ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62282-2— 2014

ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Часть 2
Модули топливных элементов

IEC 62282–2:2012
Fuel Cell Technologies — Part 2: Fuel cell modules
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Некоммерческим партнерством «Национальная ассоциация водородной энергетики (НП НАВЭ)» на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации №29 «Водородные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября № 1102-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62282-2:2012 «Технологии производства топливных батарей. Часть 2. Модули топливных батарей » (IEC 62282-2:2012 «Fuel cell technologies — Part 2: Fuel cell modules»)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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 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.ru)

© Стандартинформ, 2015

В Российской Федерации 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 2
3 Термины и определения 3
4 Технические требования 6
4.1 Общая стратегия безопасности 6
4.2 Требования к конструкции 7
5 Типовые испытания 11
5.1 Общие требования 11
5.2 Испытания на удар и вибрацию 11
5.3 Испытания на утечку газа 12
5.4 Испытания в условиях нормальной эксплуатации 13
5.5 Испытание на допустимое рабочее давление 13
5.6 Испытание системы охлаждения на герметичность под давление 14
5.7 Постоянные и кратковременные электрические нагрузки 14
5.8 Испытание повышенным давлением 14
5.9 Испытание диэлектрика на электрическую прочность 14
5.10 Испытание на перепад давления 15
5.11 Испытание на утечку газа (повторное) 16
5.12 Испытания в условиях нормальной эксплуатации (повторное) 16
5.13 Испытание на наличие концентрации горючих веществ 16
5.14 Испытания в условиях нештатных ситуаций 16
6 Стандартные испытания 18
6.1 Общая информация 18
6.2 Испытание на газонепроницаемость 18
6.3 Испытания диэлектрика 19
7 Маркировки и инструкции 19
7.1 Табличка с данными 19
7.2 Маркировка 19
7.3 Этикетки с предупреждениями 19
7.4 Документация 19
Приложение А (справочное) Дополнительная информация для выполнения и оценки испытаний 23
Приложение В (справочное) Перечень замечаний, касающихся конкретных условий в отдельных странах 28
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам) 29
Библиография 31

Введение

Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62282-2:2012 «Технологии топливных элементов. Часть 2. Модули топливных элементов» (IEC 62282—2:2012 Fuel cell technologies — Part 2: Fuel cell modules), разработанному Техническим комитетом МЭК/ТК105 «Технологии топливных элементов» (IEC/TC105) Международной электротехнической комиссией (МЭК).

Международная электротехническая комиссия — МЭК (International Electrotechnical Commission — IEC) является всемирной организацией по стандартизации, включающей национальные комитеты. Основной задачей МЭК является продвижение международного сотрудничества по вопросам, касающимся стандартизации в областях электротехники и электроники. С этой целью МЭК публикует международные стандарты, а также технические условия, технические отчеты, общедоступные спецификации и руководства (именуемые в дальнейшем «документы МЭК»). Подготовка этих документов осуществляется техническим комитетам МЭК. Национальный комитет МЭК, заинтересованный в разработке стандарта, может принять участие в работе технических комитетов. Международные, правительственные и неправительственные организации, поддерживающие связь с МЭК, могут также принять участие в этой подготовительной работе. МЭК тесно сотрудничает с Международной организацией по стандартизации (ИСО) в соответствии с условиями, установленными в соглашении между двумя данными организациями.

Публикации МЭК носят характер рекомендаций для международного использования и принимаются национальными комитетами МЭК с учетом этого фактора.

Редакция МЭК 62282-2:2012 отменяет и заменяет первую редакцию, опубликованную в 2004 г., поправку 1 к ней (2007).

Разработка настоящего национального стандарта, идентичного МЭК 62282-2:2012, осуществлялась Техническим комитетом по стандартизации Росстандарта ТК 029 «Водородные технологии» в обеспечение Технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Часть 2
Модули топливных элементов

Fuel Cell Technologies. Part 2.
Fuel cell modules

Дата введения — 2015—07—01

1 Область применения

В настоящем стандарте представлены минимальные требования, предъявляемые к безопасной эксплуатации модулей топливных элементов. Указанные требования применяется к модулям топливных элементов классифицированных по типу электролита:

- щелочной;
- полимерный электролит (включая топливные элементы с прямым окислением метанола)[1];
- фосфорная кислота;
- жидкий карбонат;
- твердый оксид;
- водный раствор солей.

Модули топливных элементов могут быть оснащены корпусом, могут работать как при существенном избыточном давлении, так и при давлениях, близких к давлению окружающей среды.

Данный стандарт предполагает наличие условий, которые могут быть опасными для людей, вызывать повреждения модулей топливных элементов. Защита от повреждений внутри модулей топливных элементов в данном стандарте не рассматривается, если такие повреждения не приводит к возникновению опасностей снаружи модуля.

Данные требования могут быть совместимы с требованиями других стандартов, связанных с оборудованием, содержащим модули топливных элементов, в соответствии с конкретными видами применения.

Настоящий стандарт не применяется к системам для дорожного транспорта.

Стандарт не предполагает ограничение или замедление технологического развития. Любое устройство, в котором используются материалы или виды конструкции, отличные от тех, что указаны в требованиях данного стандарта, могут рассматриваться и проверяться в соответствии с целью данных требований и, если они оказываются равнозначными, могут считаться соответствующими данному стандарту.

Модули топливных элементов являются компонентами конструкций, в отношении которых необходимо проведение оценки на соответствие требований безопасности, применяемых к конечному изделию.

Модули топливных элементов рассматриваются в качестве электрохимических устройств, которые постоянно преобразуют подаваемое топливо (например, водород или насыщенные водородом газы, спирты, углеводороды и окислители) в энергию постоянного тока, тепловую энергию, воду и другие побочные продукты.

[1] Также именуемый «топливный элемент с протоннообменной мембраной».

Издание официальное

Модули топливных элементов представляют собой сборочные единицы, которые встраиваются в конструкцию конечного пользования с учетом оценки требований безопасности, предъявляемых к конечному конечного продукту.

Энергоустановка на топливных элементах

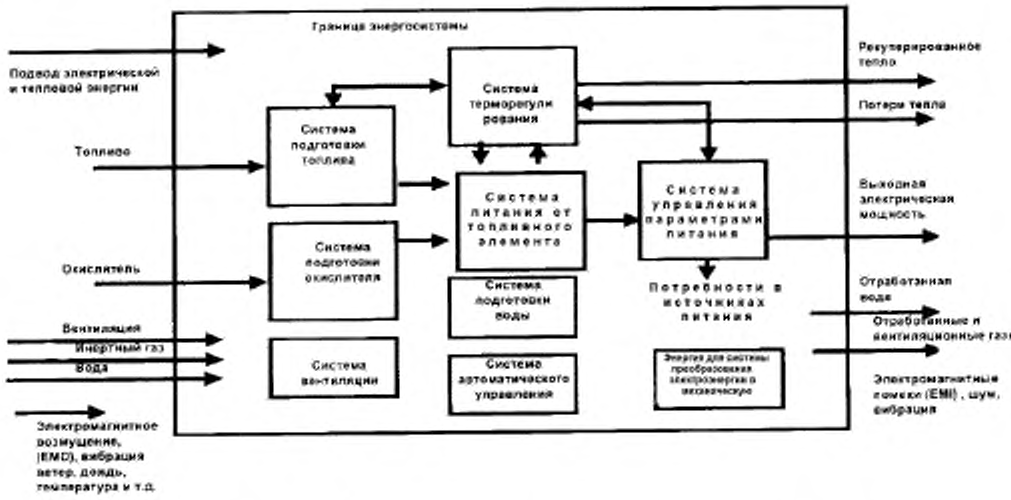

Рисунок 1 — Компоненты энергоустановки на топливных элементах

Данный стандарт действует только в отношении модулей топливных элементов и ограничивается условиями, связанными с выходом постоянного тока из модуля топливного элемента, не применяется к периферийным устройствам, указанным на рисунок 1 и не рассматривает требований к хранению, а также подаче топлива и окислителя в модуль топливного элемента.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте используются нормативные ссылки на документы, являющиеся необходимыми при его применении. Для датированных ссылок применяется указанная редакция. Для недатированных ссылок применяется последняя редакция приведенного документа (включая поправки).

МЭК 60079 (все части) Взрывоопасные атмосферы (IEC 60079 (all parts), Explosive atmospheres)

МЭК 60079-10 (все части) Взрывоопасные атмосферы. Часть 10. Классификация зон (IEC 60079-10 (all parts 10), Explosive atmospheres — Part 10–1: Classification of areas)

МЭК 60204-1 Безопасность машин и механизмов. Электрооборудование промышленных машин. Часть 1. Общие требования (IEC 60204-1, Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements)

МЭК 60335-1 Приборы электрические бытового и аналогичного назначения. Безопасность. Часть 1. Общие требования (IEC 60335-1, Household and similar electrical appliances — Safety — Part 1: General requirements)

МЭК 60352 (все части) Соединения напаянные (IEC 60352 (all parts), Solder less connections)

МЭК 60512-15 (все части) Соединители для электронной аппаратуры. Испытания и измерения. Часть 15. Механические испытания соединителей (IEC 60512-15 (all parts), Connectors for electronic equipment — Tests and measurements — Part 15. Connector tests (mechanical))

МЭК 60512-16 (все части) Соединительные устройства для электронной аппаратуры. Испытания и измерения. Часть 16. Механические испытания контактов и выводов (IEC 60512-16 (all parts) Connectors for electronic equipment — Tests and measurements — Part 16. Mechanical tests on contacts and terminations)

МЭК 60529 Степени защиты, обеспечиваемые корпусами (Код IP)) (IEC 60529, Degrees of protection provided by enclosures (IP code))

МЭК 60617 Графические символы для диаграмм (IEC 60617, Graphical symbols for diagrams)

МЭК 60695 (все части) Испытания на пожарную опасность (IEC 60695 (all parts), Fire hazard testing)

МЭК 60730-1 (все части) Устройства управления автоматические электрические бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования (IEC 60730-1, Automatic electrical controls for household and similar use — Part 1: General requirements)

МЭК 60950-1 Оборудование для информационных технологий. Безопасность. Часть 1.Общие требования (IEC 60950-1, Information technology equipment — Safety — Part 1: General requirements)

МЭК 61508 (все части) Системы электрические/электронные/программируемых электронных систем, связанных с функциональной безопасностью (IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety—related systems)

МЭК 62040-1 Системы непрерывного энергоснабжения. Часть 1. Общие положения и требования безопасности для UPS (IEC 62040-1, Uninterruptible power systems (UPS) — Part 1: General and safety requirements for UPS)

МЭК 62061 Безопасность машин и механизмов. Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем контроля, связанных с безопасностью (IEC 62061, Safety of machinery — Functional safety of safety—related electrical, electronic and programmable electronic control systems)

ИСО 13849-1 Безопасность машин. Детали систем управления, связанные с обеспечением безопасности. Часть 1. Общие принципы проектирования (ISO 13849-1, Safety of machinery — Safety—related parts of control systems — Part 1: General principles for design)

ИСО 23550 Устройства обеспечения безопасности и контроля за газовыми горелками и плитами. Общие требования (ISO 23550, Safety and control devices for gas burners and gas—burning appliances — General requirements)

ЕН 50178 Электронное оборудование для применения в силовых установках (EN 50178, Electronic equipment for use in power installations)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **приемочное испытание** (acceptancetest): Испытания при приемочном контроле продукции в рамках контракта для подтверждения заказчику того факта, что изделие соответствует тем или иным условиям его спецификации (IEC 60050-151:2001, 151-16—23) [1][2]

3.2 **допустимый диапазон рабочего давления** (allowable differential working pressure): Максимальный перепад давлений между отсеками анода и катода, определяемый производителем, который может выдерживать модуль топливного элемента без каких бы то ни было повреждений или безвозвратной утраты функциональных свойств

3.3 **допустимое рабочее давление**(allowable working pressure):Максимальное допустимое давление, определенное производителем, который может выдерживать модуль топливного элемента без каких бы то ни было повреждений или безвозвратной утраты функциональных свойств.

Примечание — Для модулей топливных элементов, в состав которых входят устройства сброса давления, это определение используется для определения порога установленного давления.

3.4 **температура окружающей среды** (ambient temperature): Температура среды, окружающей устройство, оборудование или установку, которая может оказывать воздействие на их эксплуатационные свойства

3.5 **кондиционирование** (conditioning): Предваряющий этап для подготовки модулей/комплектов энергоустановки, который требуется для эксплуатации модуля топливного элемента (3.8) и который реализуется согласно инструкции производителя.

Примечание — Кондиционирование может включать в себя обратимые и/или необратимые процессы, в зависимости от технологии.

[2] Ссылки в скобках — см. Библиографию.

3.6 **топливный элемент** (fuel cell):Электрохимический источник тока, которое преобразует химическую энергию топлива и окислителя в электрическую энергию (энергию постоянного тока), продукты тепла и реакции

Примечание — Топливо и окислитель обычно хранятся вне топливного элемента и подаются в топливный элемент по мере необходимости.

3.7 **блок топливного элемента** (fuel cell stack): устройство, включающее в себя топливные элементы, водоотделители, охлаждающие пластины, коллекторы и опорную конструкцию, которое посредством электрохимических реакций преобразует реагенты содержащие водород и воздух в постоянный электрический ток, тепло и другие продукты реакции. (МЭК 62282-1:2010, 3.50) [2]

3.8 **модуль топливных элементов** (fuel cell module): Узел, объединяющий один или более блоков топливных элементов, иные основные и дополнительные компоненты, которые предназначены для встраивания в силовую систему.

Примечание — Модуль топливного элемента состоит из следующих основных компонентов: одного или более блоков топливных элементов, систем трубопроводов для подачи топлива, окислителя и отвода отработанных газов, электрических соединений для передачи энергии от блоков топливных элементов и средств контроля и/или управления модулем. Кроме того, модуль топливных элементов может включать в себя: средства перекачки дополнительных жидкостей и газов (например, охладителя или инертного газа), средств контроля рабочих условий, корпус или сосуды высокого давления, а также систему вентиляции.

3.9 **номинальный ток** (rated current): Максимальный постоянный электрический ток, указываемый производителем модуля топливных элементов, на который рассчитан модуль топливных элементов.

3.10 **взаимное проникновение газов, кроссовер (**crossover): Утечка топлива в среду окислителя и или утечка окислителя в среду топлива в топливном элементе в любом направлении, обычно через электролит

3.11 **утечка газа** (gas leakage):Все газы, выходящие из модуля топливных элементов , кроме отработанных, необходимо рассматривать как утечку.

Примечание — Утечка газов может происходить из:
- блока топливных элементов;
- устройств сброса давления;
- других компонентов, проводящих газ и регулирующих поток.

3.12 **опасность** (hazard): Потенциальный источник повреждений или ущерба, выраженный в форме физических травм у людей, порчи имущества или урона окружающей среде.

3.13 **опасная зона (**hazardous area): Классифицируемая зона или пространство, где присутствуют опасные вещества, состоящие из газовых сред, возгораемой пыли, воспламеняющихся волокон, либо горючих летучих жидкостей, газов, паров или их смесей в количествах, достаточных для образования взрывоопасных или возгораемых смесей.

3.14 **температура деформационной теплостойкости** (heat deflection temperature): Температура, при которой стандартный испытательный брусок деформируется под нагрузкой до определенного состояния.

Примечание — Используется для определения краткосрочного теплового сопротивления.

3.15 **нижний предел воспламеняемости** (lower flammability limit, LFL): Минимальная концентрация топлива в топливовоздушной смеси, при которой возгорание может быть инициировано от источника воспламенения.

Примечание — Топливовоздушная смесь является воспламеняемой, если возгорание может быть инициировано от источника воспламенения. Основным критерием является состав топливовоздушной смеси. Топливовоздушная смесь, в которой количество топлива меньше критического предела воспламенения соответствует нижнему пределу воспламеняемости (LFL). Смесь в которой количество топлива больше критического предела воспламенения, соответствует верхнему пределу воспламеняемости (UFL).

3.16 **максимальное рабочее давление** (maximum operating pressure): Максимальное давление, определяемое производителем компонента или системы, рассчитанное для их работы в реальных условиях эксплуатации.

Примечания

1 Максимальное рабочее давление выражается в Па.

2 Включает в себя нормальную эксплуатацию, как в состоянии постоянной, так и прерывистой работы.

3.17 **минимальное напряжение** (minimum voltage): Самое низкое напряжение, которое способен постоянно вырабатывать модуль топливных элементов при его номинальной мощности или в продолжение его максимально допустимых условий перегрузки, в зависимости от того, какое напряжение ниже.

Примечание — Минимальное напряжение выражается в вольтах (В).

3.18 **естественная вентиляция** (natural ventilation):Перемещение воздуха и его замещение свежим воздухом благодаря воздействию ветра и/или перепада температур.

3.19 **напряжение разомкнутого контура** (open-circuit voltage): Напряжение на выводах топливного элемента при наличии топлива и окислителя и в отсутствие внешней нагрузки.

Примечание — Напряжение разомкнутого контура выражается в вольтах (В).

3.20 **стандартное испытание** (routine test): Контрольные испытания продукции по проверке соответствия характеристик конструкции установленным требованиям, выполняемые на каждом отдельном изделии в ходе или после его изготовления (МЭК 60050-151:2001, 151-16—17) [1]

Примечание — Необходимо не смешивать с понятием «Испытанием на соответствие» (МЭК 60050-151:2001, 151-16—15)[1]: испытание на оценку соответствия, или с «Оценкой соответствия» (МЭК 60050-151:2001, 151-16—14)[1]: систематическая проверка степени, в которой продукт, техпроцесс или услуга отвечают заданным требованиям.

3.21 **стандартные условия** (standard conditions):Условия испытаний или эксплуатации, заранее определенные в качестве основы испытаний в целях обеспечения воспроизводимых, сопоставимых данных испытаний.

3.22 **защитные мероприятия** (safeguarding): Действия в процессе управления системой, основанные на параметрах техпроцесса, которые предпринимаются во избежание условий, которые могут оказаться опасными для персонала или привести к повреждению топливного элемента или окружающего его оборудования.

3.23 **безопасное сверхнизкое напряжение** (safety extra low voltage,SELV): Напряжение в нормальных условиях или условиях единичного нарушения, не превышающее 30 В ср.кв. (r.m.s.) или 42,4 В пик/постоянного тока в сухой среде, либо, если имеется вероятность наличия влажного контакта, 15 В ср.кв. (r.m.s.) или 21,2 В пик/постоянного тока.

3.24 **условия теплового равновесия** (thermal equilibrium conditions): Стабильные температурные условия, характеризующиеся изменениями температуры не более 3 К (5°F) либо 1% абсолютной рабочей температуры, в зависимости от того, какая величина больше, между двумя показаниями, взятыми через 15—минутный интервал

3.25 **тепловая стабильность** (thermal stability): Стабильные температурные изотермические условия

3.26 **типовое испытание** (type test): Контрольные испытание выпускаемой продукции с целью оценки соответствия эффективности и целесообразности вносимых измерений в ее конструкцию техническим требованиям, проводимые в выборочном порядке на одном или более изделиях производственной серии (МЭК 60050-151:2001, 151-16—16) [1]

Примечание — Необходимо не смешивать с понятием «Испытанием на соответствие» (МЭК 60050-151:2001, 151-16—15) [1]: испытание на оценку соответствия, или с «Оценкой соответствия» (МЭК 60050-151:2001, 151-16—14) [1]: систематическая проверка степени, в которой продукт, техпроцесс или услуга отвечают заданным требованиям.

4 Технические требования

4.1 Общая стратегия безопасности

Производитель обязан в документальной форме выполнить анализ рисков, чтобы удостовериться, что:

a) все нормально ожидаемые опасности, опасные ситуации и события в течение предполагаемого срока службы энергетической системы на топливных элементов были определены (приложение А содержит перечень типовых опасностей);

b) риск каждой из этих опасностей получил оценку на основе комбинации вероятности возникновения опасности и ее прогнозируемой степени тяжести;

c) оба фактора, которые определяют каждый из оцениваемых рисков (вероятность и степень тяжести) были оценены и понижены до уровня, не превышающего приемлемого уровня риска, насколько это практически возможно, за счет:

1) безопасной конструкции энергоустановки на топливных элементах;

2) пассивного контроля безопасности энергоустановки, исключающей риски причинения ущерба (например, с помощью разрывных мембран, предохранительных клапанов, термических предохранительных устройств) или за счет функций управления, относящихся к обеспечению безопасности оборудования;

3) при наличии рисков, которые могут иметь место с учетом мер, упомянутых в настоящем стандарте в 1) и 2), должны быть установлены информационные таблички, предупреждение об опасности или установлены требования к специальной подготовке обслуживающего персонала, с учетом того, что меры безопасности должны однозначно пониматься лицами, которые находятся на участке содержащем указанные риски.

Что касается функциональной безопасности, требований к системам управления при проектировании, производстве и эксплуатации, то такие требования целесообразно определять в соответствии с приведенными ниже международными стандартами, такими как:

МЭК 62061 (соответственно ИСО 13849-1) для применений в соответствии с МЭК 60204-1;

МЭК 60730-1 для устройств в соответствии с МЭК 60335-1;

МЭК 61508 (все части) для других применений.

Для анализа видов и последствий отказов (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) и анализа методом дерева неисправностей в качестве руководства могут применяться следующие стандарты:

МЭК 60812 [3];

SAE J1739 [4];

МЭК 61025 [5].

Оценка должна охватывать также возможные риски, связанные с наличием:

- температуры блока топливных элементов, и
- напряжения в блоке топливных элементов и/или элемента;
- повышенного давления в компонентах конструкции.

Кроме того, нужно обращать внимание на наличие:

- механических опасностей вызванных острыми поверхностями, опасностями при опрокидывании и неустойчивости, наличии движущихся частей, давления жидкостей или газов;
- электрических опасностей вызванных контактом людей с деталями под напряжением, наличием вероятности короткого замыканий и высокого напряжения;
- опасности ЭМС вызванной сбоем в работе модуля топливных элементов при воздействии на него электромагнитных явлений, или сбоем в работе другого, находящегося рядом, оборудования вследствие электромагнитных эмиссий от модуля топливных элементов;
- термических опасностей вызванных наличием горячих поверхностей, выброса наружу жидкостей или газов, имеющих высокую температурой, а также явлений связанные с температурной усталостью материалов;
- опасности пожара и взрыва, вызванные наличием горючих газов и жидкостей, взрывоопасных смесей в нормальных или нештатных условиях эксплуатации, а также в условиях отказов в работе оборудования;

- опасности сбоев в работе обусловленная вызванной отказами программного обеспечения, контуров управления или компонентов защиты/безопасности, ошибками при изготовлении, либо эксплуатации;

- опасностей, связанных с использованием материалов и токсичных веществ, возникающих в результате снижение качества материалов, коррозии, охрупчивания металлов, выходы токсических веществ;

- опасностей утилизации отходов, связанных с утилизацией токсичных материалов, переработкой и утилизацией горючих жидкостей или газов;

- опасностей внешней среды, вызванных аварийной эксплуатацией в горячих/холодных средах, наличием неблагоприятных погодных и климатических условий, таких как: дождь, наводнения, ветер, землетрясения, пожары и др.

4.2 Требования к конструкции

4.2.1 Общие требования

Модуль топливных элементов должен разрабатываться в соответствии с оценкой рисков, выполненной производителем. Все детали должны быть:

a) пригодными работы в условиях диапазона температур, давления, расхода жидкостей/газов, напряжений и силы тока, на которые они предназначены сточки зрения их применения;

b) стойкими к воздействиям химических реакций, техпроцессов, и иного воздействия, на которые они рассчитаны в процессе их применения по назначению.

c) надежными, обеспечивающими стабильное качество материалов, применяемых в модулях топливных элементов, монтажных элементах и контактах. Методы сборки различных деталей модулей топливных элементов должны быть такими, чтобы структурные и рабочие характеристики не менялись существенно на протяжении установленного срока службы в нормальных условиях установки и эксплуатации. Все детали модуля топливных элементов должны выдерживать механические, химические и температурные нагрузки, которые могут иметь место при их нормальной эксплуатации заказчиком.

Корпус модулей топливных элементов должен соответствовать требованиям МЭК 60529 в части, касающейся их применения. На модуль топливных элементов должен наноситься соответствующий код IP.

Примечание — Степень защиты IP00, означающая отсутствие защиты, может быть применима, если оборудование конечного заказчика оснащено защитным кожухом.

4.2.2 Работа при нормальных и нештатных условиях эксплуатации

Модуль топливных элементов должен быть спроектирован таким образом, чтобы он мог выдерживать все стандартные эксплуатационные нагрузки, определяемые технической документацией производителя, без каких—либо повреждений. Нештатные условия эксплуатации определяются в соответствии с 4.1.

4.2.3 Утечка

В зависимости от конструктивных особенностей модуля, утечка горючих газов или жидкостей определяется в соответствии с 5.3. Скорость утечки газа должна быть отражена в технической документации, для того чтобы при встраивании в систему топливного элемента представлялась возможность определить минимальную производительность системы вентиляции (см. 7.4.1, r), а также сформировать необходимые требования к производительности систем вентиляции и продувки.

Режим отказа «взаимное проникновение газов» (кроссовер) должен быть частью оценки рисков в соответствии с 4.1. Должны быть предусмотрены меры, например, «отслеживание напряжения элементов», в соответствии с релевантными стандартами, приведенными в 4.1.

Если защита от взаимного проникновения газов (кроссовер) не включена в модуль топливных элементов, то в соответствующей документации на оборудование должны описываться защитные устройства или технологические процедуры, которые должны предоставляться пользователям, использующим данную систему.

Примечание — Для классификации опасных участков может быть использован МЭК 60079–10.

4.2.4 Работа под давлением

Если модули топливных элементов включают в себя газонепроницаемые и герметизированные емкости, то данные емкости должны соответствовать требованиям законодательства в сфере без-

опасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Должны быть определены режимы работы под давлением, которые могут создавать опасные условия за переделами модуля (4.1), такая информация должна быть передана заказчику продукции, осуществляющему ее дальнейшее использование.

Примечание — Модули топливных элементов классифицируются в соответствии со следующими отличительными свойствами:

Модули топливных элементов с полимерной мембраной (polymer electrolyte fuel cell stack, PEFC), для которых давление не является существенным фактором при проектировании. Подбор размеров, выбор материала и правила производства таких модулей основываются в первую очередь на требованиях достаточно прочности, жесткости и устойчивости, чтобы обеспечить нужные статические, динамические и/или другие рабочие характеристики. Например, конструкция, использующая аппаратуру с соосными усилием сжатия, предусматривает утечку, прежде чем произойдет ее разрушение.

Модули топливным элементом с фосфорно-кислым электролитом (phosphoric acid fuel cell, PAFC) обычно эксплуатируется в условиях атмосферного давления.

Модули топливных элементов с расплавленным карбонатным электролитом (molten carbonate fuel cell, MCFC), работающие под давлением встраиваются во внешний корпус модуля, конструкция которого проектируется в соответствии с национальными и международными регламентами, а также стандартами для оборудования, работающего под давлением. Опасность, связанная с высоким давлением для модуля топливных элементов с расплавленным карбонатным электролитом учитывается в конструкции корпусу модуля, который соответствует требованиям упомянутой нормативно-технической базы.

Модули твердооксидного топливного элемента (solid oxide fuel cell, SOFC) встраиваются в оболочку, предназначенную для работы под давлением, конструкция которой разрабатывается в соответствии с принятыми национальными и международными регламентами и стандартами для оборудования работающего под давлением.

4.2.5 Огонь и возгорание

4.2.5.1 Общие требования

Модуль топливных элементов должен быть оснащен средствами защиты (например, с помощью вентиляции, детекторов газов, управляемого окисления и т.п.), благодаря которым газ, просачивающийся из модуля топливных элементов или скапливающийся внутри него, не мог образовывать взрывоопасных концентраций.

Производитель модуля топливных элементов должен указывать соответствующие требования к конструкции (например, требуемая скорость вентиляции). Эти требования должны обеспечиваться производителем модуля топливных элементов или производителем системы топливных элементов в целом. Если производитель топливного элемента не предоставил такие средства, то он должен предоставить требования к проектированию и испытательную систем.

Компоненты и материалы внутри газовых сред, классифицированных как взрывоопасные и воспламеняющиеся, должны проектироваться с использованием таких материалов, которые препятствуют распространение пламени и возгоранию.

Свойства материалов должны быть такими, чтобы горение после прекращения подачи электропитания и топлива с окислителем не поддерживалось.

Примечание — Температуры самовозгорания, обычно указываемые в стандартах, например, МЭК 60079–20—1 [6], являются минимальными температурами, при которых горючая газовая смесь может воспламениться. Фактические температуры самовозгорания могут существенно превышать эти значения, в зависимости от геометрической формы конструкции, свойств материалов и фактического состава газовой смеси. Это требование относится к температуре самовозгорания, при которой горючий газ воспламенится при всех условиях для выбранных материалов и геометрии.

Такое требование может быть выполнено посредством выбора материалов, имеющих класс воспламеняемости V-0, V-1 или V-2 в соответствии с МЭК 60695.

4.2.5.2 Нераспространение

Считается, что мембраны или другие материалы в составе топливных элементов, занимают меньше 10% общей массы модуля и не влияют на показатели характеризующие скорость распространения пламени. Наличие таких материалов должно быть отражено в документации на продукцию, чтобы заказчик встраивающий модули топливных элементов в свою систему, мог учитывать это в своей работе.

Если фактическая температура в любом месте модуля топливных элементов, где может оказаться горючая смесь, оказывается выше температуры самовозгорания, утечка горючего газа, это приводит к немедленному его окислению топлива. Очевидно, что скопление больших концентраций взрывоопасных газов в этом случае не возможно.

В случае если температура таких высокотемпературных топливных элементов ниже температуры самовозгорания, модуль топливных элементов должен приводиться к безопасному состоянию (например, посредством продувки).

4.2.6 Меры защиты

Отказ компонента внутри системы управления безопасностью (см. 4. c)) приводит к тому, что модуль топливных элементов должен инициировать управляемое отключение. Для обеспечения необходимого системного уровня надежности (Safety Integrity Level, SIL) компоненты систем, обеспечивающие защиту, должны соответствовать стандартам, указанным в 4.1.

Примечание — Управляемое отключение может включать в себя задержку по времени или завершение рабочего цикла, если немедленная остановка связана с повышенным риском. Примером может быть детектор газа в модуле топливных элементов, используемый в качестве источника аварийного сигнала.

4.2.7 Трубы и арматура

4.2.7.1 Общие требования

Резьбовые соединения трубопроводов и арматуры, предназначенные для горючих газов, должны соответствовать ИСО 22550. Все другие стыки должны свариваться или иметь тип соединения указанные производителем. Патрубки, если они используются для горючего газа или кислорода, должны иметь соединения с притертыми поверхностями или иметь фланцевые соединения, уплотнение которых должно соответствовать использованию горючих газов.

Внутренние поверхности трубных соединений должны быть тщательно зачищены для того, чтобы не допускать присутствия посторонних частиц; концы труб тщательно обработаны для удаления заусенцев и других дефектов.

Если для газа используются гибкие шланги и соответствующая арматура, то они должны соответствовать требования, обеспечивающим безопасность их применения. В отношении трубопроводов необходимо учитывать требования, связанные с условиями работы в среде водорода, включая факторы старения материала, охрупчивания, пористости и т.п.

Примечание — Информация об указанных требованиях содержится в стандартах: ИСО 37 [7], ИСО 188 [8], ИСО 1307 [9], ИСО 1402 [10], ИСО 1436 [11] , ИСО 4672 [12].

4.2.7.2 Системы неметаллических трубных соединений

Трубопроводы и компоненты из полимерных и эластомерных материалов применяются в случаях, если известно, что материалы из которых они изготовлены на протяжении всего срока службы будут пригодны для работы в условиях максимальных рабочих температур и давлений, а также совместимы с другими материалами и химическими веществами, с которыми они соприкасаются в процессе работы и обслуживания. Соответствующая механическая прочность их должна соответствовать 5.4 и 5.5.

Компоненты из полимерных или эластомерных материалов должны быть защищены от механического воздействия внутри модуля топливных элементов. Необходимо использовать соответствующее экранирование для защиты компонентов от повреждений, вызванных отказами в работе вращающихся частей или других механических элементов, расположенных внутри блока.

Отсек, в котором находится компоненты из полимерных или эластомерных материалов, применяемые для горючих газов, должен быть защищены от перегрева.

Если невозможно избежать опасности того, что температура газа окажется хотя бы на 10 К ниже температуры приводящей к деформации материалов, необходимо предусмотреть наличие системы, позволяющей управлять температурной средой и обеспечивающей соответствующие требования в 4.1.

Полимерные или эластомерные материалы, используемые в опасных местах, должны быть электропроводными или иметь иные конструктивные особенности, позволяющие избежать образования статического заряда, например, путем ограничения скорости потока или иным образом. Полимерные или эластомерные материалы с недостаточной электропроводностью могут использоваться только в неопасных зонах.

4.2.7.3 Системы металлических трубопроводов

Системы металлических трубопроводов должны быть пригодны для работы в условиях рабочих температур и высоких давлений, а также совместимы с материалами и химическими веществами, с которыми им приходится соприкасаться в процессе работы и технического обслуживания. Системы металлических трубопроводов должны обладать достаточной герметичностью. Механическая прочность таких систем должна соответствовать 5.5 и 5.6.

Системы металлических трубопроводов должны отвечать требованиям по утечке рабочей среды в соответствии с 5.3.

Технология изгиба труб не должна приводить к разрушениям, вызванным процессом гибки и должны соответствовать следующему параметрам:

- изгибы должны выполняться только на гибочном оборудовании и с применением процедур, специально разработанных для этого;
- все изгибы должны быть равномерными и не содержать короблений, трещин, либо иных признаков повреждений;
- продольный шов трубы должен быть вблизи нейтральной оси изгиба;
- внутренний радиус изгиба должен быть не меньше, чем минимальный радиус, указанный производителем трубы.

4.2.8 Электрические компоненты

Конструкция и структура электрической системы, а также применяемое электрическое и электронное оборудование, включая электрические двигатели и корпуса, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов на электрическую продукцию, например:

МЭК 60335-1 (например, для жилых помещений, коммерческих предприятий и легкой промышленности);

МЭК 60204-1 (например, для тяжелой промышленности);

МЭК 60950-1 (например, для телекоммуникаций);

МЭК 62040-1 (например, для систем бесперебойного питания).

Выбор соответствующей системы должен обеспечиваться в технической спецификации.

Разработчик модулей топливного элемента должен учитывать следующие специфические моменты, касающиеся топливного элемента:

остаточный заряд в блоке топливных элементов;

опасный энергетический потенциал между элементами.

О требованиях к электрическим компонентам в части касающейся внешних условий, работы системы топливных элементов, необходимо уведомить заказчика, встраивающего их в систему топливных элементов в соответствии с 7.4.1. i), указав для условий работы и хранения необходимый диапазон температур окружающей среды и влажности.

Если электрические компоненты поставляются заказчику, осуществляющему их дальнейшую интеграцию в систему топливных элементов, то они должен быть снабжены техническим описанием, отражающим требования для обеспечения необходимой безопасности.

Если заключенный в оболочку модуль топливных элементов, работающий при температуре ниже температуры самовозгорания горючего газа, работает во взрывоопасной среде с пределами концентрации воспламенения, описанными в 5.12, электрические компоненты, расположенные внутри оболочки, должны соответствовать МЭК 60079-10, с использованием технологий защиты, определенных в серии стандартов МЭК 60079.

4.2.9 Выводы и электрические соединения

Электрические соединения с внешними контактами установки должны быть:

a) закреплены с использованием деталей исключающих самопроизвольное ослабление крепления;

b) спроектированы таким образом, чтобы исключить самопроизвольное отсоединение в местах, предназначенных для крепления;

c) установлены таким образом, чтобы обеспечить нормальный контакт проводников без их повреждения, что может негативно повлиять работоспособность электрооборудования;

d) надежно зафиксированы, исключая вероятность их вращения, кручения или деформирования при фиксации.

Соединения, выполненные непосредственно на топливный элемент, не должны иметь существенных повреждений, вызванных условиями, которые могут происходить в ходе эксплуатации. Выводы на модуле топливных элементов должны соответствовать IEC 60352, IEC 60512-15 (все части)

или требованиям, применяемым для выводов и электрических соединений рекомендованных стандартам поименованными в 4.2.8.

4.2.10 Токоведущие части

В технической документации производителя в соответствии со стандартам поименованными в 4.2.8 должны быть указаны:

a) доступные токоведущие части деталей под напряжением, которые не отвечают требованиям для безопасного сверхнизкого напряжения (Safety extra-low voltage, SELV);

b) доступные токоведущие части деталей под напряжением, которые представляют опасность прохождения наличия тока большой силы из—за вероятности короткого замыкания.

Такая информация предназначается, в частности, для заказчиков модулей топливных элементов, осуществляющих их интеграцию в систему топливных элементов и отвечающих за безопасную эксплуатацию данных токоведущих частей всей системы в целом.

4.2.11 Изолирующие материалы, прочность диэлектрика

Конструкция всех диэлектрических конструкций модуля топливных элементов, устанавливаемых между токоведущими частями и металлическими деталями, по которым не проходит ток, должна соответствовать стандартам, в соответствии с 4.2.8 для электрического оборудования соответствующего класса.

Механические характеристики материалов, которые влияют на работоспособность системы, например, на прочность при сжатии, должны соответствовать проектным критериям при температуре как минимум до значений на 20 K или 5% (в зависимости от того, что выше) превышает максимальную температуру, имеющую при нормальной эксплуатации, но не меньше 80°C.

Поверка должна основываться на свойствах и характеристиках материала в соответствии с рекомендациями его производителя.

4.2.12 Заземление

Применяются следующие положения, если иное не определяется в стандартах поименованных в 4.2.8.

Доступные металлические детали, по которым не проходит электрический ток, и которые могут попасть под напряжение вследствие неполадки в электрической части, что может привести к удару электрическим током или возникновению опасности от электрической энергии, должны заземляться.

Чтобы обеспечить нормальный электрический контакт, данные соединения должны быть защищены от коррозии. Они также должны быть разработаны таким образом, чтобы проводники были надежно закреплены с гарантией от расшатывания и перекручивания, и с гарантией поддержания нужного для контакта соединения.

Между металлическими частями, которые предназначены для заземления в условиях эксплуатации, хранения и транспортировки, не должно иметь место электромеханической коррозии. Стойкость к воздействию электромеханической коррозии можно достичь путем нанесения соответствующего покрытия или защитного слоя.

4.2.13 Удар и вибрация

Предельные значения ударных нагрузок и вибраций, на которые рассчитан модуль топливных элементов, должны включаться в документацию производителя.

5 Типовые испытания

5.1 Общие требования

Типовые испытания должны проводиться на испытательном оборудовании, моделирующем реальную систему топливных элементов, с целью получения достоверных условий эксплуатации. В частности, испытательные оборудование для выполнения типовых испытаний может представлять собой установку, обеспечивающую работу модуля топливных элементов с режима ее запуска до соответствующих параметров нагрузки. Рекомендуется, чтобы типовые испытания выполнялись в порядке, представленном ниже. Испытания не советующие нормальным условиям могут приводить к разрушению объекта испытания .

5.2 Испытания на удар и вибрацию

Модуль топливных элементов должен подвергаться испытаниям на удар и вибрацию в соответствии с параметрами, установленным в документации производителя.

Примечание — Возможна ситуация, когда производитель не устанавливает предельных критериев для испытаний на удар и вибрацию. В этом случае испытаний проводить не потребуется.

Требования к испытуемым образцам считаются выполненными, если испытываемое устройство выдерживает предусмотренные производителем критерии удара и вибрации без признаков видимых повреждений. После доведения до заданных пределов испытываемое устройство должно работать в штатном режиме.

5.3 Испытания на утечку газа

Испытания на утечку газа не применяется для модулей топливных элементов:

- имеющих температуры выше температуры самовозгорания газа (4.2.5);
- расположенных внутри газонепроницаемых оболочек, проверенных в соответствии с требованиями установленными национальными стандартами.

Если для испытаний, можно использовать комплект с уменьшенным числом элементов, при условии, что результаты таких испытаний будут репрезентативными. Утечка должна учитываться пропорционально числу элементов.

Модуль топливных элементов должен работать до тех пор, пока не выйдет на установившийся режим при максимальной рабочей температуре и полном токе нагрузки.

После выхода модуля на установившийся режим его работа прекращается, модуль топливных элементов продувается, перекрываются отверстия выхода газа. Температура модуля топливных элементов должна быть снижена до наименьших значений рабочей температуры. либо ниже нее. В модуль топливных элементов далее нагнетается давление с использованием стандартного анодного газа, либо гелия, с постепенным нарастанием его величины до максимального значения, определенного производителем. После того как такое давление будет достигнуто, оно должно оставаться неизменным в течение 1 мин.

Давление на входе должно оставаться стабильным и неизменным на время измерения утечки. Скорость утечки газа должна измеряться с помощью расходомера, находящегося на входе модуля топливных элементов, до устройства сброса давления, и способного измерять скорость утечки с точностью до 2 %. Если в качестве контрольного газа используется гелий, скорость утечки газа должна корректироваться согласно

$$R = \text{скорость утечки топливного газа / скорость утечки контрольного газа,} \quad (1)$$

где

$$R = (\text{TGSG/FGSG})^{1/2} \quad (2)$$

и

TGSG — удельный вес контрольного газа;

FGSG — удельный вес топливного газа;

$$R = \mu_{test} / \mu_{fuel}\,, \quad (3)$$

или

где μ_{test} — вязкость контрольного газа;

μ_{fuel} — вязкость топливного газа.

Эти две формулы должны использоваться для расчета R с наихудшим сценарием, т.е. должно учитываться более высокое значение.

Должна быть зафиксирована скорость утечки газа, включая скорость прохождения газа через клапан сброса давления.

Если устройство сброса давления не включено в испытание, например, из-за задания гистерезиса или давления, то общая утечка будет представлять собой сумму утечек одного устройства сброса давления при максимальном давлении подачи топлива и утечек, полученных в результате этого давления.

Скорость утечки газа, скорректированная по эталонным условиям и типу газа умноженная на 1,5, должна соответствовать скорости утечки газа, установленной в документации (7.4).

Примечание — Ожидается, что предоставление данной информации может потребоваться для пользователя конечного продукта в целях расчета необходимой вентиляции.

5.4 Испытания в условиях нормальной эксплуатации

Нормальная эксплуатация — это эксплуатация модуля топливных элементов в установленных производителем условиях его работы, таких как:

- номинальный выход мощности по напряжению и силе тока;
- номинальный выход тепловой энергии в установленном диапазоне температур и теплового потока (если применяется);
- номинальный температурный диапазон модуля топливных элементов;
- номинальный состав топлива;
- номинальные потоки анодной и катодной сред;
- номинальные диапазоны давления анодных и катодных жидкостей;
- скорость изменения выхода мощности в пределах номинальных диапазонов, определенных в спецификации производителя.

Для типового испытания модуль топливных элементов должен работать в нормальных условиях, определенных выше, до тех пор, пока не будет достигнуто состояние теплового равновесия.

Необходимо выполнить измерения следующих параметров и зарегистрировать результаты в документации, указанной в 7.4, таких как:

a) напряжение на выводе из модуля топливных элементов при полной нагрузке;

b) температура (комплекта топливных элементов, поверхности модуля топливных элементов, окружающей среды);

c) давление топлива в пределах от — 5% до + 5% или ± 1 кПа, в зависимости от того, что выше;

d) расход топлива в пределах от — 5% до + 5%;

e) расход окислителя в пределах от — 5% до + 5%, где применимо;

f) давление окислителя в переделах от — 5% до + 5% или ± 1 кПа, в зависимости от того, что выше, где применимо;

g) температуры охлаждающего вещества на входе и выходе (где применимо);

h) расход охлаждающего вещества (где применимо);

i) давление охлаждающего вещества на входе и выходе (где применимо);

j) перепад давления топлива и окислителя.

Соответствие достигается, если для всех измеренных параметров измеренные величины находятся в пределах заданных производителем величин.

5.5 Испытание на допустимое рабочее давление

Модуль топливных элементов должен испытываться при максимальной или минимальной рабочей температуре, в зависимости от того, какая из них более неблагоприятна.

В ходе этого испытания стороны топлива и воздуха модуля топливных элементов могут быть взаимосвязаны, если они имеют одинаковое внутренне давление в условиях нормальной эксплуатации. Если модуль топливных элементов включает в себя систему охлаждения, эта система может быть испытана на превышение давления одновременно и тем же способом.

Давление в модуле топливных элементов (как анодный, так и катодный каналы) должно нагнетаться постепенно и поддерживаться на постоянном уровне в течение периода не менее, чем 1 мин, до уровня и на уровне как минимум в 1,3 раза больше, чем их допустимое рабочее давление.

Если модуль топливных элементов включает в себя клапан сброса давления, его можно убрать или выключить.

Данное испытание может проводиться в течение испытания на утечку газа или нормального рабочего испытания, при условии, что параметры испытания могут быть достигнуты.

Если условия испытаний (температура) не могут быть достигнуты, модуль топливных элементов должен испытываться при температуре среды и при допустимом рабочем давлении, умноженном на 1,5.

Модуль топливных элементов не должен демонстрировать порывов, разрушений, постоянной деформации или иных физических повреждений.

5.6 Испытание системы охлаждения на герметичность под давление

Данное испытание должно проводиться, при условии, что система охлаждения модуля топливных элементов не проходила проверку в ходе испытания на герметичность при допустимом рабочем давлении.

В систему охлаждения модуля топливных элементов нагнетается давление, которое превышает допустимое рабочее давление системы охлаждения в 1,3 раза, которое далее должно выдерживаться не мене 10 мин.

Если условия испытания (температура) не могут быть достигнуты, система охлаждения должна быть испытана при температуре среды и при допустимом рабочем давлении системы охлаждения, умноженном на 1,5 раза.

По результатам испытаний в системе не должны иметь место разрывы, разрушения, остаточная деформация или иные механические повреждения. Если в системе используется жидкое рабочее тело, то во время испытания не должно быть его утечки.

5.7 Постоянные и кратковременные электрические нагрузки

В тех случаях если производитель указывает электрические параметры в условиях кратковременного режима воздействия, модуль топливных элементов должен стабилизироваться при номинальном токе, далее значение тока необходимо повысить до установленного номинального значения и удерживать ее значение в пределах установленного производителем кратковременного интервала времени.

По результатам испытаний в системе не должно иметь место разрывы, разрушения, остаточная деформация или иные механические повреждения.

5.8 Испытание повышенным давлением

Если модуль топливных элементов имеет устройство ограничения давления, то давление необходимо нагнетать постепенно до величины, которая превышает пороговое значение для устройства ограничения давления. При необходимости регулятор входного давления в модуле может быть в процессе испытания блокирован или переключен на обходную линию. Механизм обеспечения безопасности при срабатывании обеспечивает снижение давления или переводит модуль топливных элементов в безопасное рабочее состояние.

В случае конструкции, допускающей утечку рабочего тела до поломки, данное испытание может предусматривать разрушение образца и может выполняться в соответствии с 5.13. Результаты указанного испытания должны представляться заказчику, выполняющему встраивание модуля в общую систему. Кроме того, заказчика необходимо проинформировать обо всех потенциально имеющихся опасностях.

5.9 Испытание диэлектрика на электрическую прочность

Модули топливных элементов могут производиться в соответствии с двумя разными конструкциями:

a) встроенный блок;

b) встраиваемый блок.

В случае конструкции a), испытание диэлектрика на прочность не применяется, контролируется только напряжение разомкнутого контура.

В случае конструкции b), испытание диэлектрика на электрическую прочность проводится при рабочей температуре с учетом параметров рабочего тела системы охлаждения. Если работа модуля топливных элементов не может поддерживаться в диапазоне рабочих температур, то испытание диэлектрика должно проводиться при максимальной допустимой температуре, и эта температура должна быть документально зафиксирована. При испытании диэлектрика на полностью собранном модуле топливных элементов, он отсоединяется от электрической цепи питания и вентилируется продувочным газом. Испытательное напряжение должно подаваться на токоведущие элементы конструкции и металлические деталями, не предназначенные для работы под напряжением. Испытание должно проводиться с напряжением постоянного либо переменного тока синусоидальной формы с частотой от 45 Гц до 62 Гц. Напряжение должно повышаться постепенно до заданной величины и далее выдерживаться как минимум в течение 5 с. Результаты являются приемлемыми, если не наблюдается пробоя диэлектрика. Ток утечки не должен превышать значения 1 мА, умноженного на отношение ис-

пытательного напряжения к напряжению разомкнутого контура. Если эта величина не может быть достигнута, то полученные результаты испытания должны быть сообщены заказчику, выполняющему встраивание модуля в общую систему. Заказчик, выполняющий встраивание модуля в общую систему, должен обеспечить снижение вероятности возникновения последующих опасностей.

Примечание — В зависимости от условий последующего применения, может потребоваться продолжительность испытания, превышающая 5 секунд.

Испытательные напряжения должны соответствовать значениям, указанным в таблице 1.

Таблица 1 — Напряжения для испытания прочности диэлектрика (EN 50178)

Колонка 1 Напряжение разомкнутого контура	Колонка 2 Испытательное напряжение, переменного или постоянного тока, для испытаний контуров электрических цепей с основной изоляцией и защитного разделения		Колонка 3 Испытательное напряжение, переменного или постоянного тока, для испытаний между контурами электрической цепи и доступной поверхностью (токонепроводящие или токопроводящие, но не подсоединенные к защитному заземлению)	
	Переменный ток среднеквадратичное значение (кВ)	Постоянный ток кВ	Переменный ток среднеквадратичное значение (кВ)	Постоянный ток кВ
≤ 50√2 В = 71 В	0,35	0,5	0,35	0,5
100√2 В = 141 В	0,5	0,7	0,7	1,0
150√2 В = 212 В	0,8	1,1	1,3	1,8
230√2 В = 325 В	1,1	1,6	1,8	2,5
300√2 В = 424 В	1,2	1,7	2,2	3,1
400√2 В = 566 В	1,35	1,9	2,6	3,7
600√2 В = 849 В	1,65	2,3	3,5	5,0
690√2 В = 976 В	1,8	2,5	3,8	5,4
1√2 кВ = 1,41 кВ	2,25	3,2	5,0	7,1
1,5√2 кВ = 2,12 кВ	3,0	4,2	6,4	9,1
3√2 кВ = 4,24 кВ	5,25	7,4	11,2	15,8
6√2 кВ = 8,4 кВ	9,75	13,8	17,5	24,8
10√2 кВ = 14,14 кВ	15,75	22,3	34,0	48,1
Примечание — Во всем диапазоне допускается интерполяция.				

5.10 Испытание на перепад давления

Для модулей топливных элементов, которые имеют разные каналы для анода и катода внутри модуля, применяется испытание на перепад давления. Модуль топливных элементов должен иметь максимальную или минимальную рабочую температуру, в зависимости от того, какая из них более неблагоприятна. В модуль топливных элементов должен постепенно нагнетаться соответствующий газ, который должен фиксируется в каналах анода и катода в течение не менее 1 мин, при этом перепад давления должен в 1,3 раза превышать допустимый перепад рабочего давления. Если условия испытания не могут быть достигнуты, модуль топливных элементов может испытываться при температуре окружающей среды, при этом перепад давления должен быть в 1,5 (не менее) раза выше допустимого рабочего давления.

Интенсивность утечки должна измеряться в ходе испытания непрерывно, например, с помощью расходомера. Если это невозможно, то результаты должны фиксироваться до и после подачи давления при допустимом перепаде их величин.

По результатам испытаний в системе не должны иметь место разрывы, разрушения, остаточная деформация или иные механические повреждения. Если в системе используется жидкое рабочее тело, то во время испытания не должно быть его утечки.Интенсивность утечки между полостями анода и катода не должна увеличиваться в результате данного испытания и должна быть в пределах требований, установленных производителем модуля, для определенных температурных условий испыта-

ния. Измерения после нагнетания давления не должны отклоняться от начальных результатов более чем на величину точности приборов и проверочной схемы. Данное испытание может не проводиться, если конструкция не предполагает оказания избыточного перепада давления на элементы.

5.11 Испытание на утечку газа (повторное)

Модуль топливных элементов должен пройти повторное испытание на утечку без предварительной подготовки объекта, связанного с доведением его до соответствующих параметров, но при тех же условиях испытания, которые определены в 5.3.

Интенсивность утечки газа не должна превышать значений, указанных производителем, и не должна изменяться более чем на 10 % начальной величины, или на 5 $см^3$/мин, в зависимости от того, что больше.

5.12 Испытания в условиях нормальной эксплуатации (повторное)

Испытания в условиях нормальной эксплуатации проводятся повторно в соответствии с требованиями определенным в 5.3. Зарегистрированные измерения должны быть в пределах номинальных отклонений, в соответствии с требованиями 5.3.

5.13 Испытание на наличие концентрации горючих веществ

Данное испытание применимо только к устройствам содержащим корпус (оболочку), с встроенными системами вентиляции и продувки, рабочая температура которых должна быть ниже температуры самовоспламенения горючего газа.

Параметры систем вентиляции и продувки определяются в зависимости от характеристик и требований, установленных для модуля топливных элементов. Данное испытание определяет максимальную концентрацию горючего газа внутри оболочки модуля при эксплуатации в нормальных условиях.

Модуль топливных элементов должен эксплуатироваться в пределах номинального температурного режима до тех пор, пока не будет достигнуты условия теплового равновесия. Испытание должно выполняться при барометрическом давлении на испытательной станции в условиях отсутствия внесистемных вентиляционных потоков.

Для оболочки модуля топливных элементов должна задаваться скорость вентиляции в соответствии с 7.4.

Необходимо проведение четырех измерений на расстоянии от источника продувки или точек выпуска вентиляционных газов таким образом, чтобы измеренная концентрация возгорания относилась скорее к оболочке, чем к источнику продувки.

Испытание должно продолжаться до тех пор, пока в результате четырех измерений подряд не будет установлено, что повышение концентрации горючих газов не превышает среднее из четырех измерений более чем на 5 %.

Временной интервал между измерениями должен быть не меньше 30 мин.

Испытание должно выполняться как минимум два раза.

Испытание считается пройденным, если концентрация горючих газов составляет меньше 25% нижнего предела воспламеняемости. Если концентрация превышает 25 % нижнего предела воспламеняемости, применяются положения 4.2.9.

5.14 Испытания в условиях нештатных ситуаций

5.14.1 Общие требования

Целью типовых испытаний в нештатных условиях эксплуатации является демонстрация отклонений от нормальных условий эксплуатации, которые могут иметь место, не приводят к опасности или повреждению модуля топливных элементов снаружи. Из-за аномальных условий эксплуатации эти испытания могут повлечь разрушения, и они должны выполняться после стандартных типовых испытаний. Можно также проводить эти испытания на субмодуле топливных элементов, которые будут соответствовать характеристикам прототипа. Последовательность испытаний на нештатные условия может быть оригинальной для каждого типа модуля топливных элементов и должна определяться с учетом возрастания вероятности разрушения в результате проведения образцов.

Испытания на нештатные условия должны выполняться на испытательном оборудовании, используемом для типовых испытаний. В испытательное оборудование могут вноситься изменения, чтобы добиться ожидаемых нештатных условий.

В процессе испытаний необходимо регистрировать максимальная температуру испытываемого образца. Если эта температура превышает значения, имеющие место в нормальных условиях эксплуатации, то это должно быть доведено до заказчика в установленном порядке.

Режим отказа модуля топливных элементов не должен представлять опасность для людей или вызывать повреждения за пределами модуля топливных элементов, как указано в 5.14.1 — 5.14.6 для разных сценариев нештатных условий. Защита от нештатных условий может предоставляться либо за счет срабатывания органов управления защитой модуля топливных элементов или за счет срабатывания защитных механизмов, которое происходит по результатам конечного применения. В последнем случае должна быть предоставлена документация, предостерегающая заказчика встраивающего модуль топливных элементов в систему, о необходимости и типе предоставляемой защиты. Если испытательный образец поврежден в ходе испытаний на нештатные условия, необходимо выполнить следующие испытания, используя испытательный образец, который уже прошел типовые испытания по 5.3.

Если модуль топливных элементов отключается из-за снижения характеристик по производительности (без включения функция системы управления опасной ситуацией), то испытание должно быть проведено повторно «в обход» указанной функции, но при условии сохранения безопасности должны быть обеспечены на необходимом уровне, с тем чтобы вновь примененная испытательная технология отключала процесс до того, как случится какая—либо опасная ситуация.

5.14.2 Испытание на недостаточную подачу топлива

Модуль топливных элементов при проведении испытаний должен работать с номинальной нагрузкой при нормальных рабочих характеристиках до достижения стабильного состояния. Для того, чтобы создать режим работы с недостаточной величиной подачи топлива, его расход необходимо снизить до значения, которое представляет наихудший сценарий исходя из оценки рисков, произведенных производителем модуля топливных элементов. Система слежения за напряжением электрического тока либо другая система безопасности должна обеспечить подачу сигнала, который должен инициировать переход модуля топливных элементов в безопасное состояние до того, как будут достигнуты опасные условия.

5.14.3 Испытание на недостаточную подачу кислорода/окислителя

Модуль топливных элементов при проведении испытаний должен работать с номинальной нагрузкой при нормальных рабочих характеристиках до достижения стабильного состояния. Для того, чтобы создать режим работы с недостаточной величиной подачи окислителя, его расход необходимо снизить до значения, которое представляет наихудший сценарий исходя из оценки рисков, произведенных производителем модуля топливных элементов. Система слежения за напряжением электрического тока, либо другая система безопасности должна обеспечить подачу сигнала, который должен инициировать переход модуля топливных элементов в безопасное состояние до того, как будут достигнуты опасные условия.

5.14.4 Испытание на короткое замыкание

Модуль топливных элементов при проведении испытаний должен работать с номинальной нагрузкой при нормальных рабочих характеристиках до достижения стабильного состояния. В процессе испытаний между положительным и отрицательным плюсами модуля топливных элементов производят замыкание с минимальным сопротивлением, и инициируется индуктивность с помощью соответствующего выключателя большого тока. Ток и напряжение короткого замыкания должны быть измерены с помощью соответствующих средств, например, с помощью предварительно срабатывающего устройства отслеживания импульсного тока и импульсного напряжения, которые будут измерять обе величины. Эти данные должны предоставляться заказчику, встраивающему модуль в общую систему вместе с описанием сопутствующих опасностей.

Испытание на короткое замыкание может выполняться на масштабируемой модели модуля с последующим расчетом для полномасштабного продукта.

5.14.5 Испытание на недостаточное/неисправное охлаждение

На установившемся режиме работы модуля топливных элементов, соответствующего максимальному потоку охлаждающего хладагента, если он отделен от окислителя, останавливается подача хладагента для имитации отказа системы охлаждения. Модуль топливных элементов:

- работает в течение допустимого производителем периода времени после отключения подачи хладагента;
- отключается до достижения рабочей температуры узлов модуля;

- работает до тех пор пока не будет подан сигнал, предназначенный для инициирования перехода модуля топливных элементов в безопасное состояние до того, как будут достигнуты опасные условия.

5.14.6 Испытание системы отслеживания взаимного проникновения газов (кроссовер газов)

Данное испытание применяется только к модулям топливных элементов с системой отслеживания. Если взаимное проникновение анодных и катодных газов приводит к опасным условиям, оно должно постоянно отслеживаться с помощью устройства измеряющего напряжение элемента или аналогичного средства, которое переводит модуль топливных элементов в безопасное состояние.

Испытание должно производиться в нормальных рабочих условиях. Кроссовер может учитываться путем измерения падения отслеживаемого напряжения элемента ниже нижнего порога отключения. Данная процедура должна повторяться как минимум с 2% произвольно выбранных каналов отслеживания напряжения элемента.

Примечания

1 Это можно сделать, используя разделитель напряжения между выводами элемента напряжения и входом устройства отслеживания элемента напряжения. Низковольтный резистор разделителя напряжения может быть потенциометром, с помощью которого напряжение постепенно понижается до тех пор, пока не будет достигнуто состояние отключения.

2 Внутри топливного элемента может иметь место обратная реакция или состояние электролиза, если подается избыточное напряжение, например, из—за отказа системы. Это может привести к образованию водорода и кислорода, что может представлять опасность.

5.14.7 Проверка цикла замерзания/оттаивания

Данное испытание применяется только к модулям топливных элементов с полимерной мембраной (PEFC), предназначенных для эксплуатации в условиях отрицательных температур.

После работы в нормальных условиях при установившемся режиме модуль топливных элементов должен быть отключен. Далее модуль топливных элементов замораживается при самой низкой температуре окружающей среды, установленной производителем. После замораживания устройство подвергается оттаиванию в соответствии с инструкцией производителя, до температуры не ниже 10°С. Данный цикл замерзания/оттаивания повторяется десять раз. По окончании циклов замерзания/оттаивания проводится испытание на утечку газа.

Примечание — В случае, если достоверность результатов испытания не подвергнутся сомнению, возможно в процессе испытаний убрать термоизоляцию с модулей топливных элементов, чтобы уменьшить время цикла замерзания/оттаивания.

6 Стандартные испытания

6.1 Общая информация

Стандартные испытания должны выполняться на испытательном оборудовании, моделирующем работу систему топливных элементов, с целью получения необходимых условий эксплуатации. Рекомендуется выполнять стандартные испытания в порядке, описанном ниже. Если стандартные испытания начинаются с выполнения процедуры запуска модуля в работу и продолжаются до достижения соответствующих показателей, то все рабочие характеристики модуля должны соответствовать значениям, установленным заводом изготовителем. В противном случае модуль топливных элементов должен интегрироваться в систему топливных элементов или в аналогичную систему, как определено ниже, а процедура пуска будет выполняться в соответствии с инструкцией производителя с тем, чтобы модуль топливных элементов соответствовал рабочим условиям, которые установлены для указанных ниже стандартных испытаний. Предусматриваются следующие стандартные испытания.

6.2 Испытание на газонепроницаемость

Испытание на газонепроницаемость должно выполняться на всех изделиях готовой продукции. Испытание на газонепроницаемость должно выполняться при температуре окружающей среды на всех стыках и соединениях компонентов под нагрузкой, с использованием детектора утечек жидкости. При использовании максимального рабочего давления в соответствии с указанным в 3.16 при нормальной температуре не должны иметь место пузырьков газа. Испытание должно проводиться при величине номинального рабочего давления, умноженной в 1,5 раза.

6.3 Испытания диэлектрика

Испытание на диэлектрическую прочность должно выполняться на всех изделиях готовой продукции в соответствии с требованиями установленными в 5.9, при продолжительности — 1 с в условиях нормальной температуре.

Примечание — В зависимости от конечного применения, может потребоваться продолжительность испытания более 1 с.

7 Маркировки и инструкции

7.1 Табличка с данными

Табличка с данными должна прочно крепиться к модулю топливных элементов и должна быть несъемной. Маркировка на табличке с данными должна быть читаемой в процессе всего периода эксплуатации, с учетом возможной химической коррозии, теплового воздействия и условий окружающей среды.

Маркировка на табличке с данными должна включать в себя как минимум следующую информацию:

a) наименование производителя или его зарегистрированная торговая марка;

b) обозначение модели;

c) число или порядковый номер, отражающие дату изготовления.

7.2 Маркировка

Если последовательность соединений может влиять на небезопасные условия работы модуля, они должны иметь соответствующие обозначения. Например полярность электрических соединений и схема подключения заземления, должны быть четко указаны.

7.3 Этикетки с предупреждениями

Необходимо использовать следующие наклейки—предупреждения, в соответствии с применением:

- опасность удара током;
- высокие температуры;
- горючий газ или жидкость;
- коррозионная среда;
- токсические вещества.

Если могут иметь место высокие напряжения, на модуле топливных элементов должна быть закреплена этикетка «Внимание высокое напряжение».

7.4 Документация

7.4.1 Общая информация

Информация, необходимая для сборки, установки, эксплуатации и техобслуживания модуля топливных элементов, должна предоставляться в форме чертежей, диаграмм, схем, таблиц и инструкций.

Производитель модуля топливных элементов должен гарантировать, что техническая документация, указанная в данном разделе, обеспечивается для каждого модуля топливных элементов, если иное не согласовано между выполняющим встраивание системы заказчиком и производителем топливных элементов.

Для соответствующего обозначения вышеназванных документов, производитель модуля топливных элементов должен выбрать один из следующих методов:

- каждый из вышеназванных документов должен быть снабжен перекрёстными ссылками на другие;
- все документы должны быть перечислены с указанием номеров и наименований документов в перечне чертежей или документов.

Первый метод должен использоваться только тогда, когда документация состоит из небольшого числа документов (например, менее пяти).

Заказчику, выполняющему встраивание модуля в общую систему должна предоставляться следующая дополнительная информация:

a) общая стратегия безопасности в соответствии с 4.1;

b) тип топлива и окислителя, образцы приемлемого топлива и окислителя (состав газа, содержание примесей и т.п.);

c) давление подачи газообразных топлива и окислителя (минимальное и максимальное);

d) потребление топлива и окислителя при номинальной и максимальной мощности;

e) максимальная интенсивность утечки топлива;

f) приемлемая температура подачи топлива и окислителя;

g) максимальная температура выброса;

h) типовые сбросы;

i) диапазон температуры окружающей среды и влажности для работы и хранения;

j) диапазон высоты;

Примечание — Выход мощности зависит от наличия окислителя. Работа на большой высоте может снизить производительность.

k) допустимые уровня силы удара и вибрации;

l) нормальная рабочая температура модуля;

m) максимальная температура поверхности;

n) тип охладителя;

o) заданные точки температуры охладителя на входе и выходе;

p) давление подачи охладителя и диапазон скорости расхода;

q) тип и характеристики устройств защиты от превышения тока/перегрузки/превышения напряжения/недостаточного напряжения и других защитных устройств;

r) требования к скорости потока для продувки и вентиляции;

s) размеры;

t) вес;

u) номинальные величины электрического выхода (номинальное напряжение, номинальный ток, номинальная мощность, напряжение открытого контура, напряжение при токе полной нагрузки);

v) максимальное превышение электрической нагрузки;

w) вспомогательная подача питания (например, напряжение, частота, мощность);

x) использование конечных продуктов, для которых предназначен данный компонент;

y) местонахождение соединения заземления;

z) необходимая информация, касающаяся процедур окончания срока службы.

Необходимо принимать во внимание нормативные требования по повторному использованию и утилизации.

7.4.2 Руководство по установке

Руководство по установке должно давать четкое и понятное описание установки и монтажа, электрических соединений, соединений для подачи топлива, соединений для подачи окислителя и подсоединений к системе охлаждения модуля топливных элементов, насколько это возможно.

Руководство по установке должно представлять заказчику следующие сведения:

- погрузка/разгрузка, транспортировка и хранение;
- подготовка;
- пространственное ориентирование (где верхняя сторона, где нижняя, и т.д.);
- способ крепления модуля;
- способ подсоединения трубопроводов для газа и охладителя;
- общие требования и запрещенные способы обращения;
- общие блок–схемы, где применимо;
- схемы контуров.

7.4.3 Схема установки

7.4.3.1 Общие сведения

Схема установки должна предоставлять всю возможную информацию, необходимую для подготовки и настройки модуля топливных элементов к работе. В отдельных случаях может возникнуть необходимость обращения к сборочным чертежам за уточнением деталей.

Должны быть представлены рекомендации по типу несущей арматуры, кабелей, шлангов, труб и т.п. и установки любых защитных устройств, предусмотренных для установки.

Должны указываться размеры, тип и назначение каналов, желобов или опор между модулем топливных элементов и связанным с ними оборудованием, которое будет обеспечиваться пользователем. При необходимости, схема должна включать в себя указания, где необходимо предусмотреть выделение пространства для снятия или обслуживания модуля топливных элементов.

Кроме того, где это необходимо, должна предоставляться схема или таблицы соединений. Такая схема или таблица должна давать полную информацию обо всех внешних соединениях.

7.4.3.2 Блок-схемы на уровне системы и функциональные схемы

Там, где необходимо обеспечить понимание принципов работы, должны предоставляться блок-схемы системы. Блок-схема на уровне системы в символах представляет модуль топливных элементов, вместе с функциональными связями, без обязательного показа всех соединений.

Функциональные диаграммы могут использоваться либо как часть блок-схемы на уровне системы, либо в дополнение к ней.

7.4.3.3 Схемы контуров

Там, где блок-схема на уровне системы не описывает детально элементы модуля топливных элементов, необходимо обеспечивать детализацию разных контуров. Эти схемы должны показывать контуры на модуле топливных элементов и связанное с ними оборудование. Любой графический символ, упомянутый в МЭК 60617, должен быть показан отдельно и описан на схемах или в сопроводительных элементах. Символы и обозначения компонентов и устройств должны быть единообразными во всех документах и на модуле топливных элементов.

При необходимости, можно предоставить схему, показывающую выводы, стыки и т.п. для сопряжения соединений. Для упрощения понимания, такая схема может использоваться в сочетании с блок-схемами. Диаграмма должна включать в себя ссылку на детальную блок-схему каждой показанной единицы.

Контуры должны быть показаны таким образом, чтобы облегчить понимание их функции, а также их технического обслуживания. Характеристики, относящиеся к функции контрольных устройств и компонентов, которые не очевидны исходя из их символьного представления, должны включаться в схемы наряду с символом или ссылкой на сноску.

7.4.4 Руководство по эксплуатации

Техническая документация должна включать в себя руководство по эксплуатации, в котором детализируются соответствующие процедуры по установке и эксплуатации модуля топливных элементов. Особое внимание должно уделяться мерам безопасности и надлежащим методам эксплуатации, которых можно ожидать.

Если работа модуля топливных элементов может быть запрограммирована, должна быть предоставлена детальная информация, касающаяся методов программирования, требований к оборудованию, поверке программы и дополнительных процедур безопасности.

Руководство по эксплуатации должно включать в себя:

- процедуры по установке и эксплуатации;
- последовательность операций;
- периодичность осмотра;
- процедуры штатного и экстренного отключения;
- процедуры хранения и кондиционирования;
- общие замечания и запрещенные операции;
- информация о состоянии окружающей среды (например, диапазон окружающих температур для работы, уровни шума и вибрации, загрязнение атмосферы), где применимо.

7.4.5 Руководство по техническому обслуживанию

Документация по техническому обслуживанию должна включать в себя руководство, в котором детализируются соответствующие процедуры и диапазоны настройки, регулирования, интервалы при проведении обслуживания, профилактических осмотров и ремонтов. Частью данного руководства должны быть рекомендации по ведению записей о техническом/сервисном обслуживании. Если предоставлены методы поверки правильности операций (например, программы проверки программного обеспечения), они должны быть детализировано описаны.

Производитель модуля топливных элементов должен предоставлять соответствующие инструкции по утилизации и повторного использованию деталей и компонентов.

7.4.6 Спецификация деталей

Перечень деталей должен включать в себя, как минимум, информацию, необходимую для заказа запасных частей или деталей для замены (например, компонентов, устройств, программ, испыта-

тельного оборудования, технической документации), которые требуются для нормальной эксплуатации и профилактического или текущего техобслуживания, включая те, которые рекомендуется пользователю модуля топливных элементов держать в постоянном наличии.

Перечень деталей должен указывать для каждой позиции:

- условное обозначение, которое используется в документации;
- обозначение типа;
- поставщик и альтернативный источник, если представляется возможным применимо;
- общие характеристики.

Приложение А
(справочное)

Дополнительная информация для выполнения и оценки испытаний

А.1 Оценка интенсивности утечки из системы при испытаниях газом, отличным от рабочего тела

А.1.1 Общие требования

Если производитель модуля топливных элементов не проводит испытание на интенсивность утечки с использованием рабочего газа, интенсивность утечки может оцениваться исходя из интенсивности утечки с помощью газа, используемого для испытаний (испытательный газ).

Известно, что интенсивности утечки жидкостей и газов обратно пропорциональны квадратному корню плотности [13]. т.е.:

$$\text{Интенсивность утечки пропорциональна } (1/D)^{1/2}, \quad (A.1)$$

где D — плотность.

Для газов, имеющих повышенную плотных (поскольку D является знаменателем), интенсивность утечки будет более низкой, по сравнению с газами, имеющими меньшую плотность, для которых интенсивность утечки будет более высокой. Из этого можно заключить, что интенсивность утечки газа малой плотности, например, водорода, будет выше, чем при использовании более тяжелого газа, например, воздуха, так как водород имеет гораздо меньшую плотность. Например, удельный вес водорода 0,068, а удельный вес воздуха — 1.

Аналогично, волюметрическая интенсивность утечки обратно пропорциональна абсолютной вязкости [13], т.е.:

$$\text{Интенсивность утечки пропорциональна } (1/\mu), \quad (A.2)$$

где μ – абсолютная вязкость.

Динамическая вязкость называется также абсолютной вязкостью.

Это означает, что более вязкие газы имеют меньшую утечку, чем газы с малой вязкостью. Вязкость воздуха, например, выше вязкости водорода, и по этой причине водород характеризуется более высокой утечкой, чем воздух, при одинаковых температуре и давлении.

Чтобы узнать, какой режим применим для той или иной системы, нужно провести эксперимент.

Оценивая соотношение интенсивности утечки при использовании топливного газа и интенсивности утечки при использовании газообразной испытательной среды (если известна интенсивность утечки для испытательного газа), можно оценить интенсивность утечки рабочего газа. Этот коэффициент обозначают R. Соответственно,

$$R = \text{интенсивность утечки газа / интенсивность утечки испытательного газа} \quad (A.3)$$

А.1.2 Расчет коэффициента R с использованием формулы (А.1)

Исходя из формулы (А.1), интенсивность утечки газов обратно пропорциональна квадратному корню их плотности. Соответственно, подставив формулу (А.1) в формулу (А.3), R – это квадратный корень отношения обратной величины плотности испытательного газа к обратной величине плотности топлива. Также, поскольку удельная плотность является отношением плотности газа к плотности воздуха, величина R будет следующей:

$$R = ((1/\text{FGSG})/(1/\text{TGSG}))^{1/2}, \quad (A.3)$$

где FGSG – удельная плотность топливного газа;

TGSG – удельная плотность испытательного газа.

Данную формулу можно преобразовать в:

$$R = (\text{TGSG}/\text{FGSG})^{1/2}, \quad (A.4)$$

Таким образом, если рабочий газ имеет меньшую плотность, чем испытательный газ, R будет больше единицы, и наоборот.

А.1.3 Расчет коэффициента R с использованием формулы (А.2)

Соотношение интенсивности утечки рабочего газа и испытательного газа, если подставить формулу (А.2) в формулу (А.3), будет выглядеть:

$$R = (1/\mu_{fuel}) / (1/\mu_{test}).$$

Соответственно,

$$R = \mu_{fuel} / \mu_{test}, \quad (A.5)$$

где μ_{test} – абсолютная вязкость испытательного газа;

μ_{fuel} – абсолютная вязкость рабочего газа.

Соответственно, если вязкость рабочего газа меньше вязкости испытательного газа, R будет больше единицы, и наоборот (формула (А.5) выведена из [13]).

А.1.4 Примеры

По формуле: (А.4),

а) если водород является испытательным газом, а также топливом, $R = 1$;

b) если воздух используется в качестве испытательной среды для топливного элемента, который использует водород в качестве топлива, $R = (1/0,068)^{1/2} = 3,83$.

Это означает, что если интенсивность утечки равна 28,3 л/ч (1 куб. фут/ч) при испытании с использованием воздуха, интенсивность утечки водорода может оцениваться в 108 л/ч (3,83 куб. фут/ч).

Аналогичный анализ можно провести для R используя формулу (А.5). Если газообразной испытательной средой является воздух, а водород является топливом, то абсолютная вязкостью воздуха при 300 К и атмосферном давлении [14] будет равна:

$$1,846\ 2 \times 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с},$$

абсолютной вязкостью водорода при 300 К и атмосферном давлении [14] будет равна:

$$8,963\ 2 \times 10^{-6} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$$

Следовательно, $R = 2,06$. Отсюда следует, соответственно, что поскольку вязкость водорода ниже вязкости воздуха, он будет иметь тенденцию к текучести в 2,06 раз больше воздуха.

Вязкость газов существенно зависит от их температуры и давления [15]. В таблице А.1 представлены значения абсолютной вязкости для некоторых газов.

Если не проводится экспериментальной оценки для выяснения утечки газа, можно использовать сценарий наихудшего случая.

Предполагается, что результаты этих расчетов будут применяться для случая, когда температура и давление испытательного и рабочего газа одинаковы.

В качестве испытательного газа для модулей топливных элементов, которые работают с водородом, рекомендуется использовать гелий.

Формула для этого случая будет иметь следующий вид:

$$R = (H_eSG/ H_2SG)^{1/2},$$

где H_eSG – удельный вес гелия = 0,142*;

H_2SG – удельный вес водорода = 0,0695*;

Примечание — «*» означает при атмосферном давлении и 300 К, или

$$R = \mu_{fuel} / \mu_{test}, \quad (A.6)$$

где μ_{test} – абсолютная вязкость испытательного газа;

μ_{fuel} – абсолютная вязкость топливного газа.

А.1.5 Выводы

Следующая процедура может использоваться для оценки интенсивности утечки рабочего газа при проведении испытаний на интенсивность утечки с применением гелия в качестве испытательного газа. Расчет на основе данной методики может производиться для рабочего и испытательного газа (гелия), имеющих одинаковые параметры по температуре и давлению. Соотношение интенсивности утечки, R, между рабочим газом и гелием необходимо вычислить и умножить на интенсивность утечки, полученную при использовании гелия. Для расчета коэффициента R нужно использовать две формулы и сценарий наихудшего случая (более высокую величину). Если рабочим газом является водород, формулы будут иметь следующий вид:

$$R = (H_eSP/H_2SP)^{1/2},$$

где H_eSP – удельный вес гелия = 0,142*;

H_2SP – удельный вес водорода = 0,0695*.

Примечание — «*» означает при атмосферном давлении и 300 К.

Для других рабочих газов H_2SP нужно заменить удельным весом фактического рабочего газа при атмосферном давлении и 300 К:

или

$$\mu_{test} / \mu_{fuel},$$

где μ_{test} — абсолютная вязкость испытательного газа;

μ_{fuel} — абсолютная вязкость топливного газа.

Абсолютная вязкость, которая зависит от температуры может быть получена из таблицы А.1.

Таблица А.1 — Вязкость газов [a]

Температура, °C / °F	0 / 32	20 / 68	60 / 140	100 / 212	200 / 392	400 / 752	600 / 1 112	800 / 1 472	1 000 / 1 832
Газ	μ (фунт · с)/(фут^2) [47.88 (Н · с)/(м^2)] x 10^8								
Воздух [b]	35,67	39,16	41,79	45,95	53,15	70,42	80,72	91,75	100,8
Двуокись углерода [b]	29,03	30,91	35,00	38,99	47,77	62,92	74,96	87,56	97,71
Окись углерода [b]	34,60	36,97	41,57	45,96	52,39	66,92	79,68	91,49	102,2
Гелий [b]	38,85	40,54	44,23	47,64	55,80	71,27	84,97	97,43	—
Водород [b, c]	17,43	18,27	20,95	21,57	25,29	32,02	38,17	43,92	49,20
Метан [b]	21,42	22,70	26,50	27,80	33,49	43,21	—	—	—
Азот [b, c]	34,67	36,51	40,14	43,55	51,47	65,02	76,47	86,38	95,40
Кислород [c]	40,08	42,33	46,66	50,74	60,16	76,60	90,87	104,3	116,7

[a] Единицы, используемые в этой таблице, не соответствуют Международной Системе Единиц.

[b] Вычислено на основе данных из [16].

[c] Вычислено на основе данных из [17].

А.2 Испытание на допустимое рабочее давление — рекомендации по коэффициенту безопасности

А.2.1 Общие требования

Ниже приводится краткое резюме того, что было обнаружено в некоторых североамериканских стандартах, посвященным устройствам сброса давления/клапанам сброса давления (PRD/PRV). Эта информация была использована для принятия решения, о том какое число можно рекомендовать как коэффициент безопасности для допустимого рабочего испытательного давления.

А.2.2 Устройства сброса давления

А.2.2.1 Общие требования

Устройства сброса давления, например, разрывные диски, должны срабатывать, начиная от 90 % заданной величины до 100 %, если они срабатывают, реагируя на давление, и от 80 % до 105 %, если они срабатывают, реагируя на комбинацию давления и температуры. Эти устройства также проверяются на пропускную способность.

А.2.2.2 Предохранительные клапаны

Давление открывания предохранительного клапана должно быть от 90 % до 105 % от заданной величины. Необходимо поддерживать давление сброса не более чем на 10 % выше давления открывания при прохождении

24,5 кг (54 фунтов) воды в час. Не должно быть отклонений, превышающих 5 %, вследствие воздействия температурных факторов. Не должно быть отклонений, превышающих 5 %, после 100 циклов работы.

А.2.2.3 Устройства безопасности

Давление начала сброса не должно превышать 110 % от установленной величины. Пропускная способность измеряется при 120 % давления начала сброса. Давление закрытия должно быть не меньше 65 % давления открывания (после проверки пропускной способности). После испытаний в течение заданного промежутка времени, давления начала сброса и закрытия не должны отклоняться более чем на 5 %.

А.2.2.4 **Клапаны сброса гидростатического давления**

Начальное срабатывание сброса давления должно быть в пределах 5 %.

А.2.3 Используемая терминология

А.2.3.1 **клапан сброса гидростатического давления** (hydrostatic relief valve): Клапан сброса давления, срабатывающий от гидростатического давления на входе, который после срабатывания открывается пропорционально возрастанию избыточного давления

А.2.3.2 **давление подрыва** (popping pressure): Значение давления при котором скорость срабатывания клапана выше по сравнению с работой в обычных условиях.

А.2.3.3 **предохранительный клапан** (safety valve): Клапан сброса давления, срабатывающий от статического давления, характеризующийся быстрым сбросом давления

Примечания

1 ANSI/CSANGV2—2000 [18] включает в себя следующий пункт: «Эффективность устройств сброса давления должна соответствовать 18.9 (испытание воздействием открытого пламени)». Испытания на воздействие открытым пламенем предназначены для проверки того, что готовые емкости высокого давления, оснащенные устройствами сброса давления, указанные в проекте, не допустят разрыва сосуда при испытаниях в условиях воздействия пламени.

2 CGS 12.6—M94 [19] предусматривает использование большого коэффициента безопасности. Компоненты испытываются при давлении, в 4 раза превышающем проектное, в течение 1 мин.

Данный стандарт не предусматривает проверки эксплуатационных характеристик предохранительного устройств.

3 Эффективность предохранительного устройства для модуля топливных элементов не может устанавливаться, так как такой модуль не является конечным продуктом. Неизвестно, какие давления в аномальных ситуациях могут воздействовать на модуль топливных элементов в условиях работы системы в целом. Фактически для модуля аномальные ситуации невозможно определить. Не известны размер и давление топливного бака, неизвестны также размер и давление подачи рабочего тела. В связи с этим, проверка эксплуатационных характеристик модуля не будут репрезентативной, а использование слишком высоких коэффициентов безопасности может налагать необоснованные конструкционные ограничения.

4 Наилучшим решением может быть предоставление производителем модуля конечному пользователю следующей информации:

a) тип применяемого устройства/клапана сброса давления;

b) давление открывания устройства/клапана сброса давления;

c) пропускная способность потока;

d) конечный пользователь должен рассмотреть эффективность устройства/клапана сброса давления в конечном продукте.

А.2.4 Вывод

Рекомендуется либо использовать коэффициент безопасности 132 % (для сведения по UL 132 [20] допускается отклонение от 110 %, для краткосрочного периода до 120 % полного сброса), с учетом того, какой сценарий представляется наихудшим, либо рекомендуется сделать его зависимым от типа применяемого устройства/клапана сброса давления. То есть, 105 % для модулей, которые используют устройства сброса давления (с немедленным полным сбросом), с оценкой по ANSI/IAS PRD 1–1998 [21], 132 % для модулей с клапанами, оцененными по UL 132 [20].

А.3 Предлагаемые приемочные испытания

А.3.1 Испытание на утечку

Данное испытание не применяется для модулей топливных элементов с:

- рабочими температурами выше температуры самовозгорания горючего газа;
- топливными элементами с газонепроницаемыми резервуарами.

При использовании методики отбора проб, согласованной между производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.3. Интенсивность утечки измеряемая в установленном порядке и не должна превышать величины, указанной в спецификации на готовое изделие, более чем на 5 %.

А.3.2 Стандартная эксплуатация

При использовании процедур отбора проб, взаимно согласованных производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.4.

А.3.3 Испытание на допустимое рабочее давление

В случае, когда модуль топливных элементов заключен в оболочку в виде сосуда под давлением, который уже одобрен в соответствии с действующими национальными нормами, данное испытание не проводится.

При использовании испытательных процедур, взаимно согласованных с производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.5.

А.3.4 Испытание системы охлаждения на герметичность под давление

При использовании испытательных процедур, взаимно согласованных с производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.6.

А.3.5 Испытание на перегрузку

При использовании испытательных процедур, взаимно согласованных с производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.7.

А.3.6 Испытание на перепад давления

При использовании испытательных процедур, взаимно согласованных с производителем и организацией производящей испытания, модуль топливных элементов должен проверяться в соответствии с 5.8.

А.3.7 Контроль безопасности

Производитель должен подтверждать, что все устройства безопасности соответствуют указанным в ходе типовых испытаний параметрам для всех готовых изделий.

При использовании испытательных процедур, взаимно согласованных с производителем и организацией производящей испытания, устройства безопасности модуля топливных элементов должны быть проверены на соответствие их функционального назначения, в случае если это где приемлемо.

Приложение В
(справочное)

Перечень замечаний, касающихся конкретных условий в отдельных странах

Пункт/ подпункт	Примечание
4.2.1	В Канаде, CAN/CSA C22.2 № 60529:05 [22] заменяет IEC 60529
4.2.4	В Канаде, если собранные блоки комплекта топливных элементов находятся внутри сосуда под давлением, который эксплуатируется при давлении свыше 103 кПа, сосуд должен соответствовать CSA B51 [23].
4.2.9	В Канаде, CAN/CSA C22.2 № 60079-0—07 [24] заменяет IEC 60079-10.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60079-10:1995	IDT	ГОСТ 30852.9–2002 (МЭК 60079-1:95) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон
МЭК 60204-1:2005	IDT	ГОСТ Р МЭК 60204-1–2007 Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования
МЭК 60335-1:2006	MOD	ГОСТ МЭК 60335-1–2008 Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 1. Общие требования
МЭК 60352	—	*
МЭК 60512-15	—	*
МЭК 60512-16	—	*
МЭК 60529	—	*
МЭК 60617	—	*
МЭК 60695 (все части)	IDT	ГОСТ Р МЭК 60695 Испытания на пожароопасность
МЭК 60730-1:1999	IDT	ГОСТ IEC 60730-1-2011 Автоматические электрические управляющие устройства бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования
МЭК 60950-1:2005	IDT	ГОСТ Р МЭК 60950-1-2011 Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования
МЭК 61508 (все части)	IDT	ГОСТ Р МЭК 61508 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью
МЭК 62040-1-2:2002	IDT	ГОСТ Р МЭК 62040-1-2–2009 Источники бесперебойного питания (ИБП). Часть 1-2. Общие требования и требования безопасности для ИБП, используемых в зонах с ограниченным доступом
МЭК 62061:2005	IDT	ГОСТ Р МЭК 62061–2013 Безопасность оборудования. Функциональная безопасность систем управления электрических, электронных и программируемых электронных, связанных с безопасностью

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 13849-1:1999	IDT	ГОСТ Р ИСО 13849-1–2003 Безопасность оборудования. Элементы систем управления, связанные с безопасностью. Часть 1. Общие принципы конструирования
ИСО 23550	—	*
ЕН 50178	IDT	ГОСТ Р ЕН 1870-1–2011 Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 1. Станки круглопильные универсальные (с подвижным столом и без), станки круглопильные форматные и станки круглопильные для строительной площадки

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов.

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

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированный стандарты.

Библиография

[1] IEC 60050-151:2001, International Electrotechnical Vocabulary. Part 151. Electrical and magnetic devices (Международный электротехнический словарь. Глава 151. Электрические и магнитные устройства)

[2] IEC 62282-1:2010, Fuelcelltechnologies — Part 1: Terminology (Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология)

[3] IEC 60812, Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effect sanalysis (FMEA), (Методики анализа надежности системы. Метод анализа вида и последствий отказа)

[4] SAE J1739, Potential Failure Mode and Effects Analysisin Design (Design FMEA), PotentialFailureModeandEffectsAnalysisinManufacturingandAssemblyProcesses (Process FMEA) (Потенциальный анализ характера отказов и последствий в проекте (АХПО проекта), Потенциальный анализ характера отказов и последствий в процессах изготовления и сборки)

[5] IEC 61025, Fault tree analysis (FTA) (Анализ диагностического дерева неисправностей)

[6] IEC 60079-20—1, Explosive atmospheres — Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification — Testmethodsanddata (Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред. Часть 20-1. Характеристики материалов для классификации газа и пара. Методы испытания и данные)

[7] ISO 37:2005 Rubber, vulcanized orther moplastic -- Determination of tensile stress strain properties (Каучук вулканизованный или термопластичный. Определение упруго-прочностных свойств при растяжении)

[8] ISO 188:2007 Rubber, vulcanized or thermoplastic — Accelerated ageing and heat resistance tests (Каучук вулканизованный или термопластичный. Испытания на ускоренное старение и теплостойкость)

[9] ISO 1307:2006, Rubber and plastic shoses — Hose sizes, minimum and maximum inside diameters, and tolerances on cut-to-length hoses (Рукава резиновые и пластмассовые. Размеры, минимальный и максимальный внутренние диаметры и допуски на мерные длины)

[10] ISO 1402:2009, Rubber and plastic shoses and hose assemblies — Hydrostatic testing (Рукава и рукава в сборе резиновые и пластмассовые. Гидравлические испытания)

[11] ISO 1436:2009, Rubber hoses and hose assemblies -- Wire-braid-reinforced hydraulic types for oil-based or water-based fluids — Specification (Рукава и рукава резиновые в сборе. Рукава гидравлические с металлической оплеткой для жидкостей на нефтяной или водной основе. Технические условия)

[12] ISO 4672:1997, Rubber and plastic shoses -- Sub-ambient temperature flexibility tests (Резиновые и пластмассовые шланги — Испытания на гибкость при температурах ниже окружающей)

[13] Kalyanam, K.M., Hay D.R., Safety Guide for Hydrogen, National Research Council (Руководство по безопасности для водорода, Национальный Совет по исследованиям)

[14] Holman J.P., Heat Tranfer. Fifth Edition, McGraw-Hillbook Company. NewYork, 1981, p 542-543 (Теплопередача, 5—е издание, «Мак-Гро—Хилл Бук Компани», Нью-Йорк, 1981, стр. 542—543)

[15] Avallone, Eugene A, Baumeister III Theodore, Marks'Standar Handbook for Mechenical Engineers, tenthedition. McGraqw-Hill Book Company, NewYork, 1996 p. 3-32 and 3-33 (Справочник обозначений в стандартах для инженеров-механиков, 10—е издание, «Мак—Гро—Хилл Бук Компани», Нью-Йорк, 1996, стр. 3—32 и 3—33)

[16] Handbook of Chemistry and Physics, 52d ed., ChemicflRubber Company, 1971-1972 (Справочник по химии и физике, изд. 52d, «КемиклРаббер Компани», 1971-1972)

[17] Tables of Theermal Properties of Gases, NBS Circular 564, 1955 (Таблица тепловых свойств газов, Циркуляр NBS 564, 1955)

[18] ANSI/CSANGV2—2000, Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle (NGV) Fuel Containers (Основные требования к топливным контейнерам для транспортных средств, работающих на сжатом природном газе)

[19] CGA 12.6—M94, Vehicle Refuelling Appliance (Устройство дозаправки транспортных средств)

[20] UL 132, Safety Relief Valves for Anhydrous Ammonia and LP-Gas (Клапаны предохранительные для ангидридного аммиака и сжиженных углеводородных газов)

[21] ANSI/IAS PRD 1—1998, Pressure Relief Devaces for protection provided byenclosures (IP Code) (Устройства сброса давления для топливных контейнеров для транспортных средств, работающих на сжатом природном газе)

[22] CSA C22.2 № 60529—05—CAN/CSA: Degrees of protection provided byenclosures (IP) (Степени защиты, обеспечиваемые корпусами)

[23] CSA B51—03 (R2007), Boiler, Pressure Vessel and Pressure Piping Code (Коды котлов, сосудов под давлением и трубопроводов под давлением)

[24] CSA C22.2 № 60079—0—07, Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres — Part 0: General Requirements (Электрический агрегат для взрывоопасных атмосфер. Часть 0. Общие требования)

[25] IEC 62282—3—100, Fuel cell technologies — Part 3-100: Stationary fuel cell power systems — Safety (Технологии топливных элементов — Часть 3—100. Стационарные системы топливных элементов. Безопасность)

УДК 620.93 ОКС 27.070 ОКП 31 1000

Ключевые слова: водород, топливные элементы, модуль топливных элементов, энергоустановка на топливных элементах

Подписано в печать 24.03.2015. Формат 60x84⅛.
Усл. печ. л. 4,19. Тираж 31 экз. Зак. 1406

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,
123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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