соответствующего метода. Скорость утечки водорода не должна превышать 10 Нмл/ч.

6.2.6.2.3 Испытание на циклическое изменение давления при экстремальных температурах

a) Общее число рабочих циклов составляет 11 000 для контрольного клапана и 50 000 для запорного клапана. Клапанный блок устанавливают на испытательную арматуру в соответствии с указаниями изготовителя. С использованием газообразного водорода клапан приводят в действие и эту операцию непрерывно повторяют при всех заданных значениях давления.

Рабочий цикл предусматривает следующее:

i) контрольный клапан подсоединяют к испытательной арматуре и шестью импульсами подают на вход клапана давление 100% НРД (+2/−0 МПа) при закрытом выходном отверстии. Затем давление на входе клапана стравливают. Перед началом следующего цикла давление на выходе контрольного клапана снижают до менее 60% НРД;

ii) запорный клапан подсоединяют к испытательной арматуре и непрерывно подают давление как на вход, так и на выход.

Рабочий цикл состоит из одной полной последовательности приведения в действие и возврата в исходное положение.

b) Испытание проводят на блоке, прошедшем стабилизацию при следующих температурах:

i) циклическое изменение давления при температуре окружающей среды. Блок, прошедший стабилизацию при температуре 20 (±5) °C, подвергают рабочим циклам (открытия/закрытия) при 125% НРД (+2/−0 МПа) в течение 90% общего числа циклов. По завершении рабочих циклов при температуре окружающей среды блок должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность при температуре окружающей среды, указанному в пункте 6.2.6.2.2;

ii) циклическое изменение давления при высокой температуре. Затем блок, прошедший стабилизацию при температуре 85 °C или выше, подвергают рабочим

циклам при 125% НРД (+2/−0 МПа) в течение 5% общего числа рабочих циклов. По завершении рабочих циклов при температуре 85 °C блок должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность при высокой (85 °C) температуре, указанному в пункте 6.2.6.2.2;

iii) циклическое изменение давления при низкой температуре. Затем блок, прошедший стабилизацию при температуре −40 °C или ниже, подвергают рабочим циклам при 100% НРД (+2/−0 МПа) в течение 5% общего числа циклов. По завершении рабочих циклов при температуре −40 °C блок должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность при низкой (−40 °C) температуре, указанному в пункте 6.2.6.2.2.

c) Испытание контрольного клапана на биение. После прохождения 11 000 рабочих циклов и испытаний на герметичность, упомянутых в пункте 6.2.6.2.3 b), контрольный клапан 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 при температуре окружающей среды (пункт 6.2.6.2.2) и испытанию на прочность (пункт 6.2.6.2.1).

6.2.6.2.4 Испытание на стойкость к солевой коррозии

Элемент оборудования закрепляют в положении его обычной установки и выдерживают в течение 500 часов в солевом растворе (тумане), как указано в стандарте ASTM B117 (Стандартная практика проведения испытания методом разбрызгивания солевого раствора (тумана)). Температуру во влажной камере поддерживают на уровне 30–35 °C. Солевой раствор состоит из 5% по весу хлористого натрия и 95% по весу дистиллированной воды.

Сразу же после испытания на коррозионную стойкость образец промывают, осторожно очищают от отложений соли и осматривают на предмет деформации. После этого он должен отвечать следующим требованиям:

a) 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;

b) требованиям, предъявляемым в отношении испытания на герметичность при температуре окружающей среды (пункт 6.2.6.2.2);

c) требованиям в отношении гидростатического испытания 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 24 часов и при температуре 20 (±5) °C подвергают воздействию каждой из следующих жидкостей:

   i) серная кислота: 19-процентный водный раствор по объему;

   ii) гидроксид натрия: 25-процентный водный раствор по весу;

   iii) нитрат аммония: 28-процентный водный раствор по весу; и

   iv) 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 при температуре окружающей среды (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 автоматических 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 96 часов кислородом при температуре 70 °C и давлении 2 МПа в соответствии со стандартом ASTM D572 (Стандартный метод испы-

тания на ухудшение свойств резины под воздействием тепла и кислорода).

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, ASTM D1149 либо с использованием эквивалентных методов.

6.2.6.2.7 Электрические испытания

Электрические испытания проводят для цели проверки соответствия автоматических 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 1 часа поддерживают равновесное состояние (температура в установившемся режиме) при полуторакратном номинальном напряжении;

ii) подаваемое напряжение увеличивают до двукратного номинального напряжения или 60 Вольт в зависимости от того, какое значение меньше, и сохраняют на этом уровне в течение 1 минуты;

iii) никакой пробой не должен приводить к внешней утечке, открытию клапана или созданию таких небезопасных условий, как дым, огонь или плавление.

Минимальное напряжение открытия клапана при НРД и комнатной температуре должно составлять не более 9 В для 12-вольтной системы и не более 18 В для 24-вольтной системы.

b) Испытание на сопротивление изоляции. От силового кабеля на кожух элемента оборудования в течение минимум 2 секунд подают постоянный ток напряжением 1 000 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, с использованием водорода подают давление, соответствующее 100% его НРД (+2/−0 МПа), 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 40 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 завер-

шении 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 при температуре окружающей среды, указанному в пункте 6.2.6.2.2.

6.2.6.2.9 Испытание на коррозионное растрескивание

В случае клапанных блоков, содержащих компоненты, изготовленные из сплава на основе меди (например, латуни), испытанию подвергают один блок. Клапанный блок разбирают, все компоненты, изготовленные из сплава на основе меди, обезжиривают, а затем блок собирают вновь и выдерживают в течение 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 сплава на основе меди, не должно образовываться трещин или появляться расслоений.

6.2.6.2.10 Испытание на воздействие предварительно охлажденным водородом

Клапанный блок подвергают воздействию водорода, предварительно охлажденного до −40 ºC или ниже, подаваемого со скоростью 30 г/с при наружной температуре 20 (±5) °C в течение минимум 3 минут. С блока сбрасывают давление и после 2-минутного периода выдерживания осуществляют его повторную подкачку. Данное испытание повторяют 10 раз. Затем эту же процедуру испытания повторяют еще для десяти циклов, причем период выдерживания увеличивают до 15 минут. После этого испытания блок должен отвечать требованиям, предъявляемым к испытанию на герметичность при температуре окружающей среды, указанному в пункте 6.2.6.2.2.

6.3 Процедуры испытаний для оценки электробезопасности (пункт 5.3)

6.3.1 Метод измерения сопротивления изоляции

6.3.1.1 Общие положения

Сопротивление изоляции для каждой высоковольтной шины транспортного средства измеряют или определяют посредством расчета с использованием измеренных значений по каждой части или составному элементу высоковольтной шины (далее − "раздельное измерение").

6.3.1.2 Метод измерения

Измерение сопротивления изоляции проводят на основе использования соответствующего метода измерения, выбранного из числа методов, указанных в пунктах 6.3.1.2.1−6.3.1.2.2, в зависимости от

электрического заряда частей под напряжением или сопротивления изоляции.

Диапазон измерений в электрической цепи определяют заранее с использованием схем электрической цепи.

Кроме того, могут быть внесены изменения, необходимые для измерения сопротивления изоляции, такие как снятие защитных элементов для получения доступа к частям под напряжением, подключение проводов измерительной аппаратуры и внесение изменений в программное обеспечение.

В тех случаях, когда в связи с функционированием бортовой системы контроля за сопротивлением изоляции измеренные значения нестабильны, могут быть внесены соответствующие изменения, необходимые для проведения измерений, за счет прекращения функционирования соответствующего устройства или его снятия. Кроме того, если соответствующее устройство снято, для доказательства того, что сопротивление изоляции между частями под напряжением и электрическим шасси остается неизменным, используют комплект чертежей.

Во избежание короткого замыкания и электрического удара необходимо проявлять исключительную осторожность, поскольку для целей подтверждения может потребоваться непосредственное включение высоковольтной цепи.

6.3.1.2.1 Метод измерения с использованием источников постоянного тока, находящихся вне транспортного средства

6.3.1.2.1.1 Измерительный прибор

Используют прибор для испытания изоляции на сопротивление, способный создавать напряжение постоянного тока, превышающее рабочее напряжение высоковольтной шины.

6.3.1.2.1.2 Метод измерения

Прибор для испытания изоляции на сопротивление подключают между частями под напряжением и электрическим шасси. Затем измеряют сопротивление изоляции с подачей напряжения постоянного тока, составляющего не менее половины рабочего напряжения высоковольтной шины.

Если система имеет несколько диапазонов напряжения (например, в связи с наличием промежуточного преобразователя) в кондуктивно соединенной цепи и если некоторые компоненты не могут выдерживать рабочее напряжение всей цепи, то сопротивление изоляции между этими компонентами и электрическим шасси может измеряться отдельно посредством подачи их собственного рабочего напряжения, но при этом данные компоненты отключают.

6.3.1.2.2 Метод измерения с использованием собственной ПЭАС транспортного средства в качестве источника постоянного тока

6.3.1.2.2.1 Условия, касающиеся испытуемого транспортного средства

На высоковольтную шину подается напряжение от собственной ПЭАС и/или системы преобразования энергии транспортного средства, при этом уровень напряжения ПЭАС и/или системы преобра-

зования энергии на всем протяжении испытания должен по крайней мере соответствовать номинальному рабочему напряжению, указанному изготовителем транспортного средства.

6.3.1.2.2.2 Измерительный прибор

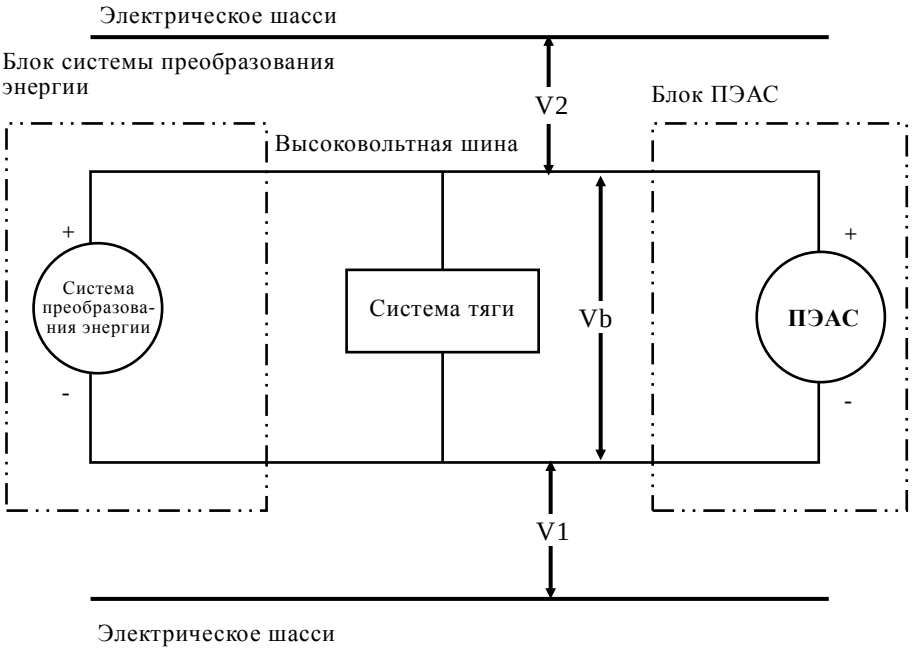
Вольтметр, используемый в ходе этого испытания, должен измерять значения постоянного тока и иметь внутреннее сопротивление, составляющее не менее 10 МОм.

6.3.1.2.2.3 Метод измерения

6.3.1.2.2.3.1 Первый этап

Проводят измерение напряжения, как показано на рис. 9, и регистрируют значение напряжения высоковольтной шины (Vb). Значение Vb должно быть не ниже номинального рабочего напряжения ПЭАС и/или системы преобразования энергии, указанного изготовителем транспортного средства.

Рис. 8
Измерение значений Vb, V1, V2



6.3.1.2.2.3.2 Второй этап

Измеряют и регистрируют напряжение (V1) между отрицательной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси (см. рис. 8).

6.3.1.2.2.3.3 Третий этап

Измеряют и регистрируют напряжение (V2) между положительной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси (см. рис. 8).

6.3.1.2.2.3.4 Четвертый этап

Если V1 больше или равно V2, то между отрицательной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси устанавливают стандартное сопротивление известной величины (Ro). После установки Ro измеряют напряжение (V1’) между отрицательной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси (см. рис. 9).

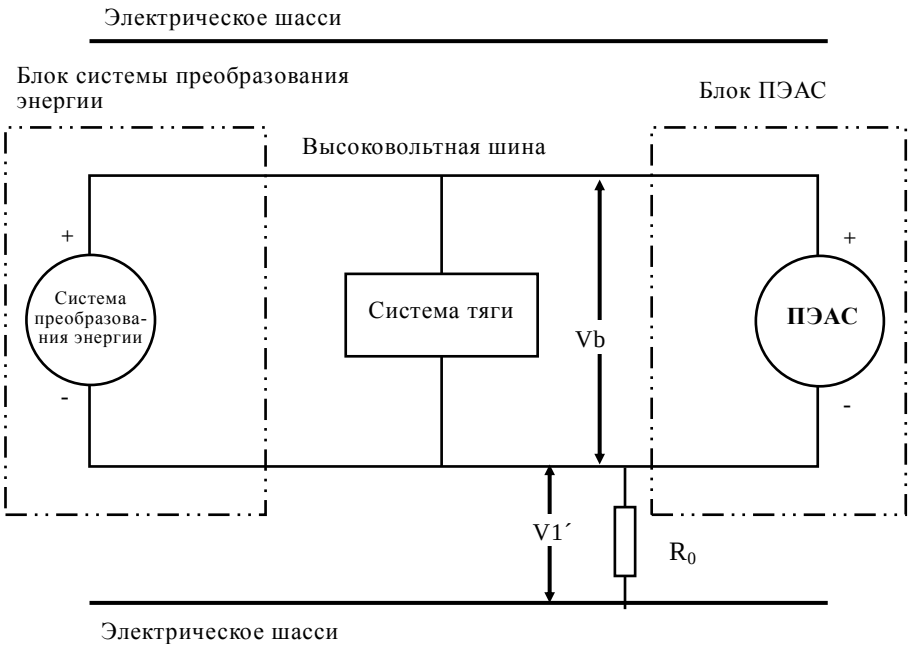
Сопротивление изоляции (Ri) рассчитывают по следующей формуле:

Ri = Ro*(Vb/V1’ – Vb/V1) или Ri = Ro*Vb*(1/V1’ – 1/V1).

Полученный результат Ri, представляющий собой значение электрического сопротивления изоляции (в Омах), делят на рабочее напряжение высоковольтной шины в вольтах (В):

Ri (Ом/В) = Ri (Ом)/рабочее напряжение (В).

Рис. 9
Измерение значения V1´



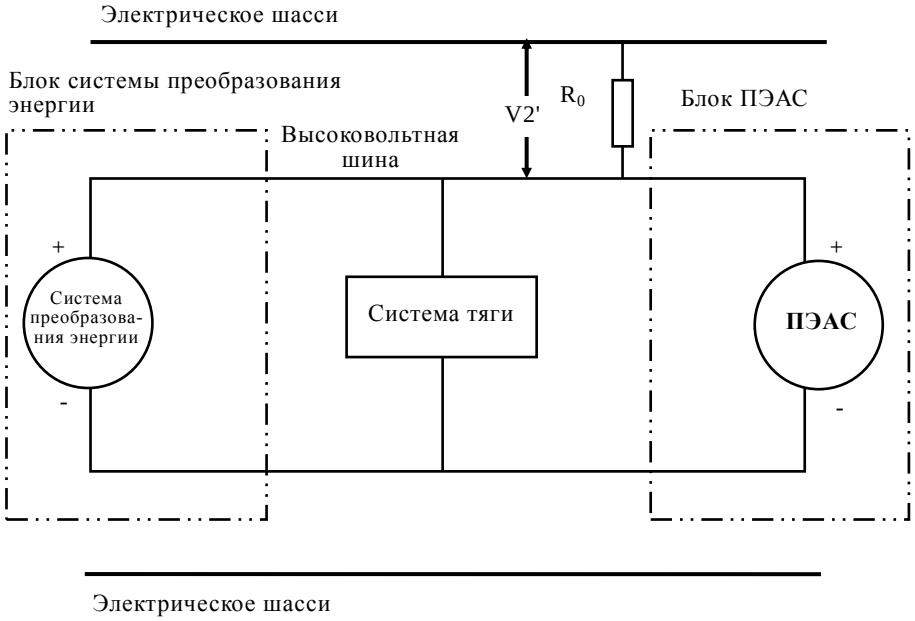
Если V2 больше V1, то между положительной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси устанавливают стандартное сопротивление известной величины (Ro). После установки Ro измеряют напряжение (V2’) между положительной клеммой высоковольтной шины и электрическим шасси (см. рис. 10). Вычисляют уровень электрической изоляции (Ri) по указанной ниже формуле. Это значение уровня электрической изоляции (в Омах) делят на номинальное рабочее напряжение высоковольтной шины (в вольтах). Уровень электрической изоляции (Ri) рассчитывают по следующей формуле:

Ri = Ro*(Vb/V2’ – Vb/V2) или Ri = Ro*Vb*(1/V2’ – 1/V2).

Полученный результат Ri, представляющий собой значение электрического сопротивления изоляции (в Омах), делят на рабочее напряжение высоковольтной шины в вольтах (В):

Ri (Ом/В) = Ri (Ом)/рабочее напряжение (В).

Рис. 10
Измерение значения V2



6.3.1.2.2.3.5 Пятый этап

Уровень электрической изоляции Ri (в Омах), поделенный на рабочее напряжение высоковольтной шины (в вольтах), дает значение сопротивления изоляции (в Ом/В).

(*Примечание 1*: Стандартное сопротивление известной величины Ro (в Омах) должно соответствовать значению требуемого минимального сопротивления изоляции (в Ом/В), помноженному на рабочее напряжение транспортного средства ±20% (в вольтах). Ro необязательно должно точно совпадать с этим значением, поскольку формулы действительны для любых значений Ro; вместе с тем значение Ro в данном диапазоне должно обеспечивать возможность достаточно точного измерения напряжения.)

6.3.2 Метод подтверждения надлежащего функционирования бортовой системы контроля за сопротивлением изоляции

Надлежащее функционирование бортовой системы контроля за сопротивлением изоляции подтверждают посредством применения нижеследующего или эквивалентного ему метода.

Устанавливают резистор, который не вызывает падения сопротивления изоляции между проверяемым контактным выводом и электрическим шасси ниже требуемого минимального значения сопротивления изоляции. Должен включаться предупреждающий сигнал.

6.3.3 Защита от прямого контакта с частями под напряжением

6.3.3.1 Щупы для проверки вероятности прикосновения

Щупы для проверки вероятности прикосновения, служащие для определения степени защиты от прикосновения к частям под напряжением, указаны в таблице 3.

6.3.3.2 Условия проведения испытаний

Щуп для проверки вероятности прикосновения проталкивают в любое из отверстий кожуха с усилием, указанным в таблице 3. Если он проходит внутрь частично или полностью, то его устанавливают в каждом из возможных положений. При этом полное проникновение через это отверстие ограничителя щупа ни в коем случае не допускается.

Внутренние электрозащитные ограждения рассматриваются в качестве составной части кожуха.

Внутри электрозащитного ограждения или кожуха между щупом и частями, находящимися под напряжением, при необходимости последовательно подсоединяют источник низкого напряжения (не менее 40 В и не более 50 В) с подходящей лампой.

К подвижным частям оборудования, находящегося под высоким напряжением, также следует применять метод сигнальной цепи.

В тех случаях, когда это возможно, допускается медленное движение внутренних подвижных частей.

6.3.3.3 Критерии приемлемости

Щуп для проверки вероятности прикосновения не должен соприкасаться с частями, находящимися под напряжением.

Если соблюдение этого требования проверяют с помощью сигнальной цепи между щупом и частями, находящимися под напряжением, лампа не должна загораться.

В случае испытания для проверки степени защиты, соответствующей IPXXB, шарнирный испытательный штырь может проникать внутрь на глубину 80 мм, но ограничитель щупа (диаметр 50 мм x 20 мм) не должен проходить через отверстие. Каждый из двух шарниров испытательного штыря, начиная с прямого положения, последовательно сгибают до угла 90° по отношению к оси прилегающей части штыря и устанавливают в каждом из возможных положений.

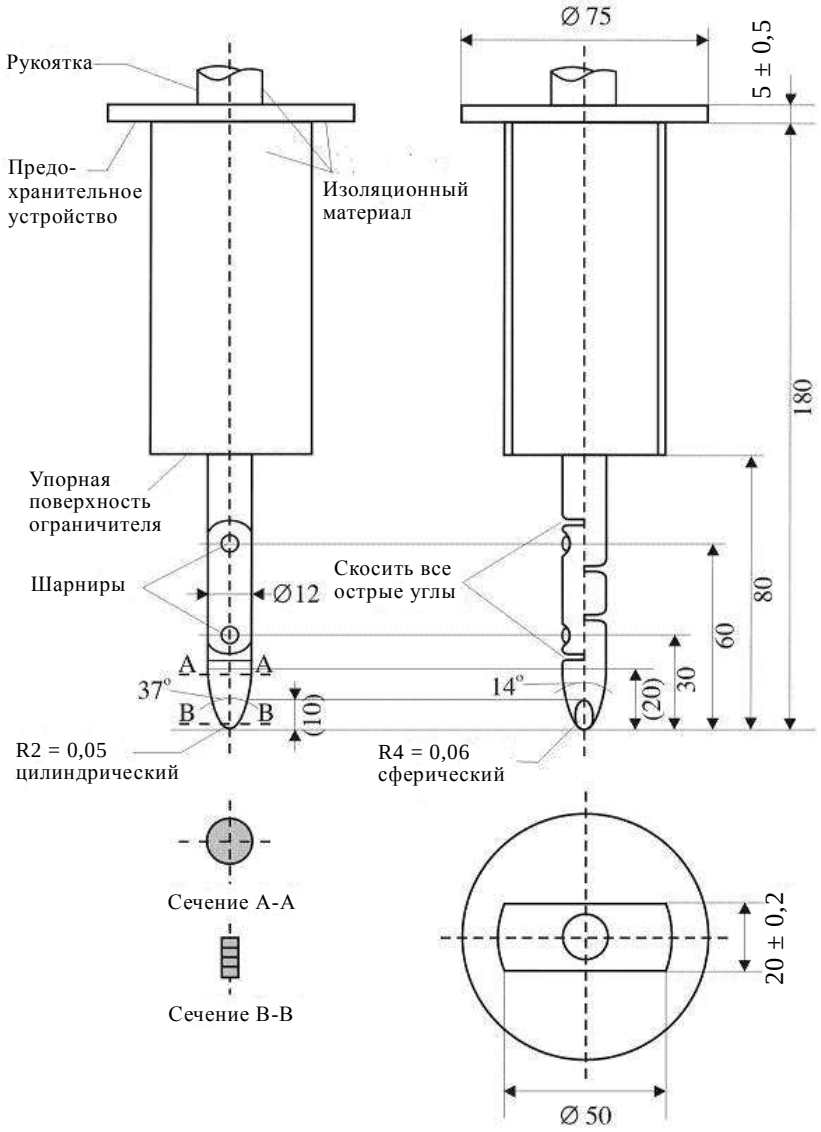
В случае испытания для проверки степени защиты, соответствующей IPXXD, щуп для проверки вероятности прикосновения может проталкиваться на всю его длину, но ограничитель не должен полностью проходить через отверстие.

Таблица 3

Щупы для проверки вероятности прикосновения, используемые в испытаниях для защиты людей от прикосновения к опасным частям

Первая цифра	Дополнительная буква	Щуп для проверки вероятности прикосновения (размеры в мм)	Усилие, прилагаемое в ходе испытания
2	B	**Шарнирный испытательный штырь** Упорная поверхность ограничителя (Ø 50 x 20) Ø 12 Все размеры приведены на рис. 1 Шарнирный испытательный штырь (металлический) Изоляционный материал 80	10 Н ± 10%
4, 5, 6	D	**Испытательный провод: диаметр − 1,0 мм, длина 100 мм** Сфера 35 ± 0,2 Прибл. 100 100 ± 0,2 Ø 1 + 0,05 0 Ø 10 Рукоятка (изоляционный материал) Упорная поверхность ограничителя (изоляционный материал) Жесткий испытательный провод (металлический) Края зачищены от заусенцев	1 Н ± 10%

Рис. 11
Шарнирный испытательный штырь



Материал: металл, если не указано иное.

Линейные размеры приведены в миллиметрах.

Допуски на размеры, не имеющие конкретных допусков:

на углы: 0/−10°,

на линейные размеры:

до 25 мм: 0/−0,05 мм;

свыше 25 мм: ±0,2 мм.

Оба шарнира должны допускать перемещение в одной и той же плоскости и в одном и том же направлении в пределах угла 90° с допуском от 0° до +10°.

6.3.4 Метод испытания для измерения электрического сопротивления

Метод испытания с использованием прибора для измерения сопротивления

Прибор для измерения сопротивления подсоединяют к точкам измерения (как правило, на электрическом шасси и электропроводящем кожухе/электрозащитном ограждении), и проводят измерение сопротивления при помощи прибора, отвечающего следующим техническим требованиям:

ток измерительной цепи минимум 0,2 А;

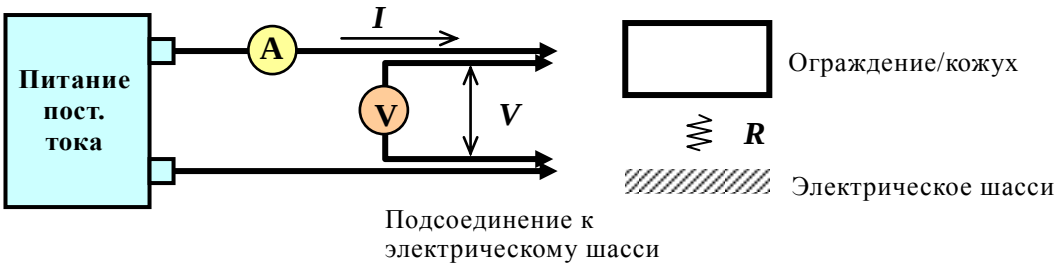
разрешение 0,01 Ом или меньше;

сопротивление R ниже 0,1 Ом.

Метод испытания с использованием источника питания постоянного тока, вольтметра и амперметра

Схема испытания методом использования источника питания постоянного тока, вольтметра и амперметра показана ниже.

Рис. 12
Подсоединение к ограждению/кожуху



Процедура испытания

Источник питания постоянного тока, вольтметр и амперметр подсоединяют к точкам измерения (как правило, на электрическом шасси и электропроводящем кожухе/электрозащитном ограждении).

Напряжение источника питания постоянного тока регулируют таким образом, чтобы сила тока составляла более 0,2 А.

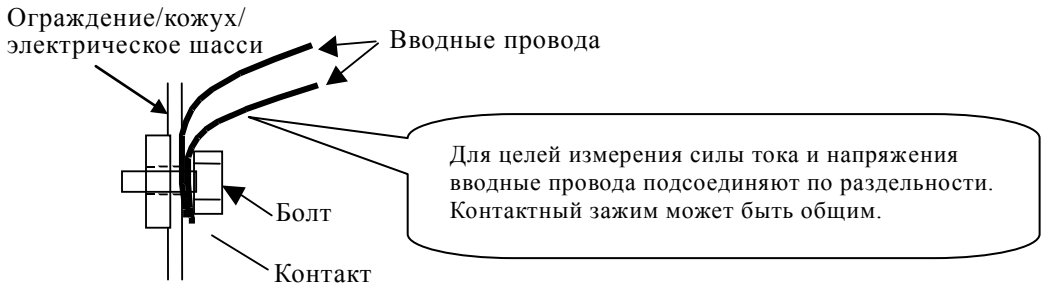
Измеряют силу тока "I " и напряжение "V ".

Сопротивление "R" рассчитывают по следующей формуле:

R = V/I

Сопротивление R должно быть ниже 0,1 Ом.

Примечание: Если для целей измерения напряжения и силы тока используются вводные провода, то каждый такой провод подсоединяют к электрозащитному ограждению/кожуху/электрическому шасси по раздельности. При этом контактный зажим может быть общим.



6.3.5 Условия проведения и процедура послеаварийных испытаний

6.3.5.1 Условия проведения испытаний

6.3.5.1.1 Общие положения

Применяют условия испытания, указанные в пунктах 6.3.5.1.2–6.3.5.1.4.

При указании диапазона значений транспортное средство должно отвечать предъявляемым требованиям во всех испытательных точках в пределах этого диапазона.

6.3.5.1.2 Регулировка электрического привода

6.3.5.1.2.1 Состояние заряда ПЭАС должно быть таким, чтобы обеспечивалось нормальное функционирование привода в соответствии с рекомендацией изготовителя.

6.3.5.1.2.2 Электрический привод должен находиться под напряжением как при включенных, так и при отключенных первоначальных источниках электроэнергии (например, двигатель-генератор, ПЭАС или система преобразования электроэнергии), однако:

6.3.5.1.2.2.1 допускается проведение испытания без подачи тока на весь электрический привод или на его отдельные части, если это не оказывает негативного воздействия на результаты испытания. В случае отдельных частей электрического привода, на которые не подается ток, наличие защиты от электрического удара подтверждается либо физической защитой, либо сопротивлением изоляции и надлежащими дополнительными доказательствами;

6.3.5.1.2.2.2 если электрический привод не находится под напряжением и предусматривается автоматическое разъединение, то допускается проведение испытания при включенном автоматическом разъединителе. В этом случае должно быть доказано, что в ходе испытания на удар функция автоматического разъединения сработает. Под этой функцией подразумевается автоматическое включение сигнала, а также кондуктивное разъединение с учетом условий, существовавших при ударе.

6.3.5.1.3 Договаривающиеся стороны могут допускать изменения топливной системы таким образом, чтобы для работы двигателя или системы преобразования электроэнергии можно было использовать надлежащее количество топлива.

6.3.5.1.4 Условия испытания транспортного средства, отличающиеся от указанных в пунктах 6.3.5.1.1–6.3.5.1.3, оговорены в протоколах краш-тестов Договаривающихся сторон.

6.3.5.2 Порядок проведения испытания на предмет защиты лиц, находящихся в транспортных средствах, работающих на электричестве, от высокого напряжения и от опасности, связанной с утечкой электролита

В настоящем разделе описан порядок проведения испытания для доказательства соответствия изложенным в пункте 5.3.2 требованиям относительно электробезопасности.

Перед проведением испытания транспортного средства на удар измеряют и регистрируют напряжение в высоковольтной шине (Vb) (см. рис. 13) для подтверждения того, что оно находится в пределах рабочего напряжения транспортного средства, указанного изготовителем транспортного средства.

6.3.5.2.1 Схема испытания и комплект испытательного оборудования

Если используется функция разъединения в случае высокого напряжения, то измерения проводят с обеих сторон устройства, выполняющего функцию разъединения.

Однако если устройство для разъединения в случае высокого напряжения является составной частью ПЭАС или если степень защиты системы преобразования энергии и высоковольтной шины ПЭАС либо системы преобразования энергии сохраняется после испытания на удар на уровне IPXXB, то измерения можно проводить только на участке между устройствами, обеспечивающими разъединение и электрическую нагрузку.

Вольтметр, используемый в ходе этого испытания, должен измерять значение постоянного тока и иметь внутреннее сопротивление не менее 10 МОм.

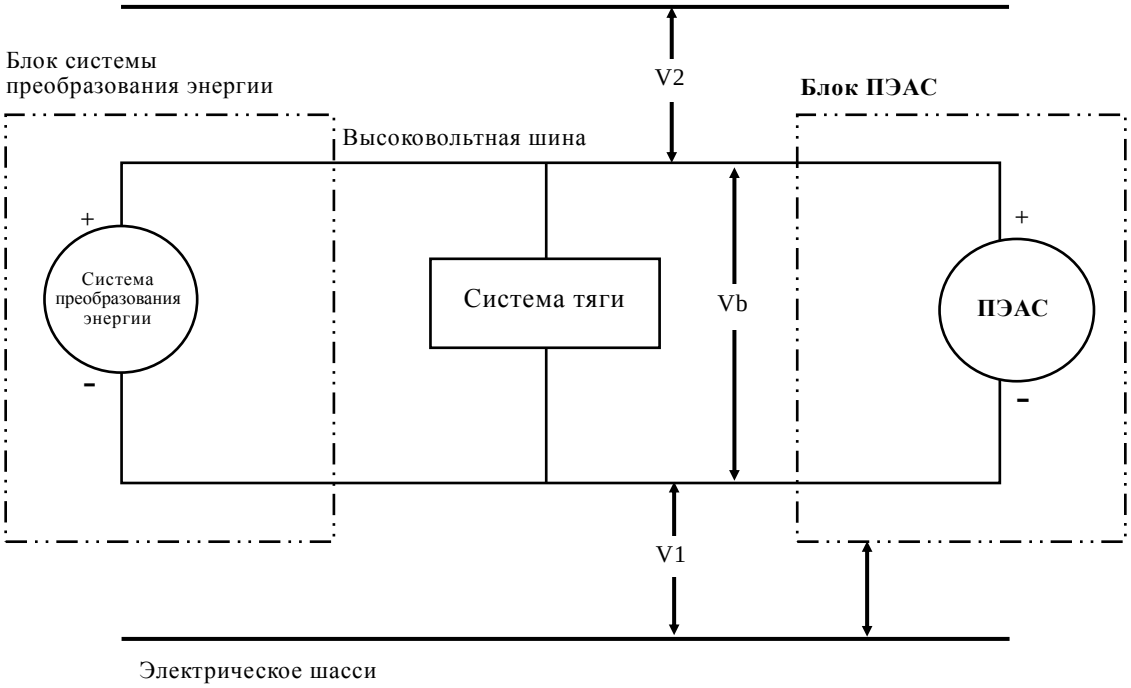
6.3.5.2.2 Если измеряют напряжение, то можно использовать нижеследующие инструкции.

После испытания на удар определяют напряжение в высоковольтной шине (Vb, V1, V2) (см. рис. 13).

Измерение напряжения проводят не ранее чем через 5 секунд и не позднее чем через 60 секунд после удара.

Данную процедуру не применяют, если в ходе испытания ток на электрический привод не подается.

Рис. 13
Измерение значений Vb, V1, V2



6.3.5.2.3 Сопротивление изоляции

См. пункт 6.3.1.2 "Метод измерения"

Все измерения для расчета значения(й) напряжения и электрического сопротивления изоляции проводят как минимум через 5 секунд после удара.

Например, приемлемой альтернативой описанной выше процедуре определения сопротивления изоляции могут служить измерения при помощи мегомметра или осциллографа. В таком случае, возможно, понадобится отключить бортовую систему контроля за сопротивлением изоляции.

6.3.5.2.4 Физическая защита

После испытания транспортного средства на столкновение любые детали, прилегающие к высоковольтным компонентам, открывают, разбирают или снимают без использования инструментов. Все остальные прилегающие детали рассматриваются в качестве части системы физической защиты.

Для оценки электробезопасности в любой зазор или любое отверстие в системе физической защиты вставляют с приложением испытательного усилия 10 Н ± 10% шарнирный испытательный штырь, описанный в пункте 6.3.3. Если шарнирный испытательный штырь проходит внутрь системы физической защиты частично или полностью, то этот штырь помещают туда в каждом из положений, указанных ниже.

Каждый из двух шарниров испытательного штыря, начиная с прямого положения, поворачивают под углом, доходящим постепенно до 90° по отношению к оси прилегающей части штыря, и устанавливают в каждом из возможных положений.

Внутренние электрозащитные ограждения рассматриваются в качестве составной части кожуха.

Внутри электрозащитного ограждения или кожуха между шарнирным испытательным штырем и частями, находящимися под высоким напряжением, в соответствующем случае последовательно подсоединяют источник низкого напряжения (не менее 40 В и не более 50 В) с подходящей лампой.

6.3.5.2.5 Критерии приемлемости

Требования, изложенные в пункте 5.3.2.2.3, выполнены, если шарнирный испытательный штырь, описанный в пункте 6.3.3, не может быть под напряжением.

Для выяснения того, не соприкасается ли шарнирный испытательный штырь с высоковольтными шинами, при необходимости может быть использовано зеркало или волоконный эндоскоп.

Если соблюдение этого требования проверяют с помощью сигнальной цепи между шарнирным испытательным штырем и частями, находящимися под высоким напряжением, лампа не должна загораться.

6.3.5.2.6 Разлив электролита

Для проверки ПЭАС на предмет утечки электролита после испытания на удар на систему физической защиты при необходимости наносят слой надлежащего покрытия.

Если изготовитель не указывает способ, позволяющий проводить различие между утечкой различных жидкостей, то утечка всех жидкостей рассматривается в качестве утечки электролита.

6.3.5.2.7 Удержание ПЭАС

Соблюдение этого требования проверяют методом визуального осмотра.

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 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 4.

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 4
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 ± 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:

a) максимально допустимому рабочему давлению (МДРД) (в МПа) плюс 0,1 МПа, помноженному на 3,25;

либо

b) 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. 7 в разделе G преамбулы). 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: $R = (V_{width}+1)*(V_{height}+0,5)*(V_{length}+1)/30,4$ м^3, 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) преамбулы (рис. 7 преамбулы). Испытание проводят на системе, заполненной сжиженным водородом, с соблюдением процедуры по пункту 7.4.2.3; испытание имеет целью продемонстрировать, что как первичные, так и вторичные предохранительные устройства сброса давления в случае потери вакуума 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 (должны) 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. 4.7 преамбулы, 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. преамбулы они именуются 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 тип 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 вблизи заправочного блока, 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:

$p_{test} \geq 1{,}3$ (МДРД ± 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 нижеследующей 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 5.2.1.2. 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 в следующем порядке:

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 в следующем порядке:

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 ≤ 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 второе 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 второго 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 в следующем порядке:

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 °C. 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 ± 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 14687-2/SAE J2719. Если не указано иное, все испытания проводят при температуре окружающей среды 20 (±5) °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 испытуемым 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 отработки 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. Испытуемый 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. Испытуемый 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 6 000 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 сраба-

тывание и повторное включение в течение по крайней мере двух циклов изменения давления. В ходе этих послеаварийных 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 пять 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 пяти 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).