ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70679— 2023

Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах

ПОРЯДОК ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЩЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 056 «Дорожный транспорт»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 сентября 2023 г. № 979-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Правила безопасности технических систем 6
4.1 Общая безопасность транспортного средства 6
4.2 Безопасность топливной системы 8
4.3 Безопасность системы топливных элементов 11
4.4 Безопасность электрической системы 11
4.5 Механическая безопасность 15
4.6 Методы обеспечения безотказной работы при повреждении отдельных элементов системы . . . 15
4.7 Маркировка и обозначения 16
5 Эксплуатация 17
5.1 Руководство пользователя 17
5.2 Штатные выбросы транспортных средств 17
5.3 Нарушение правил эксплуатации транспортного средства 18
5.4 Выбросы 18
6 Действия при аварийных ситуациях 18
7 Обслуживание 19
7.1 Руководство по обслуживанию 19
7.2 Процедура сброса топлива 19
7.3 Безопасность объекта 19
Приложение А (обязательное) Критерии оценки послеаварийного состояния систем хранения компримированного водорода 20
Приложение Б (обязательное) Руководство по проведению оценки воспламеняемости и токсичности выбросов транспортных средств 31
Приложение В (обязательное) Руководство по проведению оценки выбросов водорода в пространство, окружающее транспортное средство 36
Приложение Г (справочное) Руководство по компоновке водородных систем, включая защитные экраны и барьеры 40
Приложение Д (обязательное) Метод испытания защиты от вырывания заправочного ниппеля 42
Приложение Е (обязательное) Руководство для проведения испытаний высоковольтных компонентов 43
Библиография 46

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах

ПОРЯДОК ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЩЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Fuel cell automobile vehicles. General safety procedures

Дата введения — 2024—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к безопасной интеграции систем топливных элементов, систем хранения водородного топлива и систем обработки по ГОСТ Р 70680 и общих высоковольтных электрических систем транспортных средств на топливных элементах. Настоящий стандарт также может применяться к водородным транспортным средствам с двигателем внутреннего сгорания.

Настоящий стандарт распространяется на проектирование, конструкцию, эксплуатацию и техническое обслуживание транспортных средств на топливных элементах.

Целью настоящего стандарта является установление требований в отношении безопасности механических и электрических систем, критериев безопасности и методологии, которые следует учитывать при проектировании транспортных средств на топливных элементах, используемых на дорогах общего пользования.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.4.026 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ IEC 60950-1—2014 Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования

ГОСТ ISO 17840-1 Автомобильные транспортные средства. Информация для экстренных оперативных и аварийно-спасательных служб. Часть 1. Спасательная карта для пассажирских автомобилей и автомобилей для коммерческих перевозок малой грузоподъемности

ГОСТ ISO 17840-4 Автомобильные транспортные средства. Информация для экстренных оперативных и аварийно-спасательных служб. Часть 4. Идентификация источника энергии, приводящего в движение транспортное средство

ГОСТ Р 52230—2004 Электрооборудование автотракторное.Общие технические устройства

ГОСТ Р ИСО 14687-1 Топливо водородное. Технические условия на продукт. Часть 1. Все случаи применения, кроме использования в топливных элементах с протонообменной мембраной, применяемых в дорожных транспортных средствах

ГОСТ Р ИСО 26262-1 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 1. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 26262-2 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 2. Менеджмент функциональной безопасности

Издание официальное

ГОСТ Р ИСО 26262-3 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 3. Стадия формирования концепции

ГОСТ Р ИСО 26262-4 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 4. Разработка изделия на уровне системы

ГОСТ Р ИСО 26262-5 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 5. Разработка аппаратных средств изделия

ГОСТ Р ИСО 26262-6 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 6. Разработка программного обеспечения изделия

ГОСТ Р ИСО 26262-7 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 7. Производство и эксплуатация

ГОСТ Р ИСО 26262-8 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 8. Вспомогательные процессы

ГОСТ Р ИСО 26262-9 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 9. Анализ уровня полноты безопасности автомобиля и анализ безопасности автомобиля

ГОСТ Р ИСО 26262-10 Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 10. Руководящие указания по ИСО 26262

ГОСТ Р МЭК 60664-1 Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 1. Принципы, требования и испытания

ГОСТ Р МЭК 62196-1 Вилки, штепсельные розетки, соединители и вводы для транспортных средств. Кондуктивная зарядка для электромобилей. Часть 1. Общие требования

ГОСТ Р 70678 Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах. Термины и определения

ГОСТ Р 70680—2023 Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах. Топливные системы. Технические требования

ГОСТ Р 70683 Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах. Системы топливных элементов. Методы испытаний

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **вспомогательная цепь** (auxiliary circuit): Электрическая цепь, обеспечивающая функционирование низковольтных компонентов транспортного средства, таких как лампа, моторы стеклоочистителей ветрового стекла и радиоприемника.

3.1.2 **барьер** (barrier): Защитное устройство или панель, обеспечивающие безопасность путем физического разделения сред.

Примечание — В настоящем стандарте барьеры упоминаются в двух областях:

- поточный барьер, обеспечивающий пассивные или активные средства для управления потоком потенциально опасных веществ из одного пространства транспортного средства в другое;
- электрический барьер — это физическое устройство или панель, которое не позволяет людям прикасаться к токопроводящим деталям, находящимся под высоким напряжением.

3.1.3 **основная изоляция** (basic insulation): Электрическая изоляция, необходимая для защиты от поражения электрическим током в безаварийных условиях.

3.1.4 **система класса I** (class I system): Электрическая система, имеющая основную изоляцию по всей длине, при этом токопроводящие доступные детали соединены с защитным заземляющим проводом и снабжены клеммой заземления или соединением с транспортным средством.

3.1.5 **система класса II** (class II system): Электрическая система с двойной и/или усиленной изоляцией по всей длине.

3.1.6 **отделение** (compartment): Закрытое барьерами пространство, за исключением отверстий, необходимых для соединения, управления и вентиляции.

3.1.7 **(жидкие или газообразные) выбросы** (discharges (liquid or gaseous)): Жидкости или газы, выходящие из системы.

3.1.8 **двойная изоляция** (double insulation): Система из двух независимых изоляций, каждая из которых способна действовать как единственная изоляция между находящимися под напряжением и доступными частями в случае выхода из строя другой изоляции.

Примечание — Система изоляции является результатом комбинации основной и дополнительной изоляции.

3.1.9 **электропроводящее шасси** (electrically-conductive chassis): Токопроводящие детали транспортного средства, соединенные друг с другом токопроводящим соединением и не питающиеся от источников высокого напряжения во время нормальной эксплуатации транспортного средства, электрический потенциал которых принимают за эталон.

3.1.10 **барьер электрической защиты** (electrical protection barrier): Детали, обеспечивающие защиту от контакта с токопроводящими частями в любом доступном направлении.

3.1.11 **открытая электропроводящая часть** (exposed conductive part): Электропроводящая часть, к которой можно прикоснуться в соответствии со степенью защиты IPXXB, и остающаяся под напряжением в условиях нарушения изоляции.

Примечание — Электропроводящая часть включает покрытые детали, которые можно извлечь без использования инструментов.

3.1.12 **инкапсуляция** (encapsulation): Процесс нанесения термопластичного или термореактивного защитного или изоляционного покрытия подходящими способами, такими как нанесение кистью, погружение, распыление, термоформование или литье.

3.1.13 **выхлоп** (exhaust): Выброс отработанных или обработанных жидкостей и газов.

3.1.14 **пределы воспламеняемости** (flammability limits): Диапазон концентраций паров горючего газа, при которых возможно распространение пламени в воздухе.

Примечания

1 Газовая смесь, содержащая водород и кислород, при отсутствии в ней других воспламеняющихся газов, считается воспламеняемой при комнатной температуре, если она содержит минимум 4 % водорода и 5 % кислорода.

2 Распространение пламени заключается в прерывистых явлениях, таких как вспышки, удаляющиеся от источника воспламенения, а также устойчивое пламя.

3.1.14.1 **верхний предел воспламеняемости;** ВПВ (upper flammability limit, UFL): Максимальная концентрация горючего газа/паров в воздухе, при которой возможно распространение пламени.

Примечание — Верхний предел воспламеняемости водорода составляет 74 % в воздухе и 95 % в чистом кислороде, тогда как для каждого случая требуется 5 % кислорода в смеси.

3.1.14.2 **нижний предел воспламеняемости;** НПВ (lower flammability limit, LFL): Минимальная концентрация горючего газа/паров в воздухе, при которой возможно распространение пламени.

Примечания

1 Национальные и международные органы по стандартизации признают объемное содержание водорода в воздухе в количестве 4 % как нижний предел воспламеняемости. НПВ, ВПВ зависят от температуры смеси, давления и наличия разбавляющих газов и оцениваются с использованием конкретных методов испытаний.

2 В то время как значение НПВ в примечании 1 подходит для оценки воспламеняемости в транспортных средствах или внутри пассажирских отсеков, этот критерий может быть чрезмерно ограничительным для ситуаций с проточным газом, когда для воспламенения во многих случаях требуется более 4 % водорода. Вероятность воспламенения в конкретном месте источника утечки газа зависит от условий потока и типа воспламенения. При концентрации 4 % водорода в статичной среде при комнатной температуре горение может распространяться только в восходящем направлении. При содержании примерно от 8 % до 10 % водорода в смеси горение также может распространяться в нисходящем и горизонтальном направлениях, и смесь легко воспламеняется независимо от местоположения источника воспламенения.

3.1.14.3 **негорючее вещество** (non-flammable): Вещество, которое не может загореться или поддерживать горение в окружающей атмосфере при любых концентрациях.

Примечания

1 Рисунок 1 иллюстрирует воспламеняемость газовых смесей, содержащих водород, кислород и азот (в качестве инертного компонента). Потенциальную воспламеняемость выброса можно оценить, проверив, пересекает ли область потенциальной воспламеняемости отрезок, соединяющий точку выброса (точка с координатами, соответствующими концентрациям водорода и кислорода в выбросе) с точкой окончательного рассеивания водорода в воздухе (точка на оси ординат, соответствующая концентрации кислорода 20,9 % и водорода 0 %).

2 Область негорючести характеризуется смесями, содержащими либо менее 4 % водорода (НВП), либо менее 5 % кислорода, либо и то и другое. Если концентрации веществ в выбросе остаются в «негорючей» области от места выброса до рассеивания в окружающей атмосфере, выброс является негорючим.

3 Область потенциальной воспламеняемости характеризуется концентрациями от 4 % водорода и от 5 % кислорода.

Область имеет треугольную (а не прямоугольную) форму, так как азот (и другие инертные газы, обычно присутствующие в воздухе) «подрезает» верхнюю часть «потенциально воспламеняющейся» области. Обозначенное в 3.1.14.2 условие, заключающееся в том, что воспламенение ниже 8 % водорода возможно только в статичных условиях, тогда как концентрации выше 8 % водорода могут поддерживать воспламенение также в условиях потока (например, при выбросе из транспортного средства), отражено на рисунке 1 областью желтого цвета.

4 Если концентрация водорода в выбросе проходит через область потенциальной воспламеняемости по мере его рассеивания в воздухе, выброс следует считать воспламеняющимся (если не подтверждено, что он не воспламеняется, например в соответствии с 4.2.4.1). На рисунке 1 пунктирными линиями 1, 2 и 3 представлена иллюстрация оценки потенциальной воспламеняемости выбросов.



1 — выброс 100 % водорода не является локально воспламеняющимся в месте его высвобождения из-за недостатка кислорода, но по мере того, как высвобождаемый продукт рассеивается в воздухе, образующаяся в результате смесь становится потенциально воспламеняемой в некоторых областях, прежде чем полностью рассеется в окружающей атмосфере; *2* — смесь газообразного водорода и азота с содержанием водорода менее 5 % не воспламеняется, потому что при смешивании с воздухом водород падает ниже НПВ (4 % водорода) до того, как в смеси будет достаточное количество кислорода (5 %) для поддержания горения; *3* — в типичном выбросе из транспортного средства на топливных элементах может быть водород и кислород, однако смесь обычно не воспламеняется благодаря разбавлению водорода катодным газом (воздухом).

Рисунок 1 — Воспламеняемость смеси «водород—кислород—азот»

3.1.15 **система батареи топливных элементов;** система БТЭ: (fuel cell stack system, FCSS): Совокупность, содержащая один или несколько топливных элементов, которые обеспечивают реакцию топлива и окислителя с образованием электрического тока посредством электрохимической реакции.

Примечание — Система БТЭ включает: соединения для подачи топлива, окислителей и выхлопных газов; электрические соединения для питания, подаваемого системой батареи; средства контроля электрических нагрузок, предназначенные для сопряжения с системой топливных элементов (СТЭ). Также система БТЭ может

включать средства для подачи дополнительных жидкостей (например, охлаждающая среда, инертный газ), средства для обнаружения нормальных и/или ненормальных условий эксплуатации, кожухи или сосуды под давлением и системы вентиляции. Подсистему батареи топливных элементов также называют силовым модулем топливных элементов или модулем топливных элементов.

3.1.16 **опасная зона** (hazardous area): Зона, в пространстве которой могут присутствовать взрывоопасная газовая среда или другие опасные условия в конфигурациях, требующих особых мер предосторожности при конструировании, установке и использовании оборудования.

3.1.17 **опасные условия** (hazardous condition): Условия, потенциально угрожающие здоровью человека.

Примечание — Например, опасные среды и высокое электрическое напряжение.

3.1.18 **опасные среды** (hazardous fluids): Газы или жидкости, представляющие потенциальную опасность.

Примечание — Опасности, связанные со средами в топливных элементах:

а) воспламеняемость — концентрации топливно-воздушных смесей на уровне или выше нижнего предела воспламеняемости (НПВ) считаются опасными;

б) токсичность — концентрации вредных веществ, превышающие соответствующие ПДК. Нормы содержания вредных веществ определяются управлением по охране труда или эквивалентной организацией. Превышение этих норм считается опасным;

в) высокое давление — среды под высоким давлением в подсистемах подачи топлива, топливных процессорах, топливных элементах и/или подсистемах управления температурным режимом, которые в случае неисправности могут высвобождаться, вызывая травмы у людей;

г) экстремальная температура — жидкости или материалы с очень высокой или низкой температурой, которые могут привести к травмам, таким как ожоги или обморожение;

д) химическая активность — материалы, которые могут вступать в реакцию с другими материалами, прямо или косвенно представляющую угрозу для здоровья человека.

3.1.19 **контур высоковольтной блокировки;** HVIL (hazardous voltage interlock loop, HVIL): Система, предназначенная для защиты людей от воздействия высокого напряжения или от других угрожающих здоровью условий.

Примечание — Обычно обнаруживают нежелательный доступ или неисправности, пропуская слабый (неопасный) сигнал через контур, соединяющий набор замкнутых проводников, разъемов, датчиков и переключателей для проверки непрерывности электрической цепи.

3.1.20 **высокое напряжение** (high voltage): Уровни напряжения выше 30 В переменного тока или 60 В постоянного тока.

3.1.21 **источники воспламенения** (ignition sources): Источники тепловой или электрической энергии, способные воспламенять горючие газовые смеси.

Примечание — Информацию о предотвращении тепловых, электрических и статических разрядов см. в 4.2.3.3.

3.1.22 **внутренний перенос [утечка]** [internal transfer (or cross leakage)]: Утечка жидкостей и/или газов через швы, стыки, трещины, отверстия или дефекты между контурами внутри компонентов, содержащих различные жидкости (или газы), в таких как теплообменник или батарея топливных элементов, движимые перепадами рабочего и/или нерабочего давления и/или концентрационным градиентом.

Примечание — Возможные типы внутреннего переноса включают: «топливо—воздух», «воздух—топливо», «топливо—охлаждающая жидкость», «охлаждающая жидкость—топливо», «воздух—охлаждающая жидкость» и «охлаждающая жидкость—воздух».

3.1.23 **штатные выбросы** (normal discharges): Выбросы, ожидаемые при нормальной работе транспортного средства и не связанные исключительно с отказами в работе транспортного средства.

3.1.24 **нормальная работа** (normal operation): Все переходные и установившиеся режимы работы транспортного средства, возникающие во время запуска, предполагаемой работы и остановки, которые не связаны с отказом компонента или системы.

3.1.25 **точка выброса** (point of release): Переходная область, где выброс, потенциально содержащий опасные вещества, покидает транспортное средство и перемещается в окружающую среду, пассажирский салон или другую зону, которая считается неопасной.

3.1.26 **усиленная изоляция** (reinforced insulation): Одинарная система изоляции с механическими и электрическими свойствами, обеспечивающими такую же степень защиты от риска поражения электрическим током, как и двойная изоляция.

Примечание — Термин «одинарная система изоляции» не обязательно означает, что изоляция представлена цельным однородным элементом. Система изоляции может состоять из двух или более слоев, каждые из которых не могут быть испытаны в качестве дополнительной или основной изоляции.

3.1.27 **выброс (сброс)** (releases): Выбросы, являющиеся нежелательными или ненужными.

3.1.28 **дополнительная изоляция** (supplementary insulation): Независимая изоляция, предусмотренная в дополнение к основной изоляции для защиты от опасности поражения электрическим током в случае выхода из строя основной изоляции.

3.1.29 **трубопровод** (tubing): Металлическая или неметаллическая труба, предназначенная для передачи газообразных или жидких сред.

3.1.30 **электрический соединитель транспортного средства** (vehicle electrical connector): Разъем, предназначенный для соединения с электрическим транспортным средством с целью обеспечения электропитания и обмена информацией.

Примечание — Это устройство является частью системы электрического подключения.

3.1.31 **система электрического подключения транспортного средства** (vehicle electrical coupler): Система, позволяющая подключить гибкий кабель электропитания к оборудованию и состоящая из электрического соединителя и входного отверстия транспортного средства.

3.1.32 **вентиляция** (vents): Выброс неотработанных, необработанных или частично переработанных газов или жидкостей.

3.1.33 **транспортное средство на топливных элементах;** ТСТЭ (fuel cell vehicle; FCV): Транспортное средство с тяговым электроприводом, перезаряжаемой системой хранения электрической энергии и системой топливных элементов в качестве дополнительного источника питания электрической энергией.

Примечание — В случае, если транспортное средство приводится в движение за счет энергии, получаемой от бортовой системы водородных топливных элементов, такое транспортное средство называют «транспортным средством на водородных топливных элементах». ТСТЭ может иметь возможность зарядки системы хранения и накопления электроэнергии от внешнего зарядного устройства на возобновляемых источниках энергии.

3.1.34 **устройство сброса давления;** УСД (pressure relief device; PRD): Клапан или предохранительное устройство (разрывной элемент), автоматически снижающие избыточное давление.

3.1.35 **высоковольтное оборудование** (high voltage components): оборудование, для работы которого используется высокое напряжение.

3.2 Сокращения

ПДК — предельно допустимая концентрация;
ПСХЭЭ — перезаряжаемая система хранения электрической энергии;
ТРК — топливораздаточная колонка;
ТС — транспортное средство;
СИЗ — средство индивидуальной защиты;
ПУВ — порог устойчивого воспламенения;
СПГ — сжиженный природный газ;
ЭХГ — электрохимический генератор.

4 Правила безопасности технических систем

4.1 Общая безопасность транспортного средства

Для защиты людей от факторов, угрожающих здоровью, важно соблюдать следующую последовательность действий, влияющих на безопасность ТС:

а) защиту пассажиров ТС и окружающих людей от травм, которые могут возникнуть в результате отказов компонентов, входящих в состав ТС и поддерживающих его работу, и/или в результате повреждений, вызванных внешними событиями (например, столкновениями);

б) защиту пассажиров ТС, окружающих людей и обслуживающего персонала от опасностей, связанных с эксплуатацией или обслуживанием ТС на топливных элементах (например, высокого напряжения, экстремальных температур, высокого давления и легковоспламеняющихся или токсичных сред);

в) минимизацию повреждений систем ТС, вызванных отказом подсистем или компонентов.

4.1.1 Учет требований по безопасности при проектировании

ТС и связанные с ним подсистемы должны быть спроектированы таким образом, чтобы единичный сбой аппаратного или программного обеспечения не привел к необоснованному риску в отношении безопасности человека или к бесконтрольному поведению ТС.

4.1.1.1 Оценка рисков

Для выявления потенциальных отказов и определения соответствующих контрмер необходимо проводить оценку рисков, такую как анализ видов и последствий отказов (FMEA).

4.1.1.2 Изоляция и разделение опасностей

Изоляция и разделение опасностей — это подходы, используемые для предотвращения каскадных отказов и нежелательных или неожиданных взаимодействий. Источники воспламенения должны быть изолированы от систем с опасными средами.

4.1.1.3 Критически важные функции управления

Критически важные для безопасности системы управления необходимо проектировать таким образом, чтобы единичный сбой аппаратного или программного обеспечения не приводил к каскадному возникновению опасных состояний. Системы управления включают изоляцию, разделение, резервирование, контроль и/или другие средства. Руководство по проектированию аппаратного и программного обеспечения можно найти в группе стандартов ГОСТ Р ИСО 26262-1 (все части).

4.1.1.4 Отказоустойчивость

Конструкция ТС должна предусматривать отказоустойчивость электрических элементов управления и систем управления опасными средами. Автоматические электрические разъединители должны размыкаться, а запорные клапаны подачи топлива должны закрываться при отключении. Таким образом, любое прерывание этого управляющего сигнала вызовет отключение электрических или топливных источников.

Эксплуатационная безопасность ТС должна учитывать потерю мощности ТС из-за автоматического отключения, которое может привести к опасным условиям эксплуатации. Необходимо предусмотреть поэтапный процесс предупреждения и автоматического отключения ТС или какие-либо другие альтернативные средства уменьшения создаваемой опасности, особенно если ТС находится в движении. При обнаружении неисправностей, представляющих потенциальную опасность, конкретные действия, которые должны быть предприняты, определены в 4.6.

4.1.2 Электромагнитная совместимость и электрические импульсы

Все электрические узлы, которые могут повлиять на безопасную эксплуатацию ТС, должны быть функционально устойчивы к электромагнитной среде, воздействию которой они подвергаются. К ней относятся колебания напряжения и характера нагрузки, которые могут возникнуть при нормальной эксплуатации ТС во время движения и заправки топливом. Электрические импульсы, возникающие при нормальной работе ТС, не должны вызывать сбоев в ТС.

4.1.3 Ударопрочность

Топливную систему и электрическую целостность разрешается испытывать одновременно или по отдельности. Отдельные испытания на электрическую целостность разрешается проводить с частичным запасом топлива или без него.

4.1.3.1 Целостность топливной системы

Критерии для оценки утечек топлива после аварии ТС:

а) энергетический эквивалент утечки топлива, соответствующий указанному в приложении А для конкретных систем сжатого водорода;

б) отсутствие выброса других опасных веществ из топливной системы (например, водорода в виде жидкости, гидрида металла или других гидридных материалов).

4.1.3.2 Целостность электрической системы

Требования к ТС на топливных элементах в части послеаварийной электрической целостности — в соответствии с ГОСТ ISO 17840-1.

4.1.4 Погружение транспортного средства

Погружение ТС в воду не должно приводить к возникновению разности электрического потенциала или электрического тока, выбросу газа или жидкости, воспламенению или взрыву, которые опасны для здоровья человека, находящегося внутри или снаружи ТС.

4.1.5 Буксируемость

Конкретные методы буксировки ТС следует расценивать как информацию по обслуживанию и включать в инструкцию по эксплуатации/руководство пользователя с соответствующими фотографиями или чертежами, описывающими рекомендуемые места крепления буксировочных крюков.

4.2 Безопасность топливной системы

Топливные системы, выполняющие функции хранения, обработки и/или подачи топлива, должны быть разработаны в соответствии с ГОСТ Р 70680.

Интеграция топливных систем в ТС должна учитывать положения 4.2.1—4.2.8.

4.2.1 Монтаж

Все компоненты, соединительные трубопроводы и проводку необходимо надежно закреплять в ТС так, чтобы свести к минимуму их повреждения и предотвратить утечки и другие неисправности. Следует предусмотреть защиту от гравия и дорожной грязи, а также истирания или повреждения. Термически активируемые УСД должны располагаться в той же зоне или отсеке, что и защищаемые ими компоненты или системы по ГОСТ Р 70680.

4.2.2 Отказоустойчивое отключение

Следует предусматривать средства для предотвращения нежелательного выброса топлива в результате единичных отказов функции отключения. HVIL также может быть использован для отключения подачи топлива.

4.2.3 Управление потенциально опасными условиями в отсеках транспортных средств

Все компоненты, содержащие или выделяющие опасные вещества, должны быть расположены в местах или отсеках ТС, где возможно управление потенциально опасными условиями. При необходимости эти зоны могут быть сформированы с использованием барьеров, определенных в 4.2.3.1. Установленное в этих зонах оборудование должно соответствовать условиям его эксплуатации на основе контроля потенциально воспламеняющейся атмосферы в соответствии с 4.2.3.2 и/или устранения источников воспламенения в соответствии с 4.2.3.3. При выбросах опасных веществ из этих зон следует учитывать:

- выброс опасных веществ за пределы ТС по 4.2.4.1;
- попадание опасных веществ в салон ТС по 4.2.4.2;
- прохождение легковоспламеняющихся веществ в зоны, содержащие оборудование, не предназначенное для взрывоопасных зон согласно 4.2.4.3.

Необходимо учитывать возможные отказы оборудования и систем, описанные в 4.2.3.1—4.2.3.3, и если это оправдано, предупреждать в соответствии с 4.2.8.

4.2.3.1 Потоковые барьеры

Потоковые барьеры могут быть использованы для образования и изоляции зон, содержащих опасные вещества внутри ТС или вокруг него. Все швы и зазоры пассивных барьеров должны быть в достаточной степени герметизированы, чтобы соответствовать положениям 4.2.3. Активные барьеры должны соответствовать критериям герметизации, указанным в 4.2.3.2.

Потоковые барьеры для размещения топливного оборудования и выхлопные трубы необходимо изготавливать из металлических или других материалов, не поддерживающих и не распространяющих горение, и проектировать с учетом недопущения статических электрических разрядов, возникновения и распространения пламени между отсеками и повышения давления (см. 4.2.4.1 и приложение Б). Впускные и выпускные отверстия должны быть защищены без нарушений функциональности из-за ограничений потока.

4.2.3.2 Потенциально воспламеняющиеся среды

Для контроля потенциально воспламеняющихся сред в зонах/отсеках с топливным оборудованием применяют следующие методы.

а) Вентиляция. Естественная или принудительная вентиляция является эффективным методом снижения вероятности образования горючей газовой смеси за счет разбавления горючего газа до уровня ниже его нижнего предела воспламеняемости. При определении места притока вентиляции и требований к потоку следует учитывать возможное загрязнение потока разбавляющего воздуха. Вентиляционное оборудование и датчики в газовых каналах, несущих потенциально воспламеняющиеся вещества, должны быть пригодны к такому применению в соответствии с 4.2.3.3. Размер и расположение других защитных и оградительных устройств (если таковые имеются), которые термически или физически защищают водородную систему, должны быть такими, чтобы они не нарушали и не ограничивали функционирование систем вентиляции или потоковых барьеров. Если вентиляционный поток не способен снизить концентрацию выбросов (включая аномальные выбросы) горючих газовых смесей или потеря вентиляционного потока создает потенциальную опасность, то необходимо предусмотреть контрмеры в соответствии с 4.2.8.

б) Герметизация. Герметизация может быть использована для изоляции легко воспламеняющейся среды от потенциальных источников воспламенения внутри оборудования.

в) Обдув — это тип защиты электрического оборудования, при котором безопасность достигается с помощью защитного газа, поддерживаемого под избыточным давлением. Если потеря давления защитного газа создает потенциальную опасность, должны быть предусмотрены контрмеры в соответствии с 4.2.8.

г) Каталитическое дожигание. Для снижения концентрации горючих газов в среде могут быть использованы каталитические дожигатели или другие средства снижения концентрации легковоспламеняющихся газов. Если используются каталитические дожигатели или другие потенциальные источники воспламенения, необходимо предусматривать средства подавления пламени.

д) Ингибиторы горения. Инертные газы или другие материалы могут использоваться для снижения воспламеняемости атмосферы или предотвращения возгорания. Следует учитывать возможный риск удушья или токсичность веществ-ингибиторов.

4.2.3.3 Потенциальные источники воспламенения

Если в локальной зоне часто или постоянно присутствуют легковоспламеняющиеся вещества, то установленное в этой зоне оборудование не должно быть источником воспламенения ни при нормальной работе, ни при единичном отказе указанного оборудования. Ниже приведены требования к вероятным источникам воспламенения различных типов:

а) внешние поверхности. При нормальной эксплуатации температура поверхностей компонентов в зонах, вмещающих топливосодержащее оборудование, должна быть ниже температуры самовоспламенения горючих веществ;

б) электрооборудование. Электрооборудование, установленное в зонах, вмещающих топливосодержащее оборудование, должно быть пригодно для использования в зоне размещения;

в) статический разряд. Возможность возникновения статического разряда в зонах размещения топливосодержащего оборудования следует устранять посредством надлежащего соединения и заземления. Установка оборудования в зонах размещения топливосодержащих компонентов должна быть проведена в соответствии с 4.4.8;

г) каталитические материалы. Оборудование, содержащее материалы, способные ускорить реакцию горения, должно препятствовать распространению реакции горения от оборудования в окружающую легковоспламеняющуюся среду.

Если источники воспламенения не могут быть надлежащим образом устранены или существует вероятность самовозгорания — см. 4.2.3.1, 4.2.3.2 и/или 4.2.8.

4.2.4 Система отвода газов

Конструкции всех выхлопных, продувочных, вентиляционных и других устройств выброса в топливной системе должны соответствовать требованиям, изложенным в 4.2.4.1—4.2.4.4. Вероятные отказы системы отвода газов следует рассматривать в составе контроля неисправностей, описанном в 4.2.8.

4.2.4.1 Выбросы газов за пределы транспортного средства

Компоненты топлива в продувочных, вентиляционных и выхлопных газах, присутствующие при работе, не должны создавать опасных условий. Возникающие опасности включают воспламеняемость или токсичность веществ в месте выброса в окружающую атмосферу, а также возможность дальнейшего увеличения концентрации выше допустимых пределов при эксплуатации ТС или его работы в замкнутом помещении.

Выбросы необходимо контролировать за счет сочетания различных технических решений, естественной или принудительной конвекции, каталитических реакторов (рекомбинаторов) и других средств (см. 4.2.3).

В зоне выбросов, а также в зоне рассеивания выбросов, при работе ТС (включая запуск и остановку) содержание опасных веществ должно:

а) быть ниже ПДК;

б) быть ниже НПВ в соответствии с 3.1.14.2 или ограничено по объему и по концентрации водорода, а также на соответствие приложению Б.

В случаях, когда ухудшение качества компонентов или их неисправности, описанные в 4.1.1, могут привести к несоблюдению вышеуказанных критериев, эти элементы должны быть рассмотрены в соответствии с 4.2.8 или проверены на отсутствие опасности в соответствии с приложением Б (включая Б.2, Б.3, и Б.4 в зависимости от ситуации).

Оценка критериев безопасности атмосферы вокруг ТС во время его эксплуатации — в соответствии с 5.2 и приложением В.

4.2.4.2 Выбросы газов в пассажирский, багажный и грузовой отсеки.

Необходимо предотвращать выбросы токсичных, легковоспламеняющихся и взрывоопасных газов в пассажирские, багажные и грузовые отсеки. Этого можно добиться с помощью барьеров, естественной или принудительной конвекции, каталитических реакторов (рекомбинаторов) или других средств,

определенных в 4.2.3. Уровни легковоспламеняющихся и токсичных газов внутри пассажирского, багажного и грузового отсеков должны быть менее 25 % НПВ (в соответствии с 3.1.14.2, примечание 2) и ПДК, установленных государственным уполномоченным органом с учетом 4.1.1.

4.2.4.3 Выбросы газов в другие отсеки

Легковоспламеняемые и взрывоопасные газы не должны сбрасываться в отсеки или пространства внутри ТС , в которых находится оборудование, не предназначенное для легковоспламеняющихся зон. Это следует осуществлять с помощью барьеров, естественной или принудительной вентиляции, каталитических реакторов (рекомбинаторов) или других средств, как определено в 4.2.3.

4.2.4.4 Выделение водорода из тяговых аккумуляторов

Конструкция ТС должна исключать возможность выброса опасных газов сверх ограничений, установленных в 4.2.4.1—4.2.4.3, и соответствовать мерам безопасности, определенным в 4.2.3.

4.2.5 Выбросы из систем хранения водорода и устройств сброса давления

Системы хранения водорода могут выделять водород в результате аварии или неисправности. Выбросы при срабатывании УСД должны выводиться за пределы ТС. Кроме того, если система хранения водорода расположена в пассажирском, багажном или грузовом отсеке, все другие выбросы или потенциальные выбросы из системы хранения водорода необходимо направлять за пределы этих отсеков. Направление потоков сброса водорода должно сводить к минимуму воздействие на людей (как внутри, так и снаружи ТС) или распространение опасностей внутри ТС или окружающей его среды. Указания к проектированию систем хранения водорода, УСД и вентиляционных систем приведены в приложении Г.

4.2.6 Заправка топливом

Заправочный ниппель должен быть расположен на ТС таким образом, чтобы возможные утечки при заправке отводились непосредственно за пределы ТС, не попадая в пассажирский салон, багажное отделение или другое внутреннее пространство ТС. Заправочный ниппель запрещено размещать в местах, которые с большой вероятностью могут быть повреждены при авариях, например в энергопоглощающих элементах ТС.

Заправочный ниппель следует защищать от проникновения грязи и влаги, а уплотняющие поверхности заправочного ниппеля должны быть защищены дверцей, крышкой или заглушкой.

При подключении заправочный ниппель должен быть соединен с электропроводным шасси ТС. Измеренное электрическое сопротивление должно быть не более 1,000 Ом.

Заправочный ниппель необходимо защищать от неполадок и вращения (например, с помощью блокировки во всех направлениях) и закреплять на ТС таким образом, чтобы исключить возможные ошибки при эксплуатации (см. ГОСТ Р 70680).

ТС также должно иметь защитные функции, обеспечивающие выполнение одного (или обоих) из следующих условий:

- ТС не может начать движение, пока заправочная муфта подсоединена к заправочному ниппелю;
- заправочный ниппель должен быть установлен и закреплен так, чтобы предотвратить разрыв заправочной линии или соединений внутри ТС в случае его выезда с места, при этом разрывная муфта предназначена для отделения заправочного шланга на заправочной станции (см. приложение Д).

Необходимо учитывать положения 4.7 и 5.1 для требований к маркировке безопасности и руководства по безопасности при заправке топливом соответственно.

4.2.7 Откачка топлива

Должны быть разработаны средства для удаления топлива из ТСТЭ для технического, послеаварийного обслуживания и других целей (см. раздел 6 и 7.2).

4.2.8 Контроль топливной системы

Потенциальные неисправности оценивают в соответствии с 4.1.1. Неисправности, приводящие к потенциальной опасности, следует рассматривать и устранять с применением 4.1.1.4 и 4.6.

4.2.8.1 Неисправности, сопровождающиеся выбросом топлива

Выброс топлива в результате неисправности может приводить к образованию потенциально воспламеняющейся среды. Методы обнаружения таких неисправностей могут включать прямые измерения концентрации водорода, измерения расхода или давления в системе.

4.2.8.2 Ошибка отключения подачи топлива

Обнаружение неисправности при процедуре отключения подачи топлива — в соответствии с 4.2.2.

4.2.8.3 Сбой процесса

Под сбоем процесса подразумевают превышение нормальных рабочих значений параметров компонента или системы, таких как давление, температура и другие.

4.2.8.4 Неисправность вентиляции

Потеря или уменьшение потока воздуха, предназначенного для управления потенциально опасной средой в соответствии с 4.2.3.2.

4.3 Безопасность системы топливных элементов

Система топливных элементов представляет собой электрохимический генератор тока и различные вспомогательные системы, которые, при отсутствии должного контроля, могут подвергнуть пассажиров ряду опасностей (например, поражению электрическим током, утечке топлива).

4.3.1 Конструкция системы топливных элементов

ГОСТ Р 70680 следует использовать для разработки подсистем, содержащих водород, а также руководствоваться 4.2 для интеграции этих подсистем в ТС. Подсистемы, использующие электрические компоненты, должны быть спроектированы по 4.4.

4.3.2 Конструкция батареи топливных элементов

Батарею топливных элементов необходимо проектировать с учетом недопущения утечек рабочих газов и жидкостей, неконтролируемого повышения или понижения давления рабочих сред, контакта человека с токоведущими элементами системы и возможности короткого замыкания.

Если во время эксплуатации из батареи топливных элементов может возникнуть утечка жидкостей или газов из-за неисправности или износа компонентов системы, необходимо оценить и устранить потенциальные последствия этих утечек в соответствии с 4.1.1, 4.2.8, 4.6, 5.1 и 5.2. Подобные утечки включают, помимо прочего, внутренний перенос типа «топливо—охлаждающая жидкость», способный привести к появлению водорода внутри системы охлаждения и его выходу в воздух, что может привести к выбросу потенциально воспламеняющихся смесей во время работы (см. 4.2.4.1 для методов оценки нормальных газообразных выбросов вне ТС).

4.3.3 Защита от поражения электрическим током высокого напряжения

Необходимо, чтобы система топливных элементов соответствовала требованиям по электробезопасности, определенным в 4.4.3.

4.3.4 Устойчивость к высокому напряжению

При проверке конструкции каждая высоковольтная система должна демонстрировать достаточную диэлектрическую прочность, не допускающую пробоя диэлектрика и искрения после приложения напряжения в соответствии с 4.4.4. Блок(и) топливных элементов и другое оборудование/контуры, которые могут быть повреждены в ходе подобных испытаний, могут быть отсоединены.

4.3.5 Мониторинг системы топливных элементов и отходящих газов

Приведенные ниже потенциальные неисправности должны быть оценены в соответствии с 4.1.1. Случаи превышений пределов безопасной эксплуатации следует рассматривать с использованием 4.1.1.4 и 4.6.

4.3.5.1 Неисправность в работе блока топливных элементов

Выход за предельно допустимые значения температуры, давления и расхода могут привести к отказам внутренних или внешних компонентов и впоследствии подвергнуть персонал опасности.

4.3.5.2 Нарушение изоляции — см. 4.4.9.1

4.3.5.3 Пониженное напряжение

Низкое напряжение батареи топливных элементов или отдельных ее элементов может привести к отказу внутренних или внешних компонентов и впоследствии подвергнуть персонал опасности.

4.3.5.4 Перегрузка по току

Токи, превышающие номинальные значения, могут привести к отказу внутренних или внешних компонентов и впоследствии подвергнуть персонал опасности.

4.4 Безопасность электрической системы

Целью проектирования электрической системы и ее мониторинга является предотвращение травм персонала и непреднамеренных замыканий, которые могут привести к образованию источника воспламенения или нанести ущерб.

4.4.1 Кабели высокого напряжения

Кабели и разъемы высокого напряжения следует окрашивать в оранжевый цвет в соответствии с [1] (п. 5.1.1.5.3).

4.4.2 Разъемы высокого напряжения

Разъемы для высоковольтных компонентов должны соответствовать методам испытаний и общим требованиям к характеристикам, установленным в ГОСТ Р 52230—2004 (кроме 4.15.1 (таблица 2)).

4.4.3 Защита от поражения электрическим током высокого напряжения

Электрическая система высокого напряжения в ТС должна быть защищена таким образом, чтобы свести к минимуму опасность, связанную с контактом людей с электрическими проводами. Дополнительная информация приведена в приложении Е.

Базовую защиту от поражения электрическим током необходимо обеспечивать в безаварийном режиме в течение всего срока службы ТС, в том числе с помощью основной изоляции и/или ограждений (таких как кожухи, крышки, ограждения), которые должны:

- исключать доступ к токоведущим частям без использования инструментов;
- защищать от прямого контакта с частями, находящимися под напряжением, обеспечив соответствующую защиту IPXXB, IPXXC или IPXXD.

Выравнивание потенциалов всех открытых токопроводящих частей должно быть обеспечено путем присоединения этих частей к электропроводящему шасси в соответствии с 4.4.8.1.

Сопротивление изоляции между любой из шин высокого напряжения и электропроводящим шасси должно соответствовать требованиям, определенным в 4.4.3.1 и приведенным в таблице 1.

Дополнительные меры, определенные в 4.4.3.1 и приведенные в таблице 1, также необходимо реализовывать для обеспечения защиты от поражения электрическим током в условиях единичной неисправности. Эти дополнительные меры учитывают вклад Y-конденсаторов в увеличение тока, проходящего через тело человека при прикосновении к электрической шине. Требования различаются в зависимости от типа тока, проходящего через тело человека, возникающего при прикосновении к электрической шине, поэтому при защите от поражения электрическим током необходимо оценивать рабочие условия и конкретные ситуации.

В качестве альтернативы мерам, указанным в 4.4.3.1 и 4.4.3.2, контрмеры, указанные в 4.4.3.3, могут быть использованы для деактивации шины в нерабочих состояниях или при ремонте.

Таблица 1 — Требования к изоляции при использовании различных типов высоковольтных систем

Тип системы высокого напряжения	Сопротивление изоляции для «плавающей» системы по 4.4.3.1	Дополнительные меры по защите от поражения электрическим током в условиях единичного отказа в 4.4.3.1—4.4.3.2	
		контактный переменный ток, AC[1)]	контактный постоянный ток, DC[2)]
Системы постоянного тока, DC	≥ 100 Ом/В		Энергия Y-конденсаторов до 0,2 Дж[3)] или защита системы постоянного тока по 4.4.3.2
Системы переменного тока, AC	≥ 500 Ом/В	Контактный ток менее 5 мА (мс) или защита системы переменного тока по 4.4.3.2	Энергия Y-конденсаторов до 0,2 Дж[3), 4)] или защита системы переменного тока по 4.4.3.2
Системы переменного и постоянного тока с кондуктивным соединением	≥ 500 Ом/В	Контактный ток ≤ 5 мА (мс) или защита системы переменного тока по 4.4.3.2	Энергия Y-конденсаторов до 0,2 Дж[3)] или защита системы постоянного или переменного тока по 4.4.3.2
Вариант 1: Система с токопроводящим подключением соответствует требованиям системы переменного тока			
Вариант 2: Дополнительная защита AC	≥ 100 Ом/В	Защита системы переменного тока по 4.4.3.2	Энергия Y-конденсаторов до 0,2 Дж[3)] или защита системы постоянного или переменного тока по 4.4.3.2

[1)] Воздействие переменного тока может произойти при прикосновении к работающей шине переменного тока.

[2)] Воздействие постоянного тока может произойти при прикосновении к электрической шине постоянного тока или прикосновении к электрической шине в системе переменного тока, когда система заряжается, но не генерирует мощность переменного тока (например, не переключается).

[3)] См. [2] для получения информации о методологии расчета общей энергии, хранящейся в Y-конденсаторах системы.

[4)] Y-конденсаторы обычно не используют в цепях переменного тока, подключенных к электродвигателям.

4.4.3.1 Высоковольтная изоляция

Требования к сопротивлению изоляции, а также к емкости Y-конденсаторов приведены в 4.4.3.1.1—4.4.3.1.3. В качестве альтернативы этим требованиям могут быть применены защитные меры, определенные в 4.4.3.2, или меры по отключению электрических шин по 4.4.3.3.

4.4.3.1.1 Системы постоянного тока высокого напряжения

Сопротивление изоляции при измерении от любой шины постоянного тока до шасси должно быть не менее 100 Ом/В.

Энергия, запасенная в Y-конденсаторах, если таковые имеются, — не более 0,2 Дж. В качестве альтернативы в системах постоянного тока могут быть реализованы защитные меры, указанные в 4.4.3.2.

4.4.3.1.2 Системы переменного тока высокого напряжения

Сопротивление изоляции при измерении от любой шины переменного тока до шасси должно быть не менее 500 Ом/В.

Ток при измерении от шины переменного тока до шасси — не более 5 мА. Кроме того, энергия, запасенная в Y-конденсаторах, если таковые имеются, должна быть не более 0,2 Дж. В качестве альтернативы (одному или обоим требованиям) к системе переменного тока могут быть применены защитные меры, определенные в 4.4.3.2.

Измерительный прибор, представленный в ГОСТ IEC 60950-1 (рисунок D.1), должен быть использован для измерения контактного тока. Одну клемму прибора подключают к шине переменного тока высокого напряжения, а другую — к токопроводящему шасси. Напряжение U2 измеряют во время работы системы. Контактный ток определяют как U2/500.

4.4.3.1.3 Высоковольтные системы постоянного и переменного тока с кондуктивной связью

Для случая, когда в переменном токе AC системы присутствует постоянная составляющая DC, необходимо соблюдать одно из двух следующих условий, соответствующих требованиям 4.4.3.1.1 и 4.4.3.1.2:

а) сопротивление изоляции должно быть не менее 500 Ом/В для комбинированной цепи. Контактный ток при измерении от шины переменного тока к электропроводящему шасси должен быть не более 5 мА. В качестве альтернативы к системе переменного тока могут быть применены защитные меры, указанные в 4.4.3.2. Энергия, запасенная в Y-конденсаторах, если таковые имеются, — не более 0,2 Дж, или должны быть реализованы меры защиты, указанные в 4.4.3.2, в системах как постоянного, так и переменного тока;

б) сопротивление изоляции — не менее 100 Ом/В для комбинированной цепи, а меры защиты, указанные в 4.4.3.2, должны быть реализованы в системе постоянного тока DC, в дополнение к системе переменного тока AC. Энергия, запасенная в Y-конденсаторах, если таковые имеются, должна быть не более 0,2 Дж. В качестве альтернативы защитные меры по 4.4.3.2 следует реализовывать в системе постоянного тока DC (в дополнение к системе переменного тока AC).

4.4.3.2 Электрозащитные ограждения

Для защиты от сбоев электрозащитные ограждения должны дополнять условия, указанные в 4.4.3, и обеспечивать достаточную механическую/физическую прочность и устойчивость к неисправностям.

Ниже приведены примеры электрозащитных ограждений для защиты от повреждений:

а) добавление одного или нескольких слоев изоляции и/или ограждений (включая различные кожухи, покрытия и обшивки), если сочетание основных мер, указанных в 4.4.3, и дополнительных мер обеспечивает достаточную механическую прочность и устойчивость для обеспечения защиты от предполагаемых неисправностей во время эксплуатации ТС.

Примечание — Вместо двойной или усиленной изоляции это позволяет использовать несколько слоев основной изоляции как для базовой, так и для дополнительной защиты, если основная изоляция обладает необходимой механической прочностью и износостойкостью. Конкретными примерами возможных подходов для достижения требуемой защиты являются использование двух или более слоев твердых изоляторов или кабелепровода для защиты основной изоляции;

б) двойная или усиленная изоляция с достаточной механической прочностью и долговечностью, чтобы обеспечить предполагаемую защиту от неисправностей в течение всего срока службы ТС;

в) различные барьеры (например, кожухи аккумуляторных батарей, топливных элементов и двигателя, корпусы блоков управления питанием, разъемов и т. д.) с механической прочностью и долговечностью, достаточными для обеспечения предполагаемой защиты от неисправностей в течение всего срока службы ТС, в том числе одновременно в качестве основной и дополнительной защиты.

4.4.3.3 Обесточивание высоковольтных цепей

Некоторые события (выключение ключа ТС, авария) или неисправности, определенные в 4.4.9, могут привести к обесточиванию цепей высокого напряжения (или их частей).

Чтобы электрическая цепь считалась неопасной, должен выполняться один из следующих критериев:

- напряжение на всех шинах переменного тока — меньше 30 В переменного тока, а напряжение на всех шинах постоянного тока — меньше 60 В постоянного тока;

- суммарная энергия тока на всех высоковольтных шинах составляет не более 0,2 Дж. Расчет энергии шины должен учитывать емкости всех X- и Y-конденсаторов, подключенных к конкретной шине, по отношению к электропроводящему шасси ТС.

4.4.4 Способность выдерживать высокое напряжение

Необходимо, чтобы каждая высоковольтная система демонстрировала достаточную диэлектрическую прочность, не допускающую признаков пробоя диэлектрика или искрения после приложения напряжения. Основное внимание в ходе испытаний уделяют подтверждению того, что жгуты, шины и соединители имеют достаточный запас для работы при высоком напряжении. Установление испытательных напряжений и проведение испытаний — в соответствии с приложением Е. Система топливных элементов (см. 4.3.4) и другое оборудование/цепи, поврежденные при испытаниях сборок, могут быть отсоединены.

4.4.5 Доступ к деталям под напряжением

На крышках, предназначенных для предотвращения доступа к деталям под напряжением, опасным для здоровья, следует предусматривать блокировочное соединение, специальный крепеж или другие средства блокировки. Если в целях безопасности используют контур блокировки опасного напряжения HVIL, то подобные средства блокировки могут быть в него включены.

4.4.6 Маркировка

Высоковольтное оборудование или отсеки, содержащие высоковольтное оборудование, должны быть обозначены символом W08 «Опасность поражения электрическим током», приведенным на рисунке 2, в соответствии с ГОСТ 12.4.026.



Рисунок 2 — Знак W08 по ГОСТ 12.4.026 — 2015

4.4.7 Защита от перегрузки по току

Рекомендации по предохранению и защите от перегрузки по току — см. [3].

4.4.8 Заземление

Компоненты и системы ТС должны быть надлежащим образом заземлены, как определено в 4.4.8.1—4.4.8.2, чтобы предотвратить накопление или возникновение разности потенциалов, которое может привести к опасному событию.

4.4.8.1 Заземление высоковольтной электрической системы для защиты от поражения электрическим током

Все открытые токопроводящие детали, включая перегородки и кожухи электрических систем высокого напряжения, необходимо соединять с электропроводным шасси таким образом, чтобы сопротивление между открытой проводящей частью и электропроводным шасси было менее 0,1 Ом при протекании тока не менее 0,2 А. Это требование считают выполненным, если заземляющее соединение выполнено сваркой и сварной шов проконтролирован неразрушающим методом контроля.

4.4.8.2 Защита от воспламенения горючих газов

Меры, определенные в 4.4.8.2.1—4.4.8.2.3, необходимы для предотвращения воспламенения газообразного водорода, способного просачиваться из ТС или заправочной станции/колонки во время заправки топливом.

4.4.8.2.1 Заземление топливной системы транспортного средства

Электропроводные части заправочной системы и компоненты, в которых могут скапливаться потенциально воспламеняющиеся пары, должны иметь электрическое соединение с электропроводящим шасси ТС.

4.4.8.2.2 Защита от статических разрядов в салоне транспортного средства

Для внутренних компонентов следует выбирать материалы, не вызывающие статических разрядов.

4.4.8.2.3 Заземление на заправочной станции во время заправки

ТС должно быть заземлено до подсоединения заправочной муфты. Сопротивление заземления при этом должно быть не более 125 МОм.

4.4.9 Мониторинг неисправностей электрической системы

Потенциальные неисправности, перечисленные в 4.4.9.1 и 4.4.9.2, оценивают в соответствии с 4.1.1. Элементы, превышающие предельные значения для безопасной эксплуатации, следует рассматривать в соответствии с 4.1.1.4, 4.4.3.3 и 4.6.

4.4.9.1 Нарушение изоляции

Сопротивление изоляции ниже уровней, указанных в 4.4.3.1, может представлять опасность для обслуживающего персонала.

4.4.9.2 Перегрузка по току

Токи, превышающие номинальные параметры оборудования, могут привести к повреждению компонентов.

4.4.10 Гибридные транспортные средства на топливных элементах

ТС с топливными элементами и аккумуляторными батареями и/или конденсаторами должны соответствовать следующим требованиям.

4.4.10.1 Оборудование для зарядки

Для ТС, которые можно зарядить от сети с помощью бортовых или внешних зарядных устройств, соединения между зарядной станцией и ТС должны соответствовать ГОСТ Р МЭК 62196-1. Система топливных элементов, определенная в 4.3, может быть отключена от заряжаемой цепи при выполнении данных требований и 4.4.10.2.

Токопроводящий разъем (заправочный ниппель), установленный на ТС, должен обладать такими защитными свойствами для предотвращения непреднамеренного контакта с высоким напряжением, как утопленные контакты или интеграция с HVIL.

4.4.10.2 Обратное питание топливного элемента

При необходимости систему БТЭ следует защищать от непреднамеренной обратной подачи энергии от других источников, таких как блок тяговых батарей и/или система рекуперативного торможения.

4.4.11 Автоматическое отключение

Функция автоматического отключения должна обеспечивать средства отключения как положительных, так и отрицательных контактов источников энергии (систем топливных элементов, тяговой батареи и других источников высокого напряжения). Эта функция должна активироваться либо главным выключателем, либо срабатывать автоматически в качестве системы защиты согласно 4.1.1.4 или 4.6.

Примечание — Функцию автоматического отключения можно обеспечить с помощью механических прерывателей или контакторов, полупроводниковых переключателей (например, IGBT) или других средств, размыкающих цепь.

4.4.12 Ручное отключение

Должны быть предусмотрены средства для отключения полюса(ов) или обесточивания модуля топливных элементов, тяговой батареи и других источников высокого напряжения от внешних цепей или компонентов. Эта функция необходима для сервисного и периодического обслуживания ТС.

4.5 Механическая безопасность

Необходимо обеспечить механическую функциональную безопасность, но не обязательно, чтобы она была реализована только механическими средствами.

4.5.1 Главный выключатель

Необходимо предусмотреть функцию единого главного выключателя, чтобы оператор мог отключить источники тягового питания в соответствии с 4.4.11, отключить систему топливных элементов и перекрыть подачу топлива. Главный выключатель должен приводиться в действие оператором и быть доступным для него, как, например, обычный выключатель зажигания.

4.6 Методы обеспечения безотказной работы при повреждении отдельных элементов системы

В ТС следует обеспечивать возможность поэтапного предупреждения и/или безопасного отключения при обнаружении неисправностей, которые могут привести к опасным условиям. В соответствии

с 4.1.1.4 последовательность действий зависит от рабочего состояния ТС. Система управления ТС должна иметь возможность отключать подачу топлива и электроэнергии независимо от того, отключил оператор системы ТС или нет. Требуемые положения для автоматического отключения подачи топлива определены в ГОСТ Р 70680, а автоматическое отключение электропитания определено в 4.4.11.

При обнаружении критичных неисправностей необходимо выполнять действия, описанные в 4.6.1—4.6.5.

4.6.1 Отключение главного выключателя

Отключение главного выключателя, как определено в 4.5, должно прекратить подачу топлива и отключить батарею топливных элементов, тяговую батарею или другие источники высокого напряжения.

4.6.2 Аварийное реагирование

При срабатывании датчиков удара необходимо отключать подачу топлива и электрическую нагрузку. Функции отключения подачи топлива и электрической нагрузки должны быть восстанавливаемы.

4.6.3 Запуск транспортного средства

Если ТС находится в процессе запуска, и при этом обнаружена потенциально опасная неисправность, необходимо немедленно отключить и изолировать источники питания и топлива.

4.6.4 Недвижущееся транспортное средство

Если ТС завелось, но не движется, то при обнаружении потенциально опасной неисправности оператору должно быть представлено предупреждение. Если ТС не сдвинулось с места по истечении заданного времени, то может оказаться целесообразным выполнить автоматическое отключение, даже если главный выключатель не отключен (согласно 4.5.1).

4.6.5 Транспортное средство в движении

Если ТС находится в движении, то при обнаружении потенциально опасной неисправности необходимо немедленно уведомить об этом оператора. Некоторые неисправности могут потребовать немедленного отключения высокого напряжения и/или подачи топлива.

Если топливный элемент является единственным источником энергии, отключение должно быть выполнено после остановки ТС (согласно 4.6.4) или отключения главного выключателя (согласно 4.5.1).

4.7 Маркировка и обозначения

Значки, этикетки, ярлыки или другие средства идентификации следует использовать для предупреждения о потенциальных опасностях, связанных с эксплуатацией и обслуживанием ТС.

Предупреждающие этикетки необходимы для лиц экстренного реагирования с целью предупреждения об опасностях, связанных с наличием в компонентах ТС опасных веществ и высокого напряжения:

- для ТС с полной разрешенной массой 8845 кг и менее — см. 4.7.2;
- для водородных ТС — см. 4.7.2.4.2.

Предупреждающие этикетки должны быть прочными и надежно прикрепленными к ТС.

4.7.1 Маркировка и обозначения для высоковольтных и водородных систем

Линии высокого напряжения обозначают в соответствии с 4.4.1. Электрооборудование или места под высоким напряжением следует маркировать в соответствии с 4.4.6.

Требования к маркировке топливных компонентов и систем см. в ГОСТ Р 70680.

Для ТС с системами хранения сжатого водорода «класс давления» (Н35, Н70 и т. д.) и дата снятия с эксплуатации в соответствии с регулирующими требованиями должны быть указаны на топливном/заправочном ниппеле ТС или рядом с ним.

4.7.2 Маркировка транспортных средств с полной разрешенной массой 8845 кг или менее

Наружная маркировка на ТС должна быть четко различима приближающимся спасателем в соответствии с 4.7.2.1 и 4.7.2.2. Дизайн наружной маркировки — в соответствии с 4.7.2.4.

Внутренняя маркировка ТС — по 4.7.2.3 и 4.7.2.4.

4.7.2.1 Расположение наружной маркировки и этикеток

Если используется один внешний маркировочный знак, он должен быть размещен на внешней правой задней поверхности ТС, например на багажнике, кузове хэтчбека или задней двери, но не на бампере. Если используется уникальный символ, слово или заводская табличка, то данное требование не ограничивается использованием маркировки только на правой стороне ТС.

Дополнительные маркировочные знаки на ТС, работающих на водороде или топливных элементах, разрешены на передней поверхности ТС, а также на других внешних поверхностях.

4.7.2.2 Размер маркировки на внешней поверхности транспортного средства

Высота внешних значков или этикеток должна быть не менее 25 мм. Для ТС, у которых высота всех других значков и этикеток составляет менее 25 мм, значок или этикетка должны быть не меньше самых больших букв, используемых для другой его внешней идентификации.

4.7.2.3 Расположение этикеток и ярлыков в салоне транспортного средства

Если на ТС используют единственный внешний маркировочный знак, необходимо предусмотреть также и внутренний.

Внутренняя этикетка (или ярлык) должна быть прикреплена в месте, видимом из окна водителя или пассажира, рядом с замком зажигания или кнопкой запуска или включения на приборной панели, консоли или рулевой колонке. Также разрешается расположение этикетки/ярлыка на одной стороне/поверхности солнцезащитного козырька водителя, если такое расположение не противоречит положениям настоящего стандарта.

4.7.2.4 Факторы разработки маркировки внешних и внутренних этикеток и ярлыков

Формулировки или надписи для этикеток или ярлыков определены:

- для ТС, работающих на водороде, — в 4.7.2.4.1;
- для ТС, работающих на топливных элементах, — в 4.7.2.4.2.

4.7.2.4.1 Транспортные средства на водороде

Маркировка ТС на водороде — в соответствии с ГОСТ ISO 17840-4.

Производитель ТС на топливных элементах обязан предоставить к нему руководство экстренного реагирования.

4.7.2.4.2 Транспортные средства на топливных элементах

Маркировку ТС на топливных элементах проводят в соответствии с ГОСТ ISO 17840-4.

Производитель ТС на топливных элементах обязан предоставить руководство экстренного реагирования к такому ТС.



Рисунок 3 — Пример маркировки ТС на водородных топливных элементах по ГОСТ ISO 17840-4.

5 Эксплуатация

5.1 Руководство пользователя

В связи с большой степенью вариативности систем ТС на топливных элементах изготовитель ТС должен предоставить руководство пользователя или инструкцию по эксплуатации, в которых необходимо представить эксплуатационные характеристики, условия заправки и безопасности ТС, включающее

а) правила безопасной эксплуатации ТС;

б) меры предосторожности, связанные с газами, жидкостями и материалами, хранящимися, используемыми или обрабатываемыми в ТС;

в) возможные угрозы безопасности, связанные с работой ТС или отдельных его систем, и соответствующие действия в случае обнаружения проблемы. Следует отметить все ограничения или требования, связанные с эксплуатацией, парковкой или хранением в гаражах или коммерческих сооружениях, а также все особые требования к транспортировке;

г) процедуры заправки топливом и сопутствующие этому требования безопасности, включая, в случае ТС с системами хранения сжатого водорода, «класс(ы) давления», которые могут использоваться для заправки топливом ТС;

д) требования безопасности, связанные с заменой деталей или жидкостей оператором;

е) информацию по аварийным ситуациям на дороге;

ж) описание процедур технического обслуживания.

5.2 Штатные выбросы транспортных средств

Все газообразные выбросы из ТС должны быть неопасными при нормальной эксплуатации (включая запуск и остановку). Помещения внутри зданий и сооружений, в которых предполагается нахождение работающего ТСТЭ, должны быть квалифицированы уполномоченной организацией на основе недопущения превышения 25 % НПВ по водороду в этих помещениях.

Требования, определенные в 5.2.1 и 5.2.2, основаны на информации, содержащейся в приложении В.

Габариты условного пространства для хранения стандартных легковых автомобилей составляют 4,5 × 2,6 × 2,6 м. Объем такого помещения равен 30,4 м^3. Для ТС меньшего или большего размеров объем такого помещения и площадь его пола могут быть масштабированы с помощью следующих коэффициентов:

$$R = (V_ш + 1) \cdot (V_в + 0{,}5) \cdot (V_д + 1)/30{,}4, \quad (1)$$

$$FR = (V_ш + 1) \cdot (V_д + 1)/11{,}7, \quad (2)$$

где R — коэффициент объема;

FR — коэффициент площади пола;

$V_ш$, $V_в$ и $V_д$ — ширина/высота/длина ТС.

ТС может быть проверено на соответствие требованиям настоящего стандарта посредством испытаний, анализа или их комбинации на основе обоснованного инженерного решения. При проверке конструкции ТС следует учитывать влияние эксплуатационных изменений, износа компонентов и выбросов. Если какая-либо неисправность не может быть полностью устранена в соответствии с 4.2.8, конструкция компонентов или систем, подверженных выходу из строя, должна быть доработана, чтобы свести к минимуму вероятность любых выходов из строя.

5.2.1 Выбросы транспортных средств внутри невентилируемых помещений

ТС должны иметь возможность парковаться в невентилируемых сооружениях (например, гаражи) с полным воздухообменом до 0,03 объемов помещения в час. Руководство по проведению оценки выбросов водорода в окружающую среду в замкнутом пространстве приведено в приложении В. Методология оценки систем хранения водорода приведены в ГОСТ Р 70680.

5.2.2 Выбросы транспортных средств в вентилируемых помещениях

ТС должны безопасно работать в вентилируемых помещениях, которые имеют механическую или естественную вентиляцию до 0,23 м^3/мин на квадратный метр. Необходимо, чтобы пространство, окружающее ТС, оставалось «неклассифицированным», когда ТС заводится, работает (на холостом ходу) и останавливается. ТС с выбросами, которые локально превышают НПВ в соответствии с 4.2.4.1, следует проверять на соответствие этому требованию посредством испытаний, как описано в В.3 и/или В.4 (приложение В).

5.3 Нарушение правил эксплуатации транспортного средства

Изготовитель ТС должен учитывать потенциальное экстремальное использование ТСТЭ и, при необходимости, предусмотреть меры по смягчению последствий, чтобы эксплуатация этих ТС была не более опасной, чем эксплуатация обычных транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Изготовителю необходимо обеспечить эксплуатационные ограничения ТС при таких обстоятельствах.

ТС может быть проверено на соответствие 5.3 посредством испытаний, анализа или их комбинации на основе надежной инженерной оценки (см. приложение В).

5.4 Выбросы

Все выбросы веществ из ТС должны быть нетоксичными и ограниченными количественно так, чтобы не создавать опасных условий и не затруднять его движение.

6 Действия при аварийных ситуациях

Изготовитель ТС должен предоставлять доступную информацию для персонала служб безопасности и/или аварийно-спасательных служб относительно действий при авариях с участием ТС на водородных топливных элементах. Для аварийно-спасательных служб должна быть доступна следующая информация:

а) идентификация ТС по знакам безопасности и значкам (см. 4.7);

б) объяснение опасностей, связанных с топливом, системами высокого напряжения и любыми материалами или компонентами системы топливных элементов или ТС в целом;

в) процедура проверки срабатывания функций автоматического отключения подачи топлива и электрического отключения;

г) расположение и порядок ручного отключения подачи топлива и отсоединения электрической шины, при наличии такой возможности;

д) информация о том, что могут возникать ситуации, когда одни резервуары могут быть опорожнены, а другие все еще находятся под давлением, а поврежденные резервуары могут взорваться через некоторое время после аварии или воздействия огня. Более подробно данные ситуации описаны в 4.2.7 и 7.2.

7 Обслуживание

7.1 Руководство по обслуживанию

Из-за большого количества возможных исполнений систем ТС на топливных элементах изготовителю ТС необходимо нести ответственность за составление руководства по текущему и техническому обслуживанию ТС, которое должно содержать, как минимум, следующие положения.

1 Химические и физические свойства опасных материалов, хранящихся или обрабатываемых в ТС.

2 Возможные угрозы безопасности, создаваемые ТС или его системами во время технического обслуживания, и соответствующие действия в случае обнаружения неисправности.

3 Процедуры оказания первой помощи, характерные для уникальных опасностей для данного вида ТС.

4 Инструменты для обслуживания, оборудование и СИЗ.

5 Методы и процедуры для конкретных операций обслуживания (например, сброс топлива).

6 Предлагаемые и требуемые элементы технического обслуживания и их графики.

7.2 Процедура сброса топлива

Процедуры сброса топлива следует рассматривать как часть штатной эксплуатации и включать в руководство по обслуживанию производителя ТС. В дополнение к стандартным ситуациям обслуживания, включая условия неисправности, должна быть учтена возможность сброса топлива из системы хранения топлива поврежденных ТС.

Для топливных систем, работающих на сжатом газе, сброс топлива обычно требует сброса давления из системы хранения топлива и/или топливной системы до рекомендуемого уровня с последующей продувкой инертным газом, который снижает содержание водорода до безопасного уровня.

7.3 Безопасность объекта

Ремонт ТС необходимо проводить в помещениях, имеющих соответствующее оборудование и с предусмотренными мерами безопасности, в соответствии с местными и государственными строительными нормами.

Приложение А
(обязательное)

Критерии оценки послеаварийного состояния систем хранения компримированного водорода

А.1 Базовый метод измерения утечки водорода

А.1.1 Требования к утечке водорода

Требования к утечке водорода основаны на физических свойствах компримированного природного газа (и азота в качестве тестового газа) и погрешностях измерений, связанных с номинальными рабочими давлениями (или рабочим давлением) систем хранения компримированного природного газа в диапазоне от 20 до 25 МПа. Эти значения должны быть скорректированы для рабочих давлений систем хранения сжатого водорода в диапазоне от 25 до 70 МПа с водородом или гелием в качестве испытательного газа.

Падение давления в системах компримированного природного газа (20 или 25 МПа) при ударе в результате любого столкновения ТС с неподвижным или движущимся препятствием в течение 60-минутного периода после прекращения движения не должно превышать 1062 кПа или 895 (T/VFS), в зависимости от того, что выше, где T — средняя температура испытуемого газа в градусах Кельвина, приведенная к температуре окружающей среды перед испытанием, которую вычисляют путем измерения температуры окружающей среды в начале испытания, а затем каждые 15 мин до завершения испытания, которое длится 60 мин; сумму температур окружающей среды затем делят на пять, чтобы получить среднюю температуру T; VFS — внутренний объем топливного бака и топливопроводов до первого места перекрытия подачи топлива, измеряемый в литрах.

Второй критерий основан на количестве утечки компримированного природного газа, который по содержанию энергии сгорания эквивалентен общему количеству утечки бензина, (допускается утечка 1,7 кг жидкого топлива в течение 60-минутного интервала после прекращения движения вследствие столкновения). Используя значение 42,7 МДж/кг в качестве средней низшей теплотворной способности жидкого топлива (бензина и дизельного топлива), допустимая потеря энергии в 72590 кДж допускается в течение 60-минутного интервала после прекращения движения. Пропорционально этому общему количеству выделяемой энергии сгорания по отношению к тому, что разрешено для СПГ, утечка водородного топлива в ходе испытаний (см. [3] и [4]), не должна превышать:

а) 1190 кДж в содержании энергии от удара до прекращения движения ТС;

б) 5950 кДж в течение пятиминутного периода после прекращения движения;

в) 1190 кДж в любой минутный интервал в течение 55 мин после пятиминутного периода, указанного ранее.

В сумме это составляет 72590 кДж энергии сгорания, откуда допустимую потерю массы за 60-минутный период вычисляют с использованием низшей теплотворной способности водорода (119 863 кДж/кг) по формуле

$$m_{\text{н}} = \frac{72590\ \text{кДж}}{119863\ \text{кДж/кг}} = 0,606\ \text{кг}, \qquad (\text{А.1})$$

где $m_{\text{н}}$ — масса водорода.

Пересчет этой массы водорода в объем при стандартной температуре 15 °С и давлении вычисляют по формуле:

$$\frac{606g}{2(1,00794)\ \text{г/мол}} \cdot 22,41\ \text{л/мол} \cdot \frac{288}{273} = 7107\ \text{л} \qquad (\text{А.2})$$

или допускается средняя скорость утечки примерно 118 л/мин в течение 1 ч после прекращения движения в результате столкновения. Потери топлива являются допустимыми для всей системы хранения сжатого водорода на ТС.

На рисунке А.1 показаны потери давления для различных размеров резервуаров и начальных давлений, которые можно рассчитать на основе массы утечки водорода 606 г.

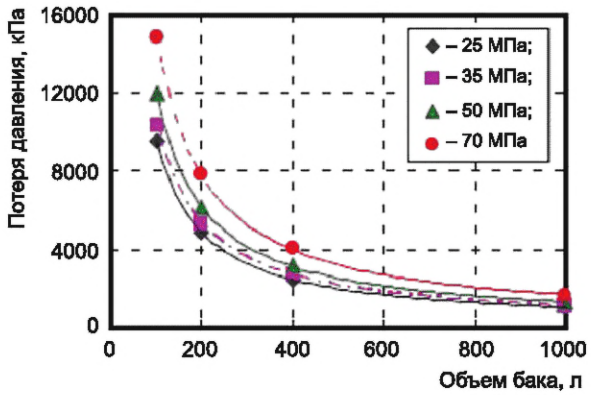


Рисунок А.1 — Потеря давления при утечке водорода 606 г

В соответствии с концепцией критериев по А.1.1 общая погрешность измерения не должна превышать 10 % измеряемой величины. Поскольку считается, что погрешность измерения составляет около 0,5 % диапазона датчика давления для современных систем, потеря давления должна составлять более 5 % диапазона датчика давления для точного измерения.

Факторы погрешности измерения современного датчика давления от 0 до 68950 кПа следующие:

а) погрешность датчика давления (0,11 %) — ±75,8 кПа;

б) термическая погрешность смещения нуля (0,2 %) — ±137,9 кПа;

в) ошибка чувствительности теплового коэффициента (0,15 %) — ±103,4 кПа;

г) ошибка аналого-цифрового преобразования (0,056 %) — ±38,6 кПа.

Таким образом, общая погрешность измерения составляет ±355,7 кПа, что составляет примерно 0,5 % от 68950 кПа. Коэффициент погрешности 0,5 % считают одинаковым для любого диапазона датчиков давления.

Потеря давления 5 % не может быть достигнута для резервуаров объемом более 400 л при выбросе 606 г водорода (см. рисунок 2).

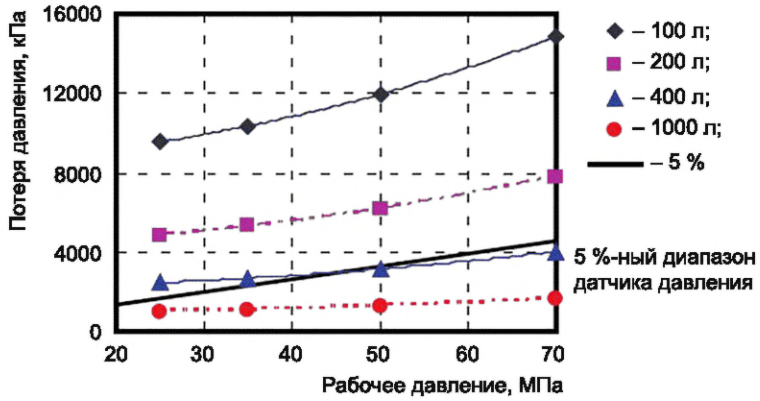
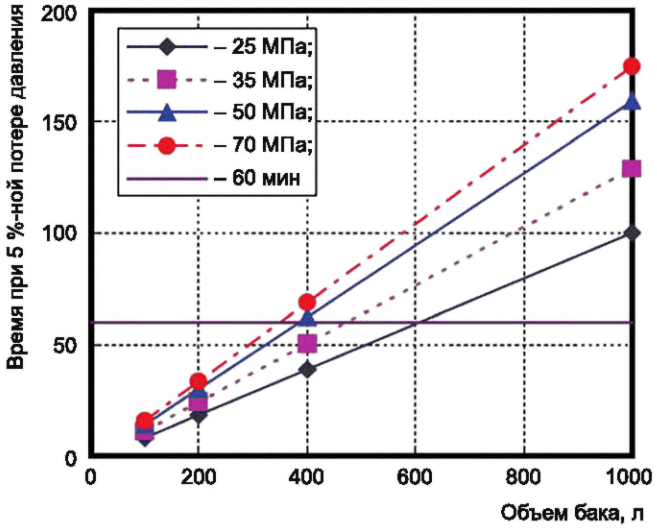


Рисунок А.2 — Потеря давления при утечке водорода 606 г

Для соблюдения требования точности 5 %-ные периоды времени увеличивают так, чтобы утечка топлива обеспечивала 5 %-ную потерю давления. На рисунке А.3 показаны результаты моделирования требуемых периодов времени испытаний с отверстиями, способными обеспечить утечку 606 г за 60 мин.



Временной период, мин

	25 МПа	35 МПа	50 МПа	70 МПа
100 л	8	11	14	16
200 л	18	24	30	33
400 л	39	50	62	69
1000 л	100	129	159	175

Рисунок А.3 — Временной период при 5 %-ной потере давления

Площадь проходных сечений отверстий вычисляют с помощью уравнения потока через отверстия (формула (А.3)) с заменой среднего массового расхода 0,606/3600 кг/с, средних значений давления, температуры, равной 288 К, удельной газовой постоянной водорода, равной 4127 и отношения удельных теплоемкостей *Cp*/*Cv*, равного 1,407 (коэффициент теплоемкости).

$$M = A \cdot \frac{P}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot \left(\frac{2k}{k+1}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (A.3)$$

где M — массовый расход, кг/с;

A — площадь проходного сечения отверстия, м^2;

R — газовая постоянная, Дж/кг · К;

P — давление, Па;

T — температура газа, К;

k — отношение удельных теплоемкостей.

На рисунках А.2 и А.3 диапазон датчика давления в 1,3 раза превышает каждое номинальное (или рабочее) давление.

В соответствии с результатами моделирования на рисунке А.3 требуемое время испытаний (период времени для получения 5 %-ной потери давления от диапазона датчика давления) может быть представлено в уравнении аппроксимации

$$T_{5\%} = \frac{V \cdot NWP}{100} \cdot \left((-0{,}027 \cdot \text{РД} + 4) \cdot Rt - 0{,}21\right) - 1{,}7 \cdot Rt,$$
$$Rt = \frac{SR}{NWP}, \quad (A.4)$$

где $T_{5\%}$ — период времени, за который потери давления достигают 5 %, мин;

V — объем бака, л;

NWP — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

SR — диапазон датчика давления, МПа;

РД — рабочее давление;

Rt — коэффициент диапазона датчика давления.

Для системы на 70 МПа с требуемым перепадом давления 3,5 МПа (5 % от 70 МПа) вместо формулы (А.4) можно использовать приведенную ниже более простую формулу (А.5). Для баков более 450 л необходимо увеличение времени испытаний.

$$T_{5\%} = \frac{13{,}3 \cdot V}{100}. \quad (A.5)$$

А.1.2 Процедура испытаний допустимой утечки водорода при номинальном рабочем (или эксплуатационном) давлении.

На рисунке А.4 показан алгоритм испытания с использованием водорода в качестве испытательного газа при номинальном рабочем давлении (или рабочем давлении).

А.1.2.1 Расчет времени испытания *Lt*

Для расчета используют формулу А.4. Если расчетное время испытания $T_{5\%}$ меньше, чем 60 мин, принимают значение 60 мин (как минимум).

А.1.2.2 Определение средней температуры газа $T_{\text{среднее}}$

Температуру газа измеряют в момент начала испытания, затем каждые 15 мин до момента завершения испытания; значение $T_{\text{среднее}}$ вычисляют как среднее арифметическое всех зарегистрированных за время испытания значений.

А.1.2.3 Расчет массы утечки газа при испытании *ML*

Массу утечки газа при испытании вычисляют на основе измеренных значений температуры и давления газа до и после аварии.

А.1.2.3.1 Приведение значений давления к 288 К

$$Ps_{15} = Ps \cdot \frac{288}{Ts}, \quad Pe_{15} = Pe \cdot \frac{288}{Te}, \quad (A.6)$$

где Ps_{15} — приведенное давление при 288 К, МПа;

Ps — измеренное давление перед испытанием, МПа;

Ts — температура газа перед испытанием, К;

Pe_{15} — приведенное давление при 288 К после испытания, МПа;

Pe — измеренное давление после испытания, МПа;

Te — температура газа после испытания, К.

А.1.2.3.2 Расчет плотности газа:

$$Ds = -0{,}0027 \cdot (Ps_{15})^2 + 0{,}75 \cdot Ps_{15} + 1{,}07,$$
$$De = -0{,}0027 \cdot (Pe_{15})^2 + 0{,}75 \cdot Pe_{15} + 1{,}07, \quad (A.7)$$

где *Ds* — плотность газа до испытания, кг/м^3;
De — плотность газа после испытания, кг/м^3.



Рисунок А.4 — Алгоритм проведения испытания допустимой утечки

Зависимость плотности водорода от его давления показана на рисунке А.5.

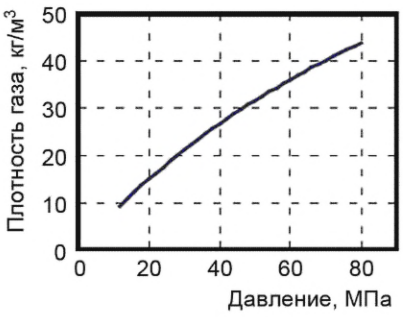


Рисунок А.5 — Зависимость плотности водорода от его давления

А.1.2.3.3 Расчет массы утечки испытательного газа

$$МУ = (Ds - De) \cdot V, \quad (А.8)$$

где МУ — масса утечки испытательного газа, г;

V — объем бака, л.

А.1.2.3.4 Расчет допустимой утечки испытательного газа *AML*

Время проведения испытания и колебания различных условий в течение этого испытания влияют на массу утечки водорода. Формулы (А.10) и (А.11) показывают компенсации этих факторов. После применения компенсаций в формулах (А.10) и (А.11) результирующее значение для допустимой массы утечки тестового газа AML из 606 г вычисляют по формуле

$$ДМУ = 606 \cdot \frac{Lt}{60} \cdot \frac{Ps}{НРД} \cdot \frac{\sqrt{288 \cdot T_{ср}}}{T_н}, \quad (А.9)$$

где ДМУ — допустимая масса утечки испытательного газа, г;

Ps — начальное испытательное давление, МПа;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

Lt — время испытания ($T_{5\%}$ или 60 мин, в зависимости от того, что больше);

$T_н$ — начальная температура газа, К;

$T_{ср}$ — средняя температура газа, К.

А.1.2.4 Рисунки А.6 и А.7 иллюстрируют характеристики массы утечки через отверстие, обеспечивающее утечку 606 г за 60 мин. На рисунке А.6 показано, что масса утечки также пропорциональна времени испытания в течение 60-минутного периода испытаний или до $T_{5\%}$ (например, 175 мин для резервуара объемом 1000 л). Таким образом, компенсационный коэффициент для времени испытаний вычисляют по формуле

$$K_{Lt} = \frac{Lt}{60}, \quad (А.10)$$

где K_{Lt} — это компенсационный коэффициент для времени тестирования;

Lt — время испытаний ($T_{5\%}$ или 60 мин, в зависимости от того, что больше).

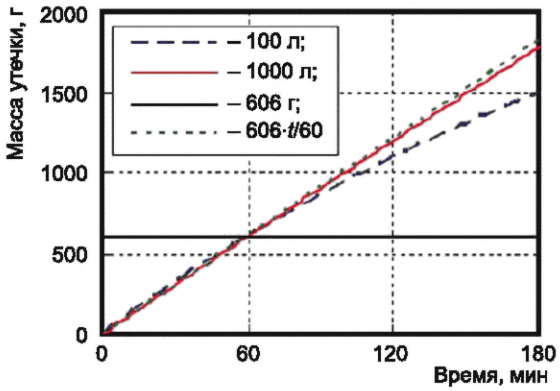


Рисунок А.6 — Характеристики массы утечки во времени

Пропорциональная зависимость между начальным испытательным давлением и массой утечки представлена на рисунке А.7.

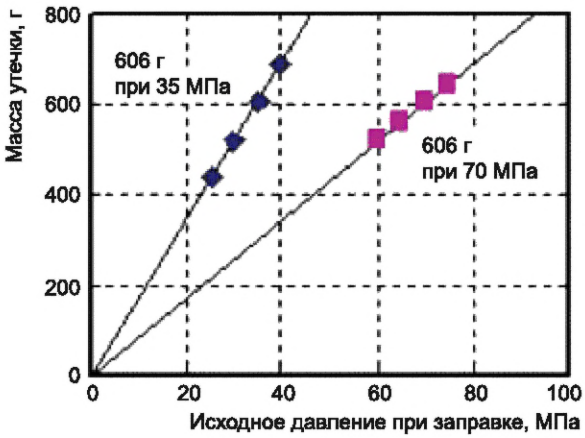


Рисунок А.7 — Утечка водорода при различных исходных испытательных давлениях

Если начальная температура газа $T_н$ не равна стандартной температуре 288 К, то согласно формуле (А.3) допустимый массовый расход необходимо скорректировать на квадратный корень из отношения температур, чтобы учесть отклонение начальной температуры от стандартной.

Средняя температура газа в период испытаний требует учета следующих двух факторов:

а) если средняя температура во время испытания на утечку отличается от начальной температуры газа, то допустимая масса утечки должна быть скорректирована на соотношение температур, чтобы скорректировать видимое изменение давления по сравнению с начальным условием;

б) если средняя температура во время испытания на утечку не совпадает с начальной температурой газа, то допустимая масса утечки также должна быть скорректирована на квадратный корень из отношения начальной температуры газа к средней температуре газа.

С учетом перечисленных указаний, поправочный компенсационный коэффициент вычисляют по формуле

$$K_{уи} = \frac{Ps}{НРД} \cdot \sqrt{\frac{288}{T_н}} \cdot \frac{T_{ср}}{T_н} \cdot \sqrt{\frac{T_н}{T_{ср}}} = \frac{\sqrt{288 \cdot T_{ср}}}{T_н}, \quad (А.11)$$

где $K_{уи}$ — коэффициент компенсации отклонений условий испытаний от стандартных;

Ps — начальное давление, МПа;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

$T_н$ — начальная температура газа, К;

$T_{ср}$ — средняя температура газа, К.

На рисунке А.8 представлены результаты моделирования корреляции между температурой газа и массой утечки при 70 МПа/200 л резервуара, и они согласуются с результатами расчета по формуле (А.11).

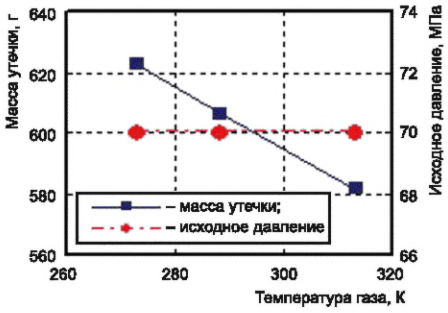


Рисунок А.8 — Масса утечки за 60 мин при разных температурах газа

А.2 Описание основного подхода для испытаний, проводимых с гелием при номинальном рабочем давлении (или полном рабочем давлении)

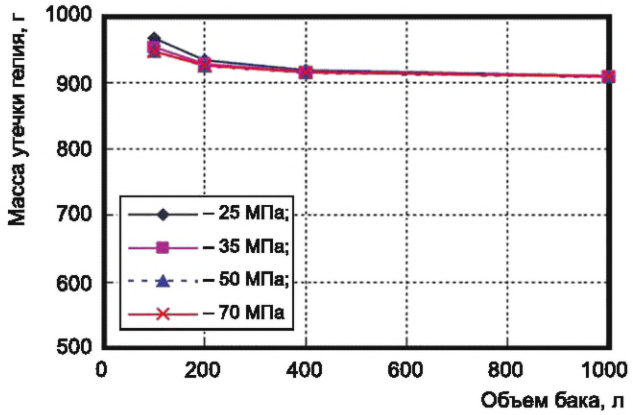
А.2.1 Основные положения

На рисунке А.9 показаны результаты моделирования допустимой утечки гелия в течение 60 мин через отверстия, выпускающие 606 г водорода. Из результатов этого моделирования было получено аппроксимационное уравнение (А.12) для расчета минимально допустимой массы утечки

$$HeW = \frac{4270}{V} + 904, \qquad (А.12)$$

где HeW — утечка гелия за 60 мин, г;

V — объем бака, л.



Масса утечки гелия, г

	25 МПа	35 МПа	50 МПа	70 МПа
100 л	967	954	947	947
200 л	934	928	925	926
400 л	919	916	915	915
1000 л	910	909	908	909

Рисунок А.9 — Утечка гелия за 60 мин

На рисунке А.10 показаны потери давления для различных размеров резервуаров и начальных давлений, которые можно рассчитать на основе массы утечки гелия, описанной на рисунке А.9.

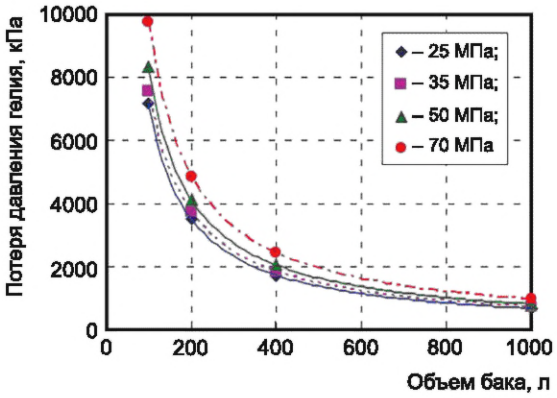


Рисунок А.10 — Потеря давления гелия в течение 60 мин

Как представлено на рисунке А.11, 5 %-ная потеря давления от диапазона измерения датчика давления не может быть достигнута в течение 60 мин для резервуаров объемом более 200 л.

На рисунке А.12 показаны результаты моделирования требуемых периодов времени испытаний при потере 5 % давления. На рисунках А.11 и А.12 диапазон датчика давления в 1,3 раза превышает каждое номинальное рабочее давление (или эксплуатационное давление).

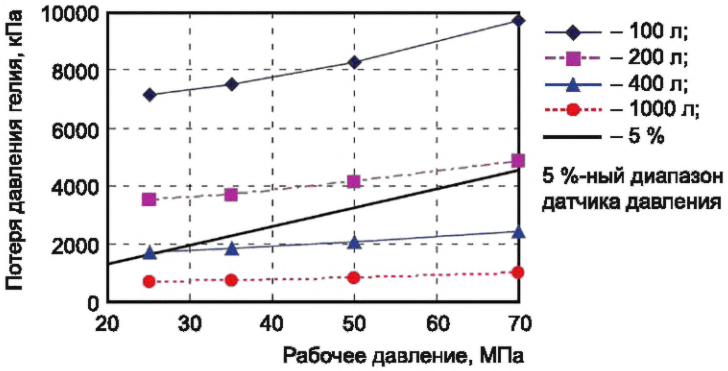
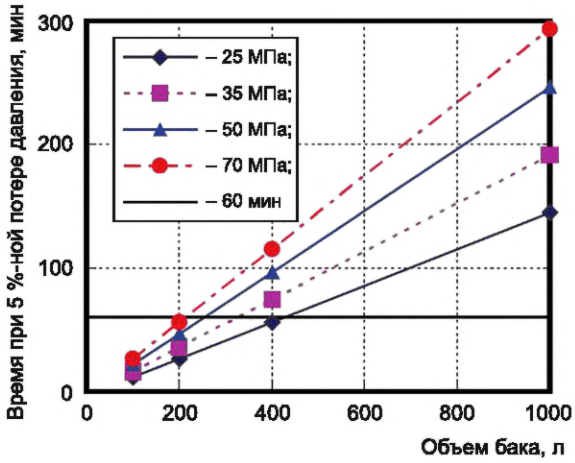


Рисунок А.11 — Потеря давления гелия в течение 60 мин



Период времени, мин

	25 МПа	35 МПа	50 МПа	70 МПа
100 л	12	16	22	26
200 л	27	36	47	56
400 л	56	75	97	115
1000 л	145	191	246	293

Рисунок А.12 — Период времени при 5 %-ной потере давления

Согласно результатам моделирования, необходимое время испытания (период времени, необходимый для получения 5 %-ной потери давления от диапазона измерения датчика давления) вычисляют по формуле

$$T_{5\%} = \frac{V \cdot \text{НРД}}{1000} \cdot \left(\left(-0{,}028 \cdot \text{НРД} + 5{,}5 \right) \cdot Rt - 0{,}3 \right) - 2{,}6 \cdot Rt,$$

$$Rt = \frac{SR}{\text{НРД}}, \qquad \text{(А.13)}$$

где $T_{5\%}$ — период, за который потери давления достигают 5 %, мин;

V — объем бака, л;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

SR — диапазон датчика давления, МПа;

Rt — коэффициент диапазона датчика давления.

Для системы с давлением 70 МПа с требуемым перепадом давления 3,5 МПа (5 % от 70 МПа) вместо формулы (А.13) можно использовать более простую формулу (А.14). Для баков более 265 л необходимо увеличение времени испытаний.

$$T_{5\%} = \frac{9 \cdot V}{40}. \qquad \text{(А.14)}$$

А.2.2 Процедура испытания с использованием гелия в качестве испытательного газа

Применяют процедуру испытаний в соответствии с А.1.2 (рисунок А.4), но некоторые формулы отличаются при испытаниях с гелием. Формулы, приведенные ниже, должны заменить значения в А.1.2 для расчета времени испытания для 5 %-ной потери давления диапазона датчика давления, расчета плотности газа и расчета допустимого испытательного газа. Утечка, ДМУ, при использовании тестового газа гелия вместо водорода.

1) Расчет времени испытания для 5 %-ной потери давления в диапазоне датчика давления ($T_{5\%}$).

Если рассчитанное по формуле (А.13) время испытания меньше 60 мин, то время испытания должно составлять 60 мин (как минимум).

Формулу (А.7) для расчета плотности газа заменяют следующими формулами

$$Ds = -0{,}0043 \cdot (Ps_{15})^2 + 1{,}53 \cdot Ps_{15} + 1{,}49,$$

$$De = -0{,}0043 \cdot (Pe_{15})^2 + 1{,}53 \cdot Pe_{15} + 1{,}49, \quad (А.15)$$

где Ds — плотность газа до испытания, кг/м^3,

De — плотность газа после испытания, кг/м^3.

2) Расчет допустимой утечки тестового газа

Формулу (А.9) заменяют на формулу (А.16) в соответствии с характеристиками утечки гелия по формуле (А.12).

$$\text{ДМУ} = \left(\frac{4270}{V} + 904\right) \cdot \frac{Lt}{60} \cdot \frac{Ps}{\text{НРД}} \cdot \frac{\sqrt{288 \cdot T_{\text{ср}}}}{T_{\text{н}}}, \quad (А.16)$$

где ДМУ — допустимая масса утечки испытательного газа, г;

Ps — начальное испытательное давление, МПа;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

Lt — время испытания ($T_{5\%}$ или 60 мин, в зависимости от того, что больше);

$T_{\text{н}}$ — начальная температура газа, К;

$T_{\text{ср}}$ — средняя температура газа, К.

А.3 Методы расчетов при проведении испытаний с водородом при пониженном давлении

А.3.1 Общие положения

Метод заключается в проведении краш-теста ТС с водородом под давлением меньшим, чем номинальное рабочее давление (или максимальное рабочее давление), для безопасности испытания. Необходимо установить начальный диапазон испытательного давления от 2 до 8 МПа.

На рисунке А.13 показаны результаты моделирования характеристик давления во временных интервалах для 5 %-ной потери давления в диапазоне измерения датчика давления (4,55 МПа), начиная с различных начальных испытательных давлений через отверстия одинакового размера. Это отверстие может выпустить 606 г водорода за 60 мин, когда бак заполнен до рабочего давления 70 МПа. Соответственно, при более низких значениях начального давления при испытаниях для достижения потерь давления в 5 % требуются более длительные периоды времени.

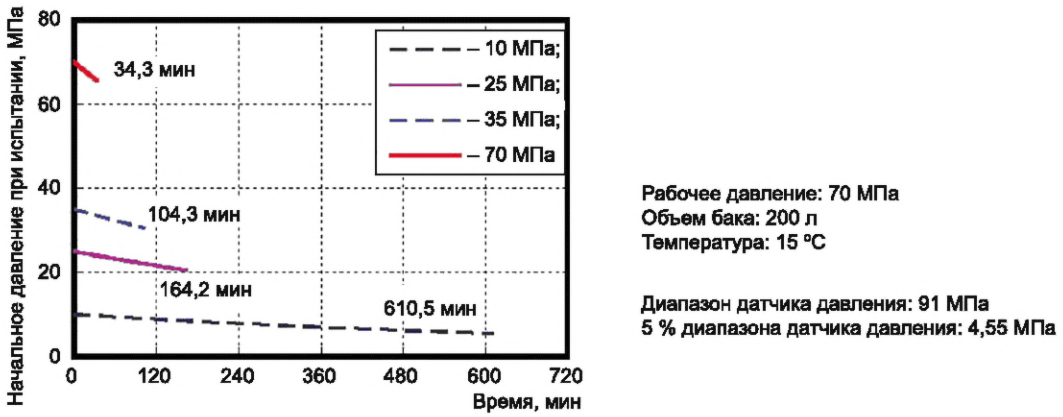


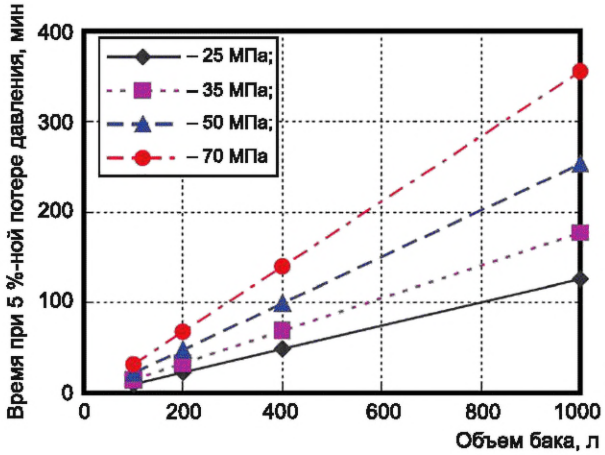
Рисунок А.13 — Характеристики давления во временных интервалах, соответствующие 5 %-ной потере давления

Перед проведением краш-теста в систему ТС следует установить дополнительный низкочастотный датчик давления. Диапазон дополнительного датчика давления следует выбирать исходя из следующих критериев:

- менее 10 МПа;
- от 1 до 2,5 начального давления при испытании.

Например, когда используют датчик давления с диапазоном измерения 5 МПа, начальное давление может находиться в диапазоне от 2 до 5 МПа, но не более. На рисунке А.14 показаны периоды времени для потери давления в 5 %, $T_{5\%}$, когда диапазон датчика давления составляет 5 МПа, а начальное испытательное давление составляет 4 МПа.

Как показано на рисунке А.15, даже если начальное испытательное давление изменяется, значение $T_{5\%}$ почти не меняется при постоянном соотношении диапазонов датчика давления (Rt — диапазон датчика/начальное испытательное давление). Это означает, что $T_{5\%}$ можно вычислить как функцию отношения диапазонов датчика давления, а не диапазона датчика давления и начального испытательного давления.



Период времени, мин

	25 МПа	35 МПа	50 МПа	70 МПа
100 л	10	15	22	32
200 л	23	33	48	68
400 л	49	69	99	140
1000 л	126	177	253	355

Рисунок А.14 — Временные периоды при 5 %-ной потере давления

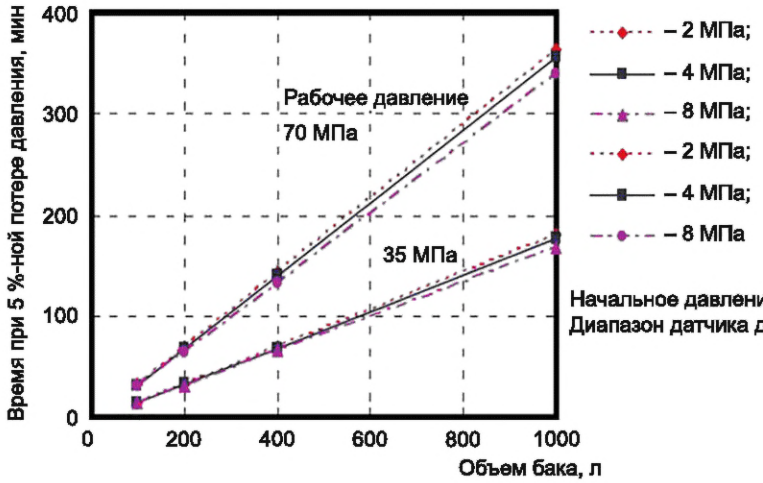


Рисунок А.15 — Временные периоды при 5 %-ной потере давления при одинаковом соотношении диапазонов датчика давления

В соответствии с результатами моделирования, описанными на рисунках А.14—А.15, $T_{5\%}$ может быть вычислено по приближенной формуле

$$T_{5\%} = \frac{V \cdot \text{НРД}}{1000} \cdot (4{,}6 \cdot Rt - 0{,}57) - 2{,}9 \cdot Rt; \quad Rt = \frac{SR}{P_н}, \tag{А.17}$$

где $T_{5\%}$ — период времени потери давления 5 %, мин;

V — объем бака, л;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

SR — диапазон датчика давления, МПа;

$P_н$ — начальное испытательное давление, МПа;

Rt — коэффициент диапазона датчика давления.

А.3.2 Испытания по оценке утечек водорода при пониженном давлении

Применяется процедура испытаний, описанная в А.1.2 (см. рисунок А.4) с некоторыми отличиями. Формулы, определенные ниже, должны заменить формулы в А.1.2 для проведения следующих расчетов: расчет времени испытания для 5 %-ной потери давления от диапазона датчика давления $T_{5\%}$, расчет плотности газа и расчет допустимой утечки газа AML.

А.3.2.1 Расчет времени испытания на потерю давления 5 %, $T_{5\%}$

Используют формулу (А.17). Если расчетное время испытания меньше 60 мин, то принимают значение 60 мин (как минимум).

А.3.2.2 Расчет плотности газа:

$$Ds = -0{,}0048 \cdot (Ps_{15})^2 + 0{,}84 \cdot Ps_{15},$$
$$De = -0{,}0048 \cdot (Pe_{15})^2 + 0{,}84 \cdot Pe_{15}, \quad (А.18)$$

где Ds — плотность газа до аварии, кг/м^3;

De — плотность газа после испытательного времени, кг/м^3.

А.3.2.3 Расчет допустимой утечки водорода:

$$ДМУ = 606 \cdot \frac{Lt}{60} \cdot \frac{P_н}{НРД} \cdot \frac{\sqrt{288 \cdot T_{ср}}}{T_н}, \quad (А.19)$$

где ДМУ — допустимая масса утечки испытательного газа, г;

Lt — время испытания ($T_{5\%}$ или 60 мин, в зависимости от того, что больше), мин;

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) системы, МПа;

$P_н$ — начальное уменьшенное испытательное давление, МПа;

$T_н$ — начальная температура газа, К;

$T_{ср}$ — средняя температура газа, К.

А.4 Альтернативный метод расчета допустимой послеаварийной утечки водорода и гелия

В качестве альтернативы критерию допустимой массы утечки поверочного газа ДМУ можно использовать допустимый средний объемный расход ДОР. Масса утечки водорода 606 г за 60 мин соответствует 118 стандартным литрам в минуту, в соответствии с формулой (А.2), что показано в следующей формуле

$$ДОР = \frac{7107 \text{ л}}{60 \text{ мин}} = 118 \text{ ст.л/мин}, \quad (А.20)$$

где ДОР — допустимый средний объемный расход, ст.л/мин.

Средний объемный расход $V\text{H}_2$ можно рассчитать на основе массы утечки МУ в формуле (А.8), но массовый расход утечки необходимо скорректировать с учетом отклонений условий испытаний от стандартных. Учитывая, что компенсационные коэффициенты для давления, начальной температуры газа и средней температуры газа являются обратными коэффициентам, полученным в формуле (А.11), $V\text{H}_2$ вычисляют по формуле

$$V_{H_2} = \frac{МУ}{Lt} \cdot \frac{V_m}{M_{H_2}} \cdot \frac{НРД}{Ps} \cdot \frac{T_н}{\sqrt{288 \cdot T_{ср}}} \le 118 \text{ ст.л/мин}, \quad (А.21)$$

где V_{H_2} — средний объемный расход водорода, ст.л/мин,

V_m — молярный объем газа (22,41 ст.л/моль);

МУ — потеря массы водорода из формулы (А.8);

Lt — время испытания, мин ($T_{5\%}$ из формулы А.4 или 60 мин, в зависимости от того, что больше);

M_{H_2} — молекулярная масса водорода (2,016 кг/моль);

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) резервуара;

$T_н$ — начальная температура газа, К;

$T_{ср}$ — средняя температура резервуара за период испытаний, К.

Соответствующий альтернативный метод может быть разработан для испытательного газа гелия при полном давлении. Расчет плотности водорода заменяют расчетом плотности гелия, как указано в формуле (А.15). Окончательное значение потери гелия, МУ, вычисляют по формуле (А.8).

Следующим шагом является определение допустимого объемного расхода гелия. Его можно вычислить, подставив соотношение удельных теплоемкостей (H_2 — 1,410, Не — 1,667) и газовую постоянную (H_2 — 4126, Не — 2077) в формуле (А.3). В результате допустимый объемный расход гелия составляет 75 % от расхода водорода или 88,5 л/мин.

Полученное уравнение выглядит следующим образом после учета незначительных отклонений давления и температуры от стандартных условий испытаний, молекулярной массы гелия (4,00 г/моль) и компенсации массы утечки

$$V_{He} = \frac{МУ}{Lt} \cdot \frac{V_m}{M_{He}} \cdot \frac{НРД}{Ps} \cdot \frac{T_н}{\sqrt{288 \cdot T_{ср}}} \le 88{,}5 \text{ ст.л/мин}, \quad (А.22)$$

где V_{He} — средний объемный расход гелия, л/мин;

МУ — потеря массы гелия по формуле (А.8);

V_m — молярный объем газа (22,41 ст.л/моль);

Lt — время испытания ($T_{5\%}$ по формуле (А.13) или 60 мин, в зависимости от того, что больше);

M_{He} — молекулярная масса гелия (4,003 кг/моль);

НРД — номинальное рабочее давление (или рабочее давление) резервуара;

$T_н$ — начальная температура газа, К;

$T_{ср}$ — средняя температура резервуара за период испытаний, К.

Приложение Б
(обязательное)

Руководство по проведению оценки воспламеняемости и токсичности выбросов транспортных средств

Б.1 В настоящем приложении приведено описание серии испытаний и теоретических исследований конструкции для оценки выбросов (выхлопов) ТС на топливных элементах. Описанная методология для подтверждения неопасности выбросов может использоваться для проверки соответствия требованиям к «негорючести», описанным в 3.1.14.3.

После определения допустимых пороговых значений концентрации водорода в выбросах ТС могут быть проведены отдельные испытания или теоретические исследования для определения эксплуатационных пределов в соответствии с 4.2.8 и/или изменений в конструкции ТС для предотвращения неприемлемых конфигураций выбросов. Например, внутренняя утечка в блоке топливных элементов может увеличиваться по мере старения блока, тогда как информация о максимально допустимой внутренней утечке позволит определить соответствующие защитные меры и требования к обслуживанию.

В разделе Б.5 приведен упрощенный метод проведения испытаний для оценки воспламеняемости выхлопа в точке выброса или в любой другой точке на пути его рассеивания в окружающем пространстве. Методы оценки, описанные в остальных трех разделах приложения Б, следует применять, если метод, указанный в Б.5, не может быть реализован.

1) Метод оценки, описанный в разделе Б.2, используют для определения максимально допустимой концентрации водорода при длительной работе (исключая пуск/остановку). Метод оценки, приведенный в Б.2, может использоваться для определения пределов воспламеняемости и потенциальных опасностей при превышении этих пределов. Сначала определяют самую низкую концентрацию водорода, способную поддерживать непрерывное горение. Затем эту концентрацию уменьшают до тех пор, пока распространение пламени от источника воспламенения не ограничится непосредственно областью рядом с источником воспламенения, а само пламя не будет систематически гаснуть при исключении или отключении источника воспламенения. Полученная таким образом концентрация водорода считается негорючей и может использоваться в качестве максимального предела непрерывного выброса водорода, если оценки, выполненные в приложении В, не приводят к более низкому пределу.

Примечание — В то время как воспламеняемость в основном зависит от концентрации водорода, допустимое накопление водорода в пространстве, окружающем ТС, является прямой функцией скорости потока водорода (относительно скорости потока вентиляции). Эти оценки также могут ограничивать допустимую скорость выброса водорода из ТС (см. приложение В).

2) Метод оценки, описанный в разделе Б.3, применяют для определения возможности распространения пламени против потока при непрерывном горении и взаимосвязи между порогом воспламенения и внутренней утечкой БТЭ (или утечкой других компонентов топливной системы). Выбросы с содержанием водорода выше 4 % НПВ следует проверять на возможность распространения пламени против потока выхлопа, поскольку оно может привести к перегреву материалов и повреждению ТС, а также к возможному выделению токсичных газов, что создает опасность для пассажиров или прохожих. Такие ситуации необходимо рассматривать как часть управления неисправностями в соответствии с 4.2.8 либо учитывать при проектировании выпускных компонентов и воздуховодов.

3) Метод оценки, описанный в разделе Б.4, применяют для определения воздействия воспламенения остаточного водорода, который продувается или диффундирует из выхлопных газов ТС после остановки, или воспламеняется при вытеснении во время запуска или при прерванном запуске. Как указано в 4.2.4.1, выбросы, рассеивающиеся в атмосферу, должны быть ограничены как по объему, так и по концентрации, и должны быть проверены на их невоспламеняемость.

Кратковременные выбросы водорода, даже если они ограничены как по объему и концентрации, так и по продолжительности, не должны быть воспламеняемыми. Для ограничения последствий потенциальной опасности от преднамеренного воспламенения выбросов газа должны соблюдаться следующие условия:

- ТС не должно быть повреждено и от него не должны отлетать элементы;
- не должно происходить воспламенение куска сухой марли, уложенного на пол непосредственно под выхлопной трубой (имитирующего сухие листья или растительность), и такого же куска марли, подвешенного вертикально на расстоянии 1 м непосредственно перед точкой выброса газа (имитация удара струи сбрасываемого газа о деревянную каркасную стену или горючие предметы, хранящиеся в гараже).

Примечание — Использование сухой марли для оценки воспламеняемости разрядных искр или кратковременного пламени является распространенным методом, используемым в испытаниях источников электропитания;

- не должен создаваться шум более 120 дБА на расстоянии 2 м.

Следует проявлять осторожность при выполнении следующих оценок, поскольку испытания включают работу с легковоспламеняющимися газами и преднамеренное воспламенение горючих смесей. Громкий шум, пожар/взрыв и/или образование токсичных соединений (например, дыма) являются ожидаемыми последствиями в рамках данных испытаний, и следует использовать подходящую защиту персонала и средства индивидуальной защиты.

Б.2 Определение порога устойчивого возгорания

В этом испытании используют специально модифицированное ТС, позволяющее создавать взрывоопасные концентрации водорода в выхлопной системе работающего ТС. Осуществляется это введением измеренного расхода водорода $v1$ в измеряемый выхлопной поток воздуха $v2$ после БТЭ, что позволяет регулировать объемную концентрацию водорода [H_2] на выходе из выхлопной трубы в соответствии с:

$$[H_2] = 100\ \% \cdot \frac{v1}{v1+v2}. \qquad (Б.1)$$

При организации установки испытаний необходимо, чтобы место подачи водорода было расположено ниже по потоку от БТЭ и было достаточно удалено от точки выхода выхлопного газа в окружающее пространство, чтобы обеспечивалось равномерное смешивание газов (см. рисунок Б.1). Помимо этого, в использующемся ТС должен быть максимально низкий уровень внутреннего массопереноса водорода (внутренних утечек) во избежание попадания излишних его количеств в выхлопную систему. В данном испытании концентрация водорода в выхлопе регулируется расходом вводимого водорода в выхлопную систему, где ее можно дополнительно контролировать с помощью соответствующих измерительных устройств.

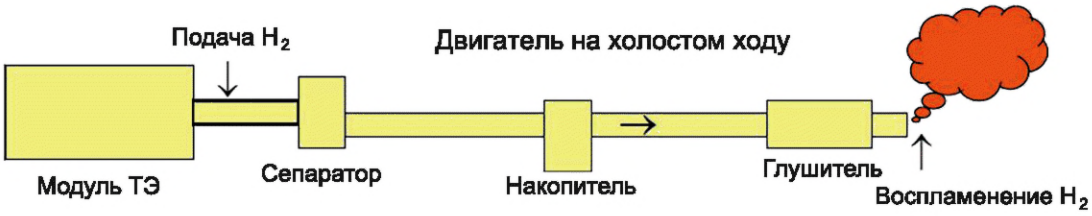


Рисунок Б.1 — Испытательная установка для определения устойчивого порога возгорания

Испытание на воспламеняемость проводят на неподвижном ТС, установленном на ровной поверхности, двигатель которого работает на холостом ходу. Скорость потока воздуха вокруг ТС должна поддерживаться на уровне менее 0,5 м/с, а само ТС должно быть ориентировано в пространстве таким образом, чтобы его выхлопная труба (или другая точка выпуска) была направлена по потоку воздуха. Одновременно с повышением концентрации водорода предпринимаются попытки воспламенения смеси, выходящей из выхлопной трубы ТС (или другой точки выпуска). Поскольку смесь H_2/воздух вблизи НПВ (~4 % H_2 по объему) имеют большое расстояние гашения, воспламенение сильно зависит от параметров источника воспламенения. Для того чтобы эти параметры не являлись ограничивающим фактором в испытании, источник воспламенения необходимо расположить непосредственно рядом с точкой выброса. Использующийся в испытании источник воспламенения должен иметь в работающем состоянии непрерывное открытое пламя с длиной пламени не менее 15 мм или непрерывную электрическую дугу с искровым промежутком не менее 15 мм, имеющую энергию не менее 10 мДж.

ПУВ для горения в выхлопной трубе ТС (или в другом месте выброса) определяется как концентрация, при которой пламя будет устойчивым в потоке выхлопных газов, то есть будет продолжать гореть и не гаснуть при наличии или удалении источника воспламенения. Водородное пламя почти невидимо, поэтому наблюдать за пламенем необходимо с помощью инфракрасной видеокамеры. При концентрациях H_2, приближающихся к ПУВ, но ниже его, пламя обычно немедленно гаснет при удалении источника воспламенения. При концентрациях H_2 выше уровня ПУВ пламя, напротив, не только будет устойчивым, но и будет распространяться против потока в выхлопную трубу, что может привести к повреждению трубопровода в результате возгорания и/или выделению опасных веществ (см. испытание опасных выбросов выхлопной трубы в Б.3).

Максимально допустимая постоянная концентрация H_2 в выхлопе при эксплуатации ТС должна устанавливаться на уровне, меньшем значения ПУВ на 1 % — 2 %, чтобы обеспечить запас безопасности. Чтобы определить этот запас, следует провести серию поджогов смеси газов, выходящих из выхлопной системы при самых низких расходах на холостом ходу, постепенно снижая концентрацию H_2 ниже ПУВ.

Примечание — В случаях, когда выброс характеризуется концентрациями водорода, локально превышающими верхний предел воспламеняемости, или же выброс обеднен по кислороду до локального уровня ниже воспламеняемости (<5 % O_2 при выбросе), перед испытанием требуется найти соответствующее расстояние, на котором в данном случае возможно воспламенение. В случае выброса, богатого топливом, расстояние отступа можно определить, проводя испытания с последовательным увеличением концентрации топлива, начиная с состава, богатого воздухом, и постепенно перемещая источник воспламенения дальше, пока смесь не воспламенится. Выбросы, которые локально обеднены кислородом, могут как воспламениться, так и не воспламениться при увеличении расстояния до источника зажигания, поэтому рекомендуется провести тщательное исследование воспламенения в зависимости от местоположения источника воспламенения. Воспламенение смесей, содержащих более 5 % O_2, при последовательном увеличении концентрации топлива с предела обеднения и выше допускает расположение источника зажигания на осевой линии сброса в пределах $D/2$ диаметра сбросной трубы D.

Б.2.1 Рекомендации по безопасности проведения испытания

На практике данные испытания на открытом воздухе не должны создавать проблем с безопасностью, если испытания проводятся поэтапно, начиная с концентраций ниже предела воспламеняемости, с увеличением их лишь до тех пор, пока не будет наблюдаться воспламеняемость. Однако, если необходимо испытать значительные объемы выбросов, превышающих верхний предел воспламеняемости, может оказаться целесообразным сперва ограничить объемы воспламенения, а затем пошагово их увеличивать, по мере того как станет известен результат попытки воспламенения. В целях безопасности следует принять ограничение объема выделения водорода, соответствующее ПУВ, в виде объема сферы радиусом 0,55 м, концентрация водорода в котором составляет НПВ или ПУВ, при стандартных температуре и давлении.

Пример — Если ПУВ — 8,0 % H_2, то безопасный предел выброса при испытании равен 55 стандартным литрам водорода.

Важно понимать, что помимо объема водорода, опасность избыточного давления, возникающего при воспламенении смесей водорода/воздуха, сильно зависит как от локальной концентрации H_2 в воздухе, так и от степени локализации сгорающей смеси. Воспламенение бедных водородом смесей на открытом воздухе обычно не приводит к высокому избыточному давлению, а сгорание более богатых смесей, объем возгорания которых частично расположен в выхлопной трубе и концентрация водорода в которых приближается или превышает нижний предел взрываемости (~18% H_2 по объему), может создавать значительный шум и избыточное давление, значительно ускоряющее переход от дефлаграции к детонации. Таким образом, необходим поэтапный подход для испытаний с высокими концентрациями водорода, как для безопасности испытания, так и для полноты его проведения.

Б.3 Локальная воспламеняемость и токсичность выхлопных газов при продолжительной работе двигателя

После установления ПУВ H_2 в потоке выхлопных газов двигателя, работающего на холостом ходу, проводят отдельные испытания для определения взаимосвязей между утечкой в выхлопной системе (или утечкой другого компонента, вызывающей горючий выброс) и возможными последствиями сгорания водорода при повышении его концентрации в выхлопной системе (или в другой точке выброса).

Цель настоящего типа испытаний состоит в том, чтобы изучить возможное влияние обратного незатухающего воспламенения на безопасность, а также оценить поведение компонентов выхлопной и прочих систем в наихудших возможных ситуациях, включающих окончание их срока службы и различные неисправности. Этот подход к оценке воздействия возможного обратного горения позволяет установить связь между горением и опасными выбросами и соотнести ее с уровнями допустимой утечки компонентов до того, как вышедший из строя компонент придется выводить из эксплуатации или ремонтировать.

Испытание на выброс вредных веществ из выхлопной трубы включает в себя отбор проб газов из выхлопной трубы (или других точек выброса) во время испытаний с последующим определением концентрации возможных опасных соединений в выходящих газах. Эти испытания можно проводить с использованием ТС, модифицированного для подачи H_2 (см. раздел Б.2), где проводится воспламенение смесей выше допустимого порога устойчивого горения в соответствии с методом испытаний, приведенным в разделе Б.2, чтобы определить, насколько глубоко в выпускном трубопроводе происходит обратное горение перед тушением. Затухание горящих против потока смесей зависит от концентраций сгораемого водорода и геометрии выхлопной трубы, причем наиболее трудно гаснет смесь с концентрацией водорода в диапазоне от 28 % до 30 % по объему (при минимальном расстоянии гашения около 0,63 мм).

Если распространение пламени против потока не прекращается и доходит до точки впрыска H_2 (где это может быть обнаружено путем установки термопары вблизи точки впрыска) на испытательном ТС, то не исключено, что оно может пройти и дальше, чем соответствующее место в штатном ТС, если для этого компонентами выше по потоку (например, блоком топливных элементов) выделилось достаточно необнаруженной утечки водорода. В таком случае эти испытания на «обратное» сгорание могут быть проведены повторно на ТС, содержащих блоки топливных элементов с наибольшими внутренними утечками переноса (и/или утечками от других компонентов, или перегревом, что может повлиять на локальную воспламеняемость и выбросы), чтобы определить влияние возможного достижения пламени этих компонентов на выбросы.

При отборе проб выбросов при горении необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать проблем с оборудованием для отбора проб (например, может потребоваться некоторое преднамеренное измеренное разбавление потоков отбора проб). Использование методики избыточного давления топлива для увеличения внутреннего переноса во время испытания на выбросы также не рекомендуется, поскольку это может временно увеличить выбросы.

Что касается опасностей, связанных с токсичностью, поскольку в исправно работающих топливных элементах с протонообменной мембраной отсутствует выделение каких-либо токсичных веществ, выбросы, содержащие такие вещества, вероятны на практике только при продвижении пламени против потока внутри выхлопной системы, или же если внутренний перенос (перекрестная утечка) достаточно велик, чтобы привести к значительному перегреву блока или сбою в системе охлаждения.

Существует несколько методик определения уровня внутренней или перекрестной утечек, способных обеспечить взрывоопасные концентрации водорода в выбросе. В большинстве случаев утечки компонентов влияют на выбросы не во время непрерывной работы, а при запуске и после выключения системы, поскольку падение

давления на аноде в результате таких утечек может приводить к накоплению водорода в застойных зонах выхлопной системы неработающего ТС. Наиболее простой и консервативный способ определения опасности таких утечек заключается в оценке объема водорода, поступающего в выхлопную систему, и последующем проведении испытаний, описанных в разделе Б.4, с введением оцененного объема водорода в выхлопную систему. Такой подход не учитывает возможную частичную рекомбинацию внутренних утечек водорода, например в БТЭ, и поэтому может привести к несколько завышенным оценкам воспламеняемости утечек.

Для определения влияния вероятной рекомбинации и утечки, влияющей только на выброс при запуске и после остановки системы, ТС, в составе ЭХГ которого установлены новый БТЭ (с отсутствующей или околонулевой внутренней утечкой топлива) и дроссельный клапан, расположенный либо между входящими в БТЭ линиями подачи топлива и воздуха (для моделирования повышенной рекомбинации), либо между входящей в БТЭ линией подачи топлива и выходящей линией отработанного воздуха (для моделирования пониженной рекомбинации), подвергают серии испытаний, используя методику, обозначенную в разделе Б.4, и меняя положение дроссельного клапана. По окончании серии испытаний БТЭ извлекают из ТС, не внося изменений в его конфигурацию (для сохранности предполагаемого пути утечек), и исследуют взаимосвязь между положением дроссельного клапана и внутренней утечкой (по стандартным методикам с использованием воздуха или азота).

Методика проведения итогового испытания на определение ориентировочной зависимости между максимально допустимой скоростью внутренней утечки в БТЭ и ПУВ заключается в повторении испытания на локальную воспламеняемость, описанного в разделах Б.2 или Б.4, без дополнительного ввода водорода в выхлопную систему. В этом случае применяется БТЭ с умеренно высокой скоростью измеряемой внутренней утечки и создается избыточное давление топлива на входе в БТЭ, достаточное для создания концентраций водорода ниже по потоку, приближающихся или превышающих ПУВ (в случае применения методики испытания, описанной в разделе Б.4, необходимо оценивать давление только в анодном контуре во время выключения системы). После получения зависимости между утечкой водорода и избыточным давлением топливовоздушной смеси, зная взаимосвязь между значениями утечек воздуха и водорода, может быть рассчитана максимальная скорость утечки. При осуществлении этих испытаний холостой ход рассматривается как наименее благоприятное состояние. Тем не менее, если в работе ЭХГ предусмотрены случаи избыточного давления на топливной линии и/или наблюдаются более высокие концентрации водорода при рабочих уровнях тока, превышающих уровень холостого хода, требуется проведение отдельных серий испытаний для определения значения максимально допустимой утечки при таких уровнях тока и возможного выделения токсичных веществ при воспламенении этой утечки против потока внутри выхлопной трубы.

Б.4 Оценка результатов локального воспламенения во время запуска и после выключения системы

При испытаниях на локальную воспламеняемость при остановке и запуске должно использоваться ТС, специально модифицированное для подачи количества водорода, соответствующего его количеству в анодной системе (или в другой системе, из которой происходит утечка после выключения), в выхлопную систему выключенного ТС. Также может использоваться методика, описанная в приложении Б.3, или естественное смешивание газов. Независимо от принятого подхода методика воспламенения одинакова: постоянный источник воспламенения (т. е. электрическая дуга или открытое пламя шириной не менее 15 мм) размещается вблизи отверстия выхлопной трубы в соответствии с методикой испытаний, приведенной в Б.2. Данный метод воспламенения приводит к самому громкому шуму и наиболее сильному избыточному давлению, поскольку воспламенение происходит чаще всего тогда, когда основная часть выбрасываемых горючих газов все еще находится в выхлопной системе.

В случае запуска источник воспламенения размещается рядом с выхлопной трубой во время запуска, где остаточный водород, содержащийся в воздушной системе (или другой системе сброса) после предыдущей остановки и стоянки вытесняется наружу. Источник воспламенения поддерживается рядом с выхлопной трубой до тех пор, пока концентрация в выхлопной системе не упадет ниже НПВ при запуске ТС или пока не произойдет воспламенение выходящей горючей смеси. Поскольку количество водорода, присутствующего при запуске, может сильно зависеть от времени, прошедшего после остановки, рекомендуется провести серию испытаний после различных периодов остановки.

Методика испытаний с впрыскиванием водорода и запуском системы в соответствии с рисунком Б.2 (или после отключения в соответствии с рисунком Б.3) также может быть использована для проверки вероятности возгорания для ряда потенциально воспламеняющихся выбросов, удаляя активный источник воспламенения и многократно повторяя последовательность впрыска и запуска (или отключения). Отсутствие воспламенения при большом количестве повторений данного вида испытаний в широком диапазоне температурно-влажностных условий является веским количественным доказательством того, что малые объемы горючих выбросов не воспламенятся без активного источника воспламенения.

Для особых случаев замедленного или прерванного запуска (например, когда до появления достаточного напряжения в сети для обеспечения холостого хода используются воздушные потоки ниже полного уровня холостого хода) подход идентичен таковому для обычного запуска, за исключением того, что используется меньший поток воздуха до тех пор, пока не произойдет воспламенение или в выхлопе не появится стабильная негорючая смесь H_2/воздух.

В случае распределения водорода в выхлопную систему после отключения, источник воспламенения поддерживается рядом с выхлопной трубой до тех пор, пока концентрация в выхлопной системе (определяемая отдельно по пробам датчика H_2) не упадет ниже НПВ во всем трубопроводе или до воспламенения горючей смеси, выходящей из выхлопной трубы в соответствии с рисунком Б.3. Чтобы изучить наихудший случай, следует проводить испытания в помещении без механической вентиляции в соответствии с 5.2.

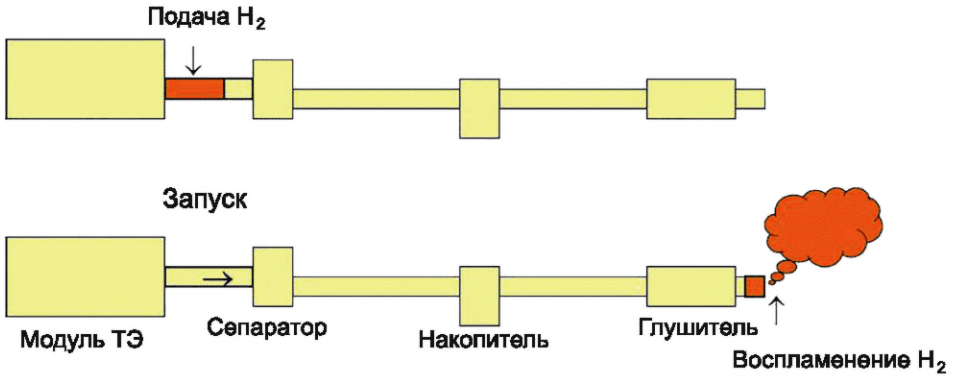


Рисунок Б.2 — Испытательная установка для определения влияния выбросов при запуске

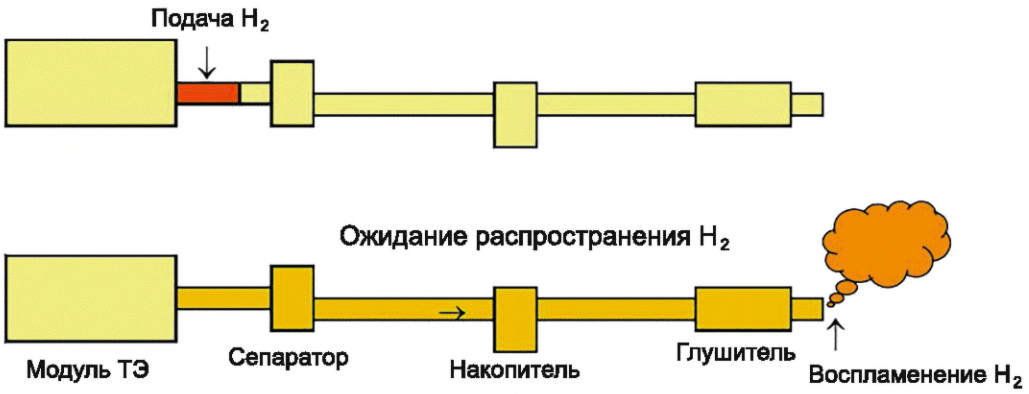


Рисунок Б.3 — Испытательная установка для определения влияния выбросов после остановки

Критерии прохождения этих испытаний должны основываться на превышении концентрации НПВ (4 % H_2 по объему) во время пуска или после остановки, или (при потенциально воспламеняющихся выбросах во время этих переходных процессов) на результате возгорания, если/когда оно происходит. Для случаев воспламенения должны использоваться критерии приемлемости, ранее определенные в приложении Б.

Б.5 Упрощенный метод испытаний для оценки воспламеняемости выхлопа

Поскольку испытания проточных выбросов показывают, что пламя, исходящее от источника воспламенения, с трудом распространяется при содержании водорода ниже 8 %, ограничение содержания водорода в любой моментальной вспышке менее чем на 8 % сводит к минимуму опасность для людей вблизи места выброса, даже в условиях присутствия источника воспламенения (см. [5]). По этой причине испытание, подтверждающее, что содержание водорода в сбросе составляет менее 8 % (по объему) во всех режимах, включая запуск ТС, холостой ход и остановку, дает однозначную оценку того, что выброс не представляет опасности. Таким образом, при испытании, приведенном в В.4, этот фактор рассматривается как часть общей оценки опасности выхлопных газов ТС.

Приложение В
(обязательное)

Руководство по проведению оценки выбросов водорода в пространство, окружающее транспортное средство

В.1 Данные испытания по оценке соответствуют требованиям 5.2. Целью этих требований является оценка выбросов водорода ТС при парковке, хранении или эксплуатации внутри помещений, чтобы гарантировать, что пространство, окружающее ТС, может оставаться «неклассифицированным» и не будет подвергаться накоплению водорода до неприемлемых уровней.

Концентрация водорода в выхлопе ТС должна быть менее 7 % — 8 % в точке выпуска. Хотя это требование приводит к тому, что выброс локально не является опасным, его самого по себе недостаточно для обеспечения того, чтобы пространство, окружающее ТС, было «неклассифицированным». Чтобы не быть классифицированным и, следовательно, быть приемлемым для уполномоченных органов, пространство вокруг ТС должно содержать водород в концентрациях менее 25 % нижнего предела воспламеняемости (или 1 % водорода).

Концентрация водорода в пространстве, окружающем ТС, в течение времени является функцией отношения скорости потока выхлопного газа к вентиляционному потоку. В разделах В.2 и В.3 описаны процедуры оценки выбросов, цель которых состоит в том, чтобы выполнить оценку выбросов в самых неблагоприятных условиях в пределах нормальных рабочих режимов ТС.

Испытание, описанное в В.2, предназначено для изучения влияния утечки топлива из системы хранения водорода, когда ТС припарковано (и не эксплуатируется).

Испытание, описанное в В.3, предназначено для изучения утечек при эксплуатации ТС во время парковки в сооружениях (гаражах).

Испытание В.4 является заключительным испытанием для ситуаций, описанных в В.3.

Испытание В.5 было разработано для оценки результатов возможной неправильной работы ТС, при которой выбросы водорода могут привести к опасным условиям при минимальном воздухообмене. В таких случаях, до того, как будет достигнута критическая концентрация водорода в окружающем пространстве, работа ТС должна быть прекращена, либо задействовано применение специальных защитных функций.

Для испытаний, описанных в В.2 и В.3, предполагается, что стандартный пассажирский автомобиль помещен в некоторое закрытое пространство размерами 4,5 · 2,6 · 2,6 м (30,4 м^3). Если ТС меньше или больше стандартного легкового автомобиля, можно предположить, что ограждение не должно быть более чем на 1 м больше, чем ТС в длину или ширину, и на 0,5 м высоты над самой высокой точкой ТС.

Следует проявлять осторожность при выполнении оценок выбросов, поскольку эти испытания связаны с работой с легковоспламеняющимися газами и, возможно, воспламенением горючих смесей. Возможными последствиями являются громкий шум, пожар/взрыв, удушье и/или образование токсичных веществ (например, дыма), поэтому следует изолировать персонал и использовать средства индивидуальной защиты.

Оборудование при испытаниях, а также проведение самих испытаний должны соответствовать местным, государственным и федеральным нормам и правилам.

Все оборудование при испытаниях, включая датчики, должно подходить для условий испытаний. Для поддержания приемлемых условий могут потребоваться средства контроля воспламеняемости и усиленная вентиляция.

Материалы, применяемые при проведении данных испытаний, не должны создавать опасность воспламенения от статического электричества.

В.2 Парковка в помещениях с естественной вентиляцией

Для оценки наиболее неблагоприятных случаев следует рассматривать размещение ТС в помещении, в котором кратность воздухообмена в час не превышает 0,03.

При малых скоростях выбросов, которые равномерно распределяются в атмосфере окружающего пространства, концентрацию водорода в пространстве вычисляют по формулам:

$$C_{H_2}(t) = \frac{H}{H+A} - \frac{H}{H+A} e^{-\left(\frac{H+A}{V}\right)t}, \quad \text{(В.1)}$$

$$A = \frac{K \cdot V}{60}, \quad \text{(В.2)}$$

где $C_{H_2}(t)$ — зависящая от времени концентрация H_2 в помещении (1,0 = 100 % H_2);

H — общая скорость выброса H_2 из ТС, л/мин;

A — поток воздуха, поступающий/выходящий из помещения, л/мин;

K — кратность воздухообмена в помещении в час;

V — объем окружающего ТС пространства, равный объему помещения за вычетом объема ТС, л.

В случае, когда ТС припарковано и клапан подачи водорода закрыт, выброс водорода в помещение равен общей утечке из системы хранения водорода (при допущении, что объем водорода, оставшийся в топливной системе, очень мал по сравнению с объемом испытательного помещения). Концентрация водорода, определяемая В.2, приближается к следующему равновесному значению

$$C_{H_2} = \frac{H}{(H+A)} \cdot 100, \quad (B.3)$$

$$C_{H_2} = \frac{H}{(H+KV/60)} \cdot 100, \quad (B.4)$$

где C_{H_2} — равновесная концентрация H_2 в помещении, %.

Это требование также может быть выполнено путем проверки безопасности выбросов из системы хранения водорода (часть квалификационных требований в ГОСТ 70680, и отсутствия превышения 25 % нижнего предела воспламеняемости (или 1 %-ной концентрации водорода) в равновесном состоянии.

Подставляя значения *H* и *K* в формулу (B.4), вычисляют выражение для равновесной концентрации водорода (как функции *K*) для различных скоростей нагнетания его в помещении (см. рисунок B.1). На рисунке B.1 показана взаимосвязь увеличения скорости воздухообмена выше 0,03 и значительного снижения равновесной концентрации водорода в помещении, в то время как на рисунке B.2 показана зависимость увеличения объема помещения от допустимого выброса. Состояние системы хранения водорода должно быть таким, чтобы в испытании учитывался наибольший штатный выброс.

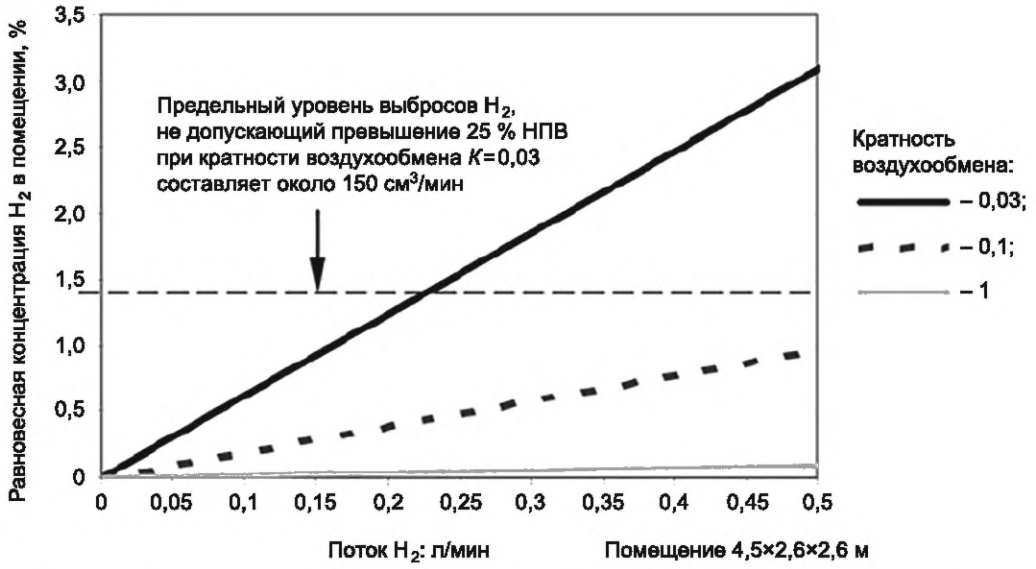


Рисунок B.1 — Расчетная равновесная концентрация водорода в отношении скорости выбросов водорода для различных скоростей воздухообмена в помещении

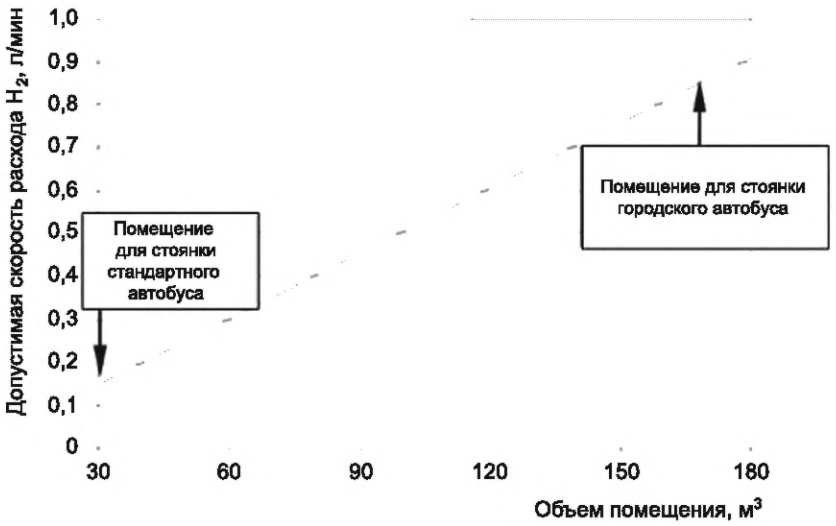


Рисунок B.2 — Допустимая утечка из системы хранения водорода для стандартных и больших ТС в помещениях с кратностью воздухообмена 0,03 полного обмена в час

В.3 Эксплуатация транспортного средства в помещениях с принудительной вентиляцией

В данном подразделе оценивается возможность эксплуатации ТС (например, запуск ТС, работа на холостом ходу, останов ТС) в принудительно вентилируемых помещениях. Для этой оценки используют помещение, описанное в приложении В, но поток вентиляции в нем регулируют так, чтобы он не превышал 0,23 $м^3$/мин на квадратный метр площади помещения. Для помещения размером 4,5 · 2,6 · 2,6 м, вентилируемого до кратности воздухообмена К 5,4, допустимый поток водорода на выходе составляет 26,7 л/мин при температуре 20 °С.

Примечания

1 Согласно [6] для парковок с естественной или механической вентиляцией требуется обеспечение кратности воздухообмена 5,4.

2 26,7 л/мин соответствует кратности воздухообмена 5,4 в объеме 4,5 · 2,6 · 2,6 м.

Рассматривают следующие рабочие состояния:

1 Длительная стоянка на холостом ходу внутри помещения

При длительной стоянке на холостом ходу возможно возникновение опасной ситуации, если в помещении недостаточно воздухообмена для разбавления выбрасываемого водорода до безопасного уровня. Это применимо, в особенности, для таких ТС, выхлоп которых, локально в точке выброса или рядом с ТС, приводит к превышению НПВ по водороду.

2 Запуск ТС в помещении

Во время запуска системы топливных элементов возможен выброс водорода. В этом случае необходимо, чтобы концентрация водорода в окружающей среде ТС не превышала 25 % нижнего предела воспламеняемости.

Для пространства 4,5 · 2,6 · 2,6 м объемом 30,4 $м^3$ допустимое количество выделяемого в это пространство водорода составляет более 300 л, что более чем на порядок превышает ожидаемый выброс при запуске системы. Необходимо учитывать этот фактор при определении общего максимально возможного выброса водорода из системы.

3 Выключение ТС внутри помещения

При остановке системы топливных элементов возможен выброс водорода. Поскольку количество водорода, выделяемого во время отключения, не больше, чем во время запуска, ожидается, что отключение не будет лимитирующим (особенно если значительный выброс газов уже произошел во время запуска). Для того чтобы сохранить условия 10-минутной оценки достаточно жесткими (но оправданными по отношению к требованиям), внесение выключения в качестве части последовательности в проведении оценки ограничено последней минутой выключения. Кроме того, если процедура отключения выходит за рамки одной минуты, отведенной для сценария (и приводит к выбросам водорода из-за продувки, выпуска воздуха или любой другой операции), расход водорода не должен превышать 26,7 л в течение любой последующей минуты отключения (после первоначальной 10-минутной оценки).

Таким образом, если концентрация водорода локально превышает нижний предел воспламеняемости в рамках оценок, указанных в 4.2.4.1, то разбавление водорода, выбрасываемого во время запуска ТС, последующей работы на холостом ходу и остановки в вентилируемых помещениях, должно быть рассчитано так, чтобы содержание водорода в выбросе не привело к тому, что его концентрация в окружающем пространстве превысит 25 % нижнего предела воспламеняемости. Выполнение этого требования проверяют путем проведения испытаний, вычислительных анализов или их комбинации. Вместо фактического проведения испытаний могут быть выполнены соответствующие гидродинамические расчеты. Например, допустимый выброс водорода на выходе из ТС может быть вычислен с использованием формулы (В.4) для заданного объема помещения и скорости вентиляции таким образом, чтобы концентрация водорода не превышала 25 % нижнего предела воспламеняемости (1 % водорода). Фактический выброс водорода можно определить путем измерения концентрации водорода в выхлопных газах и умножения его на поток выхлопных газов. Если расчетный поток выбросов водорода приводит к накоплению в помещении менее 25 % нижнего предела воспламеняемости, такие выбросы являются приемлемыми.

Соответствующий период испытания для оценки количества выбросов составляет 10 мин в соответствии со скоростью воздухообмена в вентилируемом помещении. Ситуации, описанные выше, следует проверять по отдельности или вместе, чтобы обеспечить охват различных сценариев эксплуатации. Например, ТС может быть припарковано, выключено, а затем повторно запущено и продолжить работу на холостом ходу внутри помещения. Кроме того, следует учитывать различные периоды между остановкой и последующим запуском для определения «наихудшего случая».

В.4 Метод верификационных испытаний для оценки выбросов в вентилируемых помещениях

Метод испытаний основан на руководстве, содержащемся в Е.2. В частности, измерение расхода выбросов и последующий расчет накопления водорода заменяются применением «скользящего среднего» для измерения концентрации водорода, так что кратковременные отклонения от 4 % водорода (по объему) в сбросе допустимы, если мгновенные значения не являются легко воспламеняющимися согласно Б.5. Ограничение времени для скользящего среднего было определено равным 3 с. Поскольку номинальная мощность ТС и скорость выхода водорода в некоторой степени зависят от размера ТС, использование 3 секундной средней скользящей обеспечивает запас для проверки, которую можно проводить для ТС всех размеров.

Концентрация газа должна быть измерена у осевой линии потока выхлопных газов в пределах 100 мм от выходного отверстия выхлопных газов снаружи ТС.

Проверочное испытание проводят следующим образом.

1 Система питания испытательного ТС (например, блок топливных элементов или двигатель) прогревается до нормальной рабочей температуры и работает на холостом ходу.

2 Прибор для измерения концентрации водорода в отработавших газах должен быть готов к регистрации данных во время испытания.

3 Концентрация водорода в отработавших газах непрерывно измеряется на следующих этапах:

- система питания отключена;
- после завершения процесса отключения энергосистема немедленно перезапускается;
- по прошествии одной минуты система питания выключается, и измерения продолжаются до завершения процедуры отключения системы питания.

Испытание считается пройденным, если концентрация водорода в выхлопных газах соответствует следующим критериям:

- трехсекундная скользящая средняя не превышает 4 % по объему;
- мгновенное значение не превышает 8 % по объему в соответствии с Б.5.

Примечание — Если отклик датчика не позволяет измерить переходные процессы до 8 %, то можно использовать Б.4 для проверки того, что выхлоп не воспламеняется.

В.5 Нарушение правил эксплуатации ТС в помещениях без принудительной вентиляции

В то время как работа ТС на топливных элементах приводит к уменьшению содержания кислорода в помещениях (и опасности удушья), она также может вызвать дополнительную опасность воспламенения из-за выбросов водорода. Несмотря на то, что эксплуатация таких ТС в подобных условиях не рекомендуется, цель этой оценки состоит в том, чтобы продемонстрировать, что ТС выключается или прекращает работу на основе встроенных или защитных функций ТС.

Оценка защитных функций ТС проводится в соответствии со следующими положениями:

1 Состояние топливной системы ТС перед испытанием должно быть таким, чтобы можно было оценить наибольшие возможные выбросы и утечки топлива. Например, время после выключения (до перезапуска) должно быть отрегулировано таким образом, чтобы выхлоп производил наибольшее количество выброса водорода при запуске.

2 Для пространства, окружающего ТС, следует учитывать максимально низкую интенсивность вентиляции, которую можно ожидать при всех условиях эксплуатации.

3 Запуск и последующий холостой ход ТС следует рассматривать до тех пор, пока ТС не остановится автоматически или по причине срабатывания активных защитных мер противодействия.

Вместо фактического испытания ТС в закрытом помещении допускается разработка модели, описывающей ожидаемое увеличение концентрации водорода в течение оцениваемого периода. Полученные при таком моделировании расчетные формулы могут быть более сложными, чем представленные в разделе В.2, если учитывать такие эффекты, как рекомбинация водорода из окружающего пространства (поскольку выделяющийся водород возвращается на воздухозаборник системы топливных элементов и окисляется в ней), или же система может прекратить работу из-за нехватки кислорода. Использование полученных выражений в процессе моделирования требует предварительной проверки.

Требование по остановке работы в невентилируемом помещении может быть выполнено за счет реализации защитных функций на ТС. Например, время, в течение которого ТС может работать на холостом ходу, может быть ограничено, или накопление водорода в окружающей среде может быть обнаружено путем мониторинга выхлопных газов ТС или воздуха в пространстве вокруг ТС. Если такие меры применяют для обеспечения необходимой защиты, дальнейшие испытания или анализ не требуются.

Приложение Г
(справочное)

Руководство по компоновке водородных систем, включая защитные экраны и барьеры

Г.1 Целью настоящего приложения является предоставление рекомендаций по проектированию и установке УСД и, при наличии, связанных с ними вентиляционных систем. Информация основана на руководстве для систем хранения компримированного водорода (СХКВ) в ГОСТ Р 70680, применимых ко всем автомобильным системам хранения и обработки водорода.

Г.2 Типы устройств для сброса давления

УСД — это устройства, которые при определенных рабочих условиях используют для сброса содержимого топливной системы со сжатым водородом. УСД должны обладать достаточной пропускной способностью, их конструкция и компоновка имеют решающее значение для защиты систем хранения водорода.

Системы хранения водорода могут подвергаться воздействию внутренних технологических сбоев или повышенной внешней температуры из-за пожара, что может привести к увеличению внутреннего давления или к разрушению структурных материалов СХКВ. УСД предназначено для защиты системы при этих условиях. Термически активируемые устройства сброса давления применяют для защиты системы при повышении температуры, а активируемые давлением предохранительные устройства активируются при росте давления в системе выше заданного значения. Комбинированные предохранительные устройства активируются при превышении заданных давления или температуры.

Использование определенного УСД может подходить не для всех типов и размеров систем хранения водорода. Выбор УСД и компоновка УСД в системах хранения водорода, а также общие требования к компоновке водородных систем — в соответствии с ГОСТ Р 70680.

Г.3 Компоновка

Системы хранения водорода должны быть установлены в ТС таким образом, чтобы контроль за опасными газами в системе осуществлялся в соответствии с 4.2.3—4.2.5, а УСД, при необходимости, могли должным образом функционировать для защиты системы.

Если система хранения водорода располагается в пассажирском, багажном или грузовом отсеках, следует использовать барьеры для недопущения попадания любых выбросов из системы хранения водорода в пространства пассажирского, багажного или грузового отсеков и для обеспечения выхода выбросов из этих отсеков. Расположение и направление вентиляционных потоков должны сводить к минимуму воздействие на людей (как внутри, так и снаружи ТС), распространение опасностей внутри ТС или вокруг него.

Примечание — Вентиляционные коробы и газонепроницаемые кожухи являются формами барьеров, которые иногда используются в отрасли СПГ для улавливания возможных утечек из сочленений резервуаров и для направления газа в вентиляционные линии. При их проектировании необходимо учитывать, чтобы эти устройства не мешали способности УСД защищать резервуары.

Г.3.1 Термически активируемые устройства сброса давления

Термочувствительная часть УСД должна быть расположена в той же области или отсеке, где расположена защищаемая ими система хранения водорода. Их не следует соединять последовательно с другими термически активируемыми устройствами сброса давления или другими типами УСД, если отдельно не подтверждено, что они могут корректно работать при последовательном соединении. Экраны и барьеры потока, если таковые имеются, не должны мешать отклику или функционированию термически активируемых устройств сброса давления (см. Г.3.2).

Г.3.2 Защитные экраны и барьеры

Защитные экраны могут быть использованы для защиты водородных систем от физических, химических и тепловых воздействий. Солнцезащитные экраны следует устанавливать для защиты от теплового и УФ-воздействия при наличии прямого воздействия солнечных лучей. Тепловые экраны также следует использовать (при необходимости) в водородных системах, чтобы свести к минимуму локальное тепловое воздействие из-за пожара в соседних отсеках/областях ТС (например, в салоне или колесных арках), а также для того, чтобы УСД успели активироваться.

При проектировании экранов и барьеров потока должны быть учтены требования 4.2.3. Конструкция и расположение экранов или барьеров потока должны обеспечить безопасную работу УСД (в частности, термически активируемым УСД в Г.4.1) в части защиты водородных систем.

Требования, касающиеся систем хранения водорода, приведены в ГОСТ Р 70680—2023 (раздел 5).

Г.4 Вентиляционные системы устройств сброса давления

Соединительные линии, воздуховоды, трубы, выпускные отверстия и системы крепления должны сохранять целостность системы во время работы, а также быть защищены от механических или термических повреждений или разрушения в течение всего срока службы топливной системы.

Г.4.1 Конструкционные материалы

Вентиляционные линии должны обеспечивать работоспособность при различных тепловых условиях, как при нормальной работе, так и в ситуациях, когда УСД будут активированы. Следует также учитывать накопление электростатического заряда и возможность повышения давления в вентиляционной линии из-за воспламенения во время выброса.

При подборе материалов конструкции УСД необходимо максимально снижать риск коррозии, в том числе контактной коррозии в месте соединения с устройством сброса давления.

Г.4.2 Прокладка вентиляционной линии

Прокладка соединительных линий, воздуховодов, вентиляционных трубок и выпускных отверстий УСД не допускает сужения или защемления, а также предусматривает защиту в случае столкновений ТС, чтобы ее функциональность не нарушалась из-за ограничений потока. Вентиляционная линия не должна ограничивать предполагаемую пропускную способность УСД за счет дроссельных отверстий или других включений.

Вентиляционные линии следует надлежащим образом закреплять, чтобы предотвратить их повреждение во время эксплуатации ТС и неконтролируемое движение во время вентиляции.

Г.4.3 Организация выбросов от устройств сброса давления

Следует уделять внимание минимизации риска для пассажиров или лиц, находящихся вне ТС, а также уменьшению риска развития опасностей внутри ТС или его окружения при направлении потока выбросов УСД. Выпуск УСД не должен направлять выхлопные газы в пассажирское или багажное отделение, в колесные арки, в сторону систем хранения водорода или в сторону передней части ТС. Конструкция и установка должны сводить к минимуму возможность внешних опасностей, возникающих в результате срабатывания устройства (см. также 4.2.5).

Г.4.4 Посторонние материалы и вещества в вентиляционных линиях

Вентиляционные линии УСД следует проектировать таким образом, чтобы предотвратить попадание в них посторонних материалов или скопление влаги. Влага может скапливаться на внешней стороне УСД или вентиляционных линиях из-за проникновения воды или ее паров с последующей конденсацией. Вода или лед в вентиляционных системах могут препятствовать работе УСД, а также вызывать неожиданное срабатывание или повреждение компонентов вентиляционной системы. Корпус вентиляционных линий, включая заглушки, не допускает попадания воды внутрь системы во время дождя или мойки ТС, а также нарушения своей функциональной целостности. Вентиляционная система должна предотвращать или сбрасывать рост давления, возникающий из-за допустимой утечки УСД, без потери функциональности или целостности.

Вентиляционные линии и затворы вентиляционных линий не должны ограничивать поток из УСД.

Г.5 Предупреждающая маркировка

УСД и другие компоненты, которые устанавливаются в системе хранения водорода и подключены к линии до запорного устройства, а поэтому находятся под давлением хранения, должны иметь желтую предупреждающую этикетку с черными буквами, указывающую на то, что компонент или сборка содержит хранящийся водород под высоким давлением даже при закрытых запорных и сервисных клапанах.

Г.6 Эксплуатационные условия

Г.6.1 Осмотр

УСД следует проверять совместно с системой, для которой оно установлено в соответствии с инструкциями изготовителя УСД, на наличие повреждений или износа. Наружную часть УСД можно очищать неагрессивными чистящими средствами, не вызывающими коррозию. Вентиляционные линии УСД и выпускные крышки, если они используются, следует проверять одновременно в соответствии с инструкциями производителя ТС.

Г.6.2 Доработка и ремонт

Никакое УСД, бывшее в эксплуатации, не должно ремонтироваться или переделываться без письменного разрешения производителя УСД, производителя бортовой системы хранения водорода или производителя ТС.

Г.6.3 Замена

УСД, требующее замены в течение срока службы, следует заменять только идентичным устройством или подходящей заменой, разрешенной производителем УСД, производителем бортовой системы хранения или производителем ТС.

Г.6.4 Повторное использование и повторная установка

Никакое УСД, которое было в эксплуатации, не должно перемещаться или повторно использоваться в другой водородной системе. УСД следует переустанавливать на тот же контейнер или систему только в том случае, если это делается в соответствии с процедурами обслуживания, рекомендованными производителями УСД.

Приложение Д
(обязательное)

Метод испытания защиты от вырывания заправочного ниппеля

Д.1 Основа метода испытаний

Выбор силы 668 Н основан на максимально допустимой силе отрыва в разрывной муфте. Подобные устройства необходимы для отделения заправочной муфты от ТРК в случае выезда ТС с присоединенной заправочной муфтой. Выбор 668 Н также соответствует силе, которую может приложить взрослый человек.

Процедура предполагает различные направления прикладываемой силы. В случае тянущего усилия, приложенного вдоль оси заправочного ниппеля, значение 668 Н можно использовать без изменений, однако, если усилие приложено перпендикулярно оси заправочного ниппеля, повреждение конструкции в месте крепления на ТС будет вызвано изгибающим моментом. Использование заправочной муфты длиной 0,33 м дает максимальный изгибающий момент 220 Нм. Предполагается, что изгибающий момент является результатом приложения силы к концу сопла в четырех основных направлениях: вертикально вверх, вертикально вниз, горизонтально влево и горизонтально вправо.

В качестве подтверждения того, что магистраль подачи водорода не была повреждена во время имитации отъезда, магистраль подачи водорода проверяют на наличие утечек с использованием критерия скорости утечки в 3,6 мл/мин, поскольку он соответствует наименьшей утечке, способной поддерживать пламя.

Д.2 Описание метода испытаний

Проверку на соответствие данному требованию проводят, выполнив испытания под давлением и испытания на герметичность в следующем порядке:

а) ТС должно быть собрано и испытано в соответствии с производственными методами, чтобы убедиться, что сборка выполнена правильно, а значения утечки (если таковая имеется) находятся в допустимых пределах;

б) испытание необходимо проводить в помещении, воздухообмен в котором достаточен для предотвращения превышения допустимой концентрации водорода при любом выбросе из системы, если во время испытания произойдет разрыв линии;

в) заправочная муфта должна быть надета на заправочный ниппель на ТС и зафиксирована в этом положении. Затем система хранения водорода ТС должна быть заправлена газообразным водородом под давлением до 125 % от номинального рабочего давления (превышающим номинальное рабочее давление в 1,25 раза); к заправочной муфте следует приложить тяговое усилие 668 Н в сторону от транспортного средства (вдоль оси форсунки) в течение 5 с. Заправочная муфта должна оставаться прикрепленной к заправочному ниппелю после приложения тянущего усилия; в противном случае испытание прекращается и считается не пройденным;

г) после этого заправочную муфту необходимо беспрепятственно отсоединить от заправочного ниппеля. Если заправочная муфта не может быть отсоединена, испытание прекращается и считается не пройденным;

д) заправочная муфта должна быть надета на заправочный ниппель на ТС и зафиксирована в этом положении. Затем система хранения водорода ТС должна быть заправлена газообразным водородом под давлением до 125 % от номинального рабочего давления (превышающим номинальное рабочее давление в 1,25 раза). К концу заправочной муфты следует приложить радиальные усилия (перпендикулярные оси сопла) в вертикальном (вверх и вниз) и горизонтальном (влево и вправо) направлениях. Усилие должно быть достаточно большим, чтобы создать момент 220 Н · м на внешней части заправочного ниппеля. Заправочная муфта должна оставаться прикрепленной к сосуду после приложения моментов; в противном случае испытание прекращается и считается непройденным;

е) после этого заправочную муфту следует отсоединить от заправочного ниппеля без заеданий. Если заправочная муфта не может быть отсоединена, процедура считается неудачной и испытание прекращается;

ж) при необходимости перед выполнением следующего шага с ТС можно снять листовой металл и другие второстепенные материалы, чтобы обеспечить доступ к внутренним линиям и соединениям системы подачи водорода;

з) заправочная муфта должна быть надета на заправочный ниппель на ТС и зафиксирована в этом положении. Затем система хранения водорода ТС должна быть заправлена газообразным водородом под давлением до 125 % от номинального рабочего давления (превышающим номинальное рабочее давление в 1,25 раза), после чего проводится поиск утечки. Может использоваться пузырьковое испытание или альтернативный метод с достаточной точностью для демонстрации того, что общая утечка на границе раздела заправочная муфта/заправочный ниппель, а также на внутренней топливной линии и ее соединениях составляет менее 0,005 мг/с (3,6 $см^3$/мин). Для получения рекомендаций по проведению испытания см. локальный тест на утечку в ГОСТ Р 70680. Если все критерии удовлетворены, испытание считается успешно пройденным.

Приложение Е
(обязательное)

Руководство для проведений испытаний высоковольтных компонентов

Е.1 Испытание изоляции высоковольтной системы

Испытание изоляции высоковольтной системы проводят для того, чтобы гарантировать, что в случае непреднамеренного контакта с одной высоковольтной шиной и электропроводящим шасси ТС человек не подвергнется опасному поражению электрическим током.

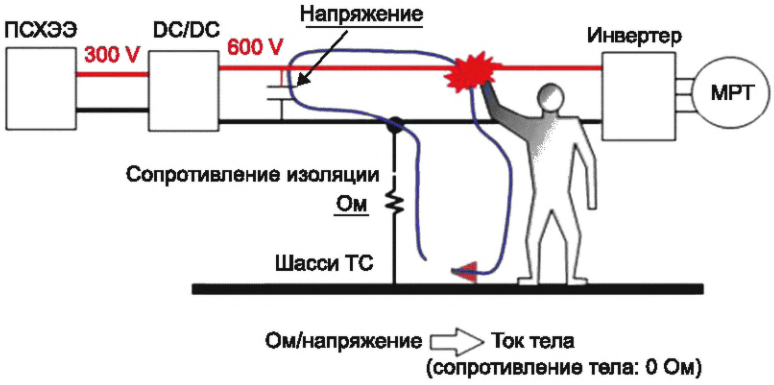


Рисунок Е.1 — Иллюстрация поражения электрическим током при контакте с высоковольтной системой, имеющей низкое сопротивление изоляции

Целью требований 500 Ом на вольт и 100 Ом на вольт является обеспечение того, чтобы ток, проходящий через тело человека (случайно или непреднамеренно), не превышал 2 мА переменного тока и 10 мА постоянного тока соответственно.

Испытание предназначено для определения соответствия изоляции цепей постоянного и переменного тока требованиям, обозначенным в 4.4.3.1. На рисунке Е.2 показан пример расчета для ситуации, когда две шины постоянного тока подключены к цепи переменного тока через неизолированный инвертор.

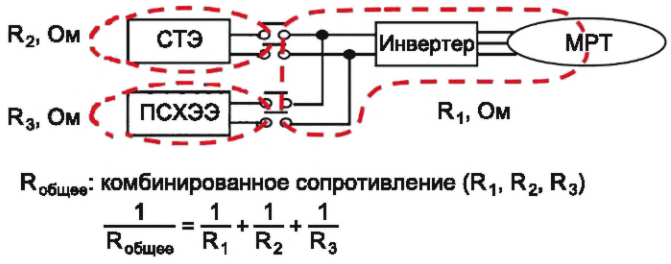


Рисунок Е.2 — Типовой подход к проведению испытаний на изоляцию высоким напряжением автомобиля при нормальной эксплуатации

Испытание проводят на всей системе одновременно или на ее отдельных узлах для определения сопротивления изоляции.

Метод испытания заключается в измерении сопротивления изоляции, Ом, между различными секциями высоковольтной шины и электропроводящего шасси (земли) в условиях конденсации влаги, после чего проводят расчет сопротивления изоляции, Ом/В, при максимальном рабочем напряжении системы. Процедура испытания заключается в следующем:

а) любое бортовое устройство накопления энергии (тяговая батарея, вспомогательная батарея, ПСХЭЭ), отвечающее требованиям 4.4.10.1, 4.4.10.2, должно быть отсоединено для этого испытания;

б) перед началом проведения испытаний все системы должны находиться при нормальных рабочих условиях;

в) обе стороны неиспытываемых электрических цепей (таких как цепи низкого напряжения) должны быть подключены к электропроводящему шасси ТС в общей точке. Если некоторые электронные компоненты, подключенные между проводящей конструкцией ТС и частью, находящейся под напряжением, не могут выдержать испы-

тательное напряжение, их следует отключить от испытательной электрической цепи. Узлы печатной электропроводки и другие компоненты электронных схем, которые могут быть повреждены при приложении испытательного потенциала, должны быть удалены, отсоединены или иным образом приведены в нерабочее состояние до проведения испытаний. Полупроводниковые устройства в блоке могут быть зашунтированы по отдельности до проведения испытания, чтобы избежать их разрушения в случае неисправности в других цепях;

г) по усмотрению изготовителя полюса различных сечений могут быть соединены вместе для определения общего сопротивления заземления или оставлены разъединенными и испытаны отдельно;

д) оборудование должно быть подвергнуто предварительной подготовке в течение не менее 8 ч при температуре (5 ± 2) °С, после чего его следует выдержать в течение 8 ч при температуре (23 ± 5) °С с влажностью (90 ± 5) % при атмосферном давлении. Альтернативные параметры подготовки и выдержки могут быть выбраны при условии, что переход через точку росы происходит вскоре после начала периода выдержки.

Если испытание изоляции высоким напряжением используется как часть производственных испытаний, действия, описанные в перечислениях б) и д), могут быть исключены, а время испытания может быть сокращено;

е) испытательным напряжением для измерения сопротивления изоляции может быть источник напряжения в системе или прикладываемое извне постоянное напряжение.

Испытательное напряжение должно быть выбрано следующим образом:

1) для систем с использованием топливных элементов выбирается максимальное напряжение холостого хода батареи топливных элементов;

2) для электрических систем (кроме систем на топливных элементах) с аккумуляторными батареями (или другими источниками высокого напряжения) напряжение зависит от одного из следующих условий:

- при максимальном уровне заряда, рекомендованном производителем ТС и указанном в руководстве по эксплуатации;

- при 95 % максимальной емкости аккумуляторов (или других источников высокого напряжения), если производитель не дает рекомендаций;

- в пределах нормального рабочего диапазона, указанного изготовителем, для любого состояния заряда аккумуляторов (или других источников высокого напряжения), которые можно заряжать только от источника энергии на ТС;

3) для электрических систем (кроме систем топливных элементов) без аккумуляторных батарей (или других источников высокого напряжения) максимальное рабочее напряжение цепи.

Испытательное напряжение следует прикладывать в течение времени, достаточного для получения стабильных показаний;

4) сопротивление изоляции следует измерять в начале и в течение периода выдержки со скоростью, позволяющей измерить минимальное значение. Измерения следует проводить с помощью подходящих приборов, между токоведущими частями каждой энергосистемы и проводящей конструкцией ТС;

е) изоляцию для каждой сборки или системы, Ом/В, рассчитывают путем деления сопротивления изоляции сборки на максимальное рабочее напряжение. Полная изоляция взаимосвязанной системы определяется на основе изоляции для каждого узла или системы в цепи, которая может вызвать протекание тока через тело человека, касающегося электрической шины в системе.

Е.2 Испытание на устойчивость к высокому напряжению

Испытание на устойчивость к высокому напряжению проводят в системах высокого напряжения для проверки разъемов, жгутов и шин. Испытания могут проводиться как на всей системе одновременно, так и на отдельных ее узлах, согласно следующим положениям:

а) любое бортовое устройство накопления энергии (например, тяговая батарея, вспомогательная батарея) может быть отключено при проведении этого испытания;

б) перед проведением испытаний система БТЭ или другие компоненты системы (которые могут быть повреждены высоким напряжением) могут быть отключены;

в) обе стороны неиспытываемых электрических цепей (например, цепи низкого напряжения) должны быть подключены к электропроводящему шасси ТС в общей точке. Если некоторые компоненты, подключенные между проводящей конструкцией ТС и частью, находящейся под напряжением, не могут выдержать испытательное напряжение, их следует отключить от испытательной электрической цепи. Узлы печатной электропроводки и другие компоненты электронных схем, которые могут быть повреждены при воздействии испытательного напряжения, должны быть удалены, отсоединены или иным образом приведены в нерабочее состояние до проведения испытаний. Полупроводниковые устройства в блоке могут быть зашунтированы по отдельности до проведения испытания, чтобы избежать их разрушения в случае неисправности в других цепях;

г) испытание проводят путем подачи напряжения постоянного или переменного тока (с частотой от 50 до 60 Гц) в течение одной минуты, между электрическими цепями и проводящей конструкцией ТС. Когда потенциал постоянного тока используется для цепи переменного тока, должен быть применен испытательный потенциал, в 1,414 раз превышающий применимое среднеквадратичное значение указанного напряжения переменного тока;

д) во время воздействия испытательного напряжения необходимо исключить пробой изоляции:

1) для цепей, не предназначенных для токопроводящего соединения с сетью, испытательное напряжение должно быть больше, чем самое высокое напряжение, которое может фактически возникнуть на компоненте, включая соответствующие перенапряжения электрической цепи. Продолжительность испытаний должна составить одну минуту;

2) для цепей, предназначенных для токопроводящего соединения с сетью, в течение одной минуты необходимо приложить следующее испытательное напряжение:

- (2*U* + 1,000) В АС (среднеквадратичное значение), если применяется базовая изоляция;

- (2*U* + 3,250) В АС (среднеквадратичное значение), если применяется двойная изоляция или усиленная изоляция, где *U* — максимальное рабочее напряжение (среднеквадратичное значение).

В качестве альтернативы указанным выше уровням испытательных напряжений для цепей, подключенных к сети с помощью токопроводящего соединения, можно использовать испытание на выдерживаемое импульсное напряжение и переменный ток. Также для проверки способности выдерживать напряжение может использоваться соответствующее испытание напряжением по ГОСТ Р МЭК 60664-1. Категория перенапряжения должна быть выбрана изготовителем ТС в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60664-1:

- для испытания на устойчивость к импульсному напряжению применимые испытательные напряжения, указанные в ГОСТ Р МЭК 60664-1, следует применять в зависимости от категории перенапряжения. Применяемое значение должно быть увеличено на 160 % от значения напряжения для двойной или усиленной изоляции;

- для переменного тока испытательное напряжение *Un* + 1200 В (среднеквадратичное значение) в течение 60 с, где *Un* — номинальное напряжение между фазой и нейтралью системы питания с нулевым заземлением. Двойное значение напряжения следует применять при двойной изоляции или усиленной изоляции.

Для цепей, предназначенных для токопроводящего соединения с сетью, устройства защиты от перенапряжений, такие как конденсаторы, влияющие на результат испытаний, должны быть отключены перед испытанием. Такие компоненты, как фильтры радиопомех, необходимо включать при испытаниях на устойчивость к импульсному напряжению, но может потребоваться их отключение во время испытания на переменном токе.

Если испытание на устойчивость к высокому напряжению используется как часть производственных испытаний, время испытания может быть сокращено.

Библиография

[1]	Правила ООН № 100	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения аккумуляторных электромобилей в отношении конкретных требований к конструкции и функциональной безопасности
[2]	SAE J1766-2014(R)	Рекомендуемая практика для электрического, топливного элемента и гибридного испытания целостности аварии с участием электромобиля (Recommended Practice for Electric, Fuel Cell and Hybrid Electric Vehicle Crash Integrity Testing)
[3]	SAE J2344-2010 (R)	Инструкции для безопасности электромобиля (Guidelines for Electric Vehicle Safety)
[4]	Правила ООН № 94	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты водителя и пассажиров в случае лобового столкновения
[5]	SAE Technical Report 2007-01-437, Corfu et al.	Development of Safety Criteria for Potentially Flammable Discharges from Hydrogen Fuel Cell Vehicles
[6]	IMC 2009	2009 International Mechanical Code

УДК 629:006.354 ОКС 43.020

Ключевые слова: водород, топливные элементы, транспортные средства на топливных элементах, безопасность топливных элементов

Редактор *Е.Ю. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 06.10.2023. Подписано в печать 24.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,00.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru