МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC/TS 62282-7-1— 2016

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БАТАРЕЙ

Часть 7-1

Топливные элементы с полимерным электролитом. Методы испытаний единичного элемента

(IEC/TS 62282-7-1:2010, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «КВТ» (ООО «КВТ») и Некоммерческим партнерством «Национальная ассоциация водородной энергетики» (НП «НАВЭ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 5 международного стандарта

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

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 октября 2016 г. № 92-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Грузия	GE	Грузстандарт
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 августа 2017 г. № 778-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC/TS 62282-7-1—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC/TS 62282-7-1:2010 «Технологии топливных элементов. Часть 7-1. Методы испытания простых топливных элементов с полимерным электролитом» («Fuel cell technologies. Part 7-1. Single cell test methods for polymer electrolyte fuel cell (PEFC)», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации «Водородные технологии» ISO/TS 197 Международной организации по стандартизации (ISO).

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2017

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 . . . 1
3 Термины и определения . . . 1
4 Общие вопросы безопасности . . . 3
5 Компоненты топливного элемента . . . 3
5.1 Общие положения . . . 3
5.2 Определение размера мембранно-электродного блока . . . 3
5.3 Газодиффузионный слой . . . 3
5.4 Уплотнительный материал . . . 3
5.5 Газораспределительная пластина . . . 4
5.6 Коллектор тока . . . 4
5.7 Прижимная пластина . . . 4
5.8 Стягивающие крепежные изделия . . . 4
5.9 Устройство терморегулирования . . . 4
6 Сборка элементов . . . 5
6.1 Процедуры сборки . . . 5
6.2 Пространственная ориентация элемента . . . 5
6.3 Проверка герметичности . . . 5
7 Наладка испытательного стенда . . . 5
7.1 Минимальные требования к оборудованию . . . 5
7.2 Принципиальная схема . . . 6
7.3 Максимальные отклонения от номинальных значений для стенда . . . 6
8 Измерения . . . 7
8.1 Неопределенность измерений . . . 7
8.2 Измерительные приборы и методы измерений . . . 7
8.3 Единицы измерения . . . 8
9 Состав газа . . . 9
9.1 Состав топлива . . . 9
9.2 Состав окислителя . . . 9
10 Подготовка испытаний . . . 9
10.1 Номинальные условия испытаний . . . 9
10.2 Условия окружающей среды . . . 10
10.3 Частота выполнения измерений . . . 10
10.4 Повторяемость и воспроизводимость . . . 10
10.5 Максимально допустимые отклонения измеренных значений . . . 10
10.6 Число испытуемых образцов . . . 10
10.7 Проверка герметичности газового тракта инертным или тестовым газом . . . 11
10.8 Первоначальное приведение в рабочее состояние и контроль параметров . . . 11
10.9 Останов . . . 11
10.10 Повторное приведение в рабочее состояние . . . 11
11 Испытания для определения рабочих характеристик . . . 11
11.1 Проверка установившегося состояния . . . 11
11.2 Проверка вольт-амперной характеристики . . . 12
11.3 Определение внутреннего сопротивления . . . 12
11.4 Проверка предельного тока . . . 13
11.5 Проверка диффузионных характеристик . . . 13
11.6 Проверка влияния электрохимической стехиометрии реагентов . . . 14
11.7 Проверка влияния температуры . . . 15
11.8 Проверка влияния давления . . . 15
11.9 Проверка влияния влажности . . . 15
11.10 Оценка влияния состава топлива . . . 16

11.11 Испытание на перегрузку . . . 16
11.12 Ресурсные испытания . . . 16
11.13 Испытание на многократное повторение цикла пуск/останов . . . 16
11.14 Испытание при циклическом изменении нагрузки . . . 17
11.15 Оценка влияния примесей . . . 17
12 Протокол испытаний . . . 18
12.1 Общие положения . . . 18
12.2 Пункты протокола испытаний . . . 19
12.3 Описание данных испытаний . . . 19
12.4 Описание условий измерений . . . 19
12.5 Описание данных об элементе . . . 19
Приложение А (справочное) Пластина газораспределительная . . . 20
Приложение В (справочное) Расположение компонентов элемента . . . 22
Приложение С (справочное) Проверка герметичности . . . 23
Приложение D (справочное) Первоначальное приведение единичного элемента в рабочее состояние . . . 24
Приложение Е (справочное) Останов . . . 25
Приложение F (справочное) Повторное приведение в рабочее состояние единичного элемента . . . 26
Приложение G (справочное) Проверка вольт-амперной характеристики . . . 27
Приложение Н (справочное) Выполнение циклов пуск/останов . . . 28
Приложение I (справочное) Испытание на циклическое изменение нагрузки . . . 29
Приложение J (справочное) Протоколы испытаний . . . 31
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных документов межгосударственным стандартам . . . 36
Библиография . . . 37

Введение

Международная электротехническая комиссия (МЭК) — всемирная организация по стандартизации, объединяющая национальные технические комитеты (национальные комитеты МЭК). Основная задача МЭК — продвижение международного сотрудничества по вопросам стандартизации в областях электротехники и электроники. С этой целью МЭК публикует международные стандарты, технические условия, технические отчеты, общедоступные спецификации и руководства (именуемые в дальнейшем «документы МЭК»). Подготовка этих документов поручена техническим комитетам. Национальный комитет МЭК, заинтересованный в разработке стандарта, может принять участие в подготовительной работе. Международные, правительственные и неправительственные организации, поддерживающие связь с МЭК, могут также принять участие в этой работе. МЭК тесно сотрудничает с Международной организацией по стандартизации (ИСО) в соответствии с условиями, установленными в соглашении между двумя организациями. Официальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам выражают, насколько это возможно, мнение, выработанное совместными усилиями по соответствующим вопросам, поскольку в каждом техническом комитете присутствуют представители от всех заинтересованных национальных комитетов МЭК.

Публикации МЭК носят характер рекомендаций для международного использования и принимаются национальными комитетами МЭК с учетом этого факта. Хотя делается все возможное для того, чтобы обеспечить точность технического содержания публикаций, МЭК не может нести ответственность за способ использования этих публикаций или за их неправильное толкование конечным пользователем. Для обеспечения единообразия международных документов национальные комитеты МЭК предпринимают все возможные усилия для прозрачного использования документов МЭК в национальных и региональных публикациях.

Перечень всех частей комплекса документов МЭК 62282 под общим заголовком «Технологии топливных элементов» можно найти на сайте МЭК.

Технический комитет ТК 105 принял решение о том, что содержание публикации будет оставаться неизменным до наступления даты, указанной на веб сайте МЭК (gost.e-ecolog.ru в разделе данных, относящихся к этой конкретной публикации.

Подготовка настоящего стандарта, идентичного IEC/TS 62282-7-1:2010, осуществлялась Техническим комитетом по стандартизации ТК 029 «Водородные технологии» в обеспечение Технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011).

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БАТАРЕЙ

Часть 7-1

Топливные элементы с полимерным электролитом. Методы испытаний единичного элемента

Fuel cell technologies. Part 7-1. Single cell test methods for polymer electrolyte fuel cell

Дата введения — 2017—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на соединения элементов, испытательную аппаратуру, измерительные приборы, методы измерений, методы проверки технических характеристик, протоколы (отчеты) испытаний единичных топливных элементов с полимерным электролитом (далее — ТЭПЭ) и может быть использован для оценки:

a) рабочих характеристик мембранно-электродного блока (МЭБ) для ТЭПЭ;

b) материалов или конструкций других компонентов ТЭПЭ;

c) влияния примесей, находящихся в топливе и/или в воздухе, на работу топливных элементов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы следующие международные стандарты. Для датированных ссылок применяются только указанные издания ссылочного документа.

IEC/TS 62282-1:2010, Fuel cell technologies — Part 1: Terminology (Технологии топливных элементов. Часть 1. Терминология).

ISO/TS 14687-2:2008, Hydrogen fuel — Product specification — Part 2. Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles (Топливо водородное. Технические условия. Часть 2: Применение водорода для топливных элементов с протонообменной мембраной (ПОМ) дорожных транспортных средств).

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **анод** (anode): Электрод, на котором происходит окисление топлива посредством движения электронов по внешней электрической цепи одновременно с движением протонов (H^+) через полимерный электролит.

3.2 **катализатор** (catalyst): Вещество, которое ускоряет (увеличивает скорость) реакцию, но само не входит в состав продуктов реакции и не расходуется. Катализатор снижает энергию активации реакции, что приводит к увеличению ее скорости. Это также относится к электрокатализатору, который определен в IEC/TS 62282-1.

3.3 **мембрана с нанесенным катализатором** (catalyst-coated membrane, CCM): Мембрана в топливном элементе с ТЭПЭ, поверхность которой покрыта слоем катализатора, с образованием зоны реакции электрода.

3.4 **катод** (cathode). Электрод, на котором происходит восстановление окислителя, обусловленное движением электронов во внешней цепи и протонов (H+) через полимерный электролит, сопровождаемое выделением продуктов восстановления окислителя (воды).

Издание официальное

3.5 **прижимная пластина** (clamping plate or pressure plate): Несущая конструкция, используемая для прижатия компонентов топливного элемента друг к другу для обеспечения электропроводности и герметичности.

3.6 **коллектор тока** (current collector): Электропроводящий элемент, состоящий из металла, графита или композитных материалов, обеспечивающий движение электрического тока от анода к катоду.

3.7 **электрод** (electrode): Электрический проводник с каталитическим слоем, который способствует протеканию либо реакции окисления, либо реакции восстановления и имеет как электронную, так и ионную проводимость.

3.8 **газораспределительная пластина** (flow plate): Электропроводящая пластина, изготовленная из металлов, материалов, таких как графит или электропроводящий полимер, например углеродонаполненный композит, встраиваемая в тракты подачи газообразного топлива или окислителя и имеющая электрический контакт с электродом.

3.9 **топливо** (fuel): Водород или водородосодержащий газ, который вступает в реакцию на аноде.

3.10 **топливный элемент**; ТЭ (fuel cell): Электрохимический источник тока, который преобразует химическую энергию топлива и окислителя в электрическую энергию (постоянный ток), тепло и продукты реакции. Топливо и окислитель обычно хранятся снаружи топливного элемента и подаются в топливный элемент по мере потребления реагентов.

3.11 **газодиффузионный электрод**; ГДЭ (gas diffusion electrode; GDE): Элемент со стороны анода или катода, содержащий все электронные проводящие элементы электрода, такие как газодиффузионный слой и слой катализатора.

3.12 **газодиффузионный слой**; ГДС (gas diffusion layer; GDL): Пористый электропроводящий элемент, который расположен между электродом и газораспределительной пластиной, служит электрическим контактом и обеспечивает доступ.

3.13 **прокладка** (gasket): Герметизирующий элемент конструкции, который предотвращает утечку газа из элемента.

3.14 **предельная плотность тока** (limiting current density): Плотность тока, при которой напряжение элемента резко снижается до значения, близкого к нулю.

3.15 **максимальная плотность тока** (maximum current density): Наивысшее значение плотности тока, указанное производителем как допустимое в течение короткого периода времени.

3.16 **мембранно-электродный блок**; МЭБ (membrane electrode assembly; MEA): Компонент топливного элемента (см. 3.10), состоящий из электролитной мембраны с газодиффузионными электродами (см. 3.11) на каждой из сторон.

3.17 **минимальное напряжение элемента** (minimum cell voltage): Наименьшее значение напряжения элемента, указанное производителем.

3.18 **напряжение разомкнутой цепи** (open circuit voltage; OCV): Напряжение элемента при нулевой плотности тока в рабочих условиях.

3.19 **окислитель** (oxidant): Кислород или кислородосодержащий газ (например, воздух), который вступает в реакцию на катоде.

3.20 **полимерный электролит** (polymer electrolyte): Мембрана из полимерной смолы, обладающая протонообменными характеристиками, в которой ток создается движением протонов от анода к катоду.

3.21 **топливный элемент с полимерным электролитом**; ТЭПЭ (polymer electrolyte fuel cell; PEFC): Топливный элемент, в котором в качестве электролита используется мембрана из полимерного электролита, который также называется топливным элементом с протонообменной мембраной (ТЭПОМ).

3.22 **мощность** (power): Величина, вычисляемая путем умножения значения напряжения на значение тока на установившемся режиме ($P = V \cdot I$).

3.23 **удельная мощность** (power density): Величина, вычисляемая путем деления значения мощности на геометрическую площадь электрода.

3.24 **номинальная плотность тока** (rated current density): Максимальная плотность тока, указанная производителем МЭБ, или единичного элемента для работы в непрерывном режиме.

3.25 **номинальная удельная мощность** (rated power density): Максимальная удельная мощность, указанная производителем МЭБ, или единичного элемента для работы в непрерывном режиме.

3.26 **номинальное напряжение** (rated voltage): Минимальное напряжение элемента, указанное производителем МЭБ, или единичного (простого) элемента для работы в непрерывном режиме.

3.27 **единичный (простой) элемент** (single cell): Элемент, состоящий, как правило, из газораспределительной пластины анода, МЭБ, газораспределительной пластины катода и герметизирующих прокладок (для получения дополнительной информации см. приложение В).

3.28 **испытание единичного (простого) элемента** (single cell test): Проверка рабочих характеристик единичного топливного элемента.

3.29 **электрохимическая стехиометрия, стехиометрия** (stoichiometry): Молярное отношение количества газов топлива (или окислителя), подаваемых в элемент, к вычисленному на основе электрического тока количеству газов, которое необходимо для протекания химической реакции.

4 Общие вопросы безопасности

При работе топливного элемента используются окислительные и восстановительные газы. Для их хранения могут использоваться сосуды высокого давления. Сам топливный элемент может функционировать как при атмосферном давлении, так и при давлениях, превышающих атмосферное давление.

Лица, выполняющие испытания единичных (простых) элементов, должны пройти обучение и иметь опыт эксплуатации систем, связанных с их испытаниями и, в частности, опыт безопасного использования электрооборудования и оборудования, содержащего химически активные и взрывоопасные сжатые газы. Для безопасной эксплуатации испытательной станции, предназначенной для работы с единичными (простыми) топливными элементами, необходима соответствующая техническая подготовка и опыт работы персонала, а также использование безопасной аппаратуры и оборудования, требования безопасности к которым находятся вне сферы действия настоящего стандарта.

5 Компоненты топливного элемента

5.1 Общие положения

Единичный (простой) топливный элемент должен включать все или часть из нижеперечисленных компонентов:

a) МЭБ,

b) уплотнительные прокладки,

c) газораспределительные пластины анода и катода,

d) коллекторы тока анода и катода,

e) прижимные пластины анода и катода,

f) электроизоляционные пластины,

g) крепежные изделия или средства для создания осевой нагрузки, которые могут включать болты, шайбы, пружины и т. д.,

h) устройства регулирования температуры,

i) прочие узлы и детали.

5.2 Определение размера мембранно-электродного блока

Площадь электрода должна быть такой, чтобы обеспечивать измерение необходимых параметров. Площадь электрода должна быть не менее 25 $см^2$. Элементы с более крупными электродами могут давать более релевантные данные. Должна быть определена активная площадь электродов, при этом должно указываться значение площади меньшего из двух электродов, а также значение неопределенности измерения указанного параметра.

5.3 Газодиффузионный слой

ГДС должен быть изготовлен из электропроводящих и коррозионно-стойких материалов с высокими газодиффузионными характеристиками.

5.4 Уплотнительный материал

Материал прокладок должен быть совместим с материалами компонентов топливного элемента, реагентами и продуктами реакции, а также соответствовать рабочей температуре элемента. Прокладки должны предотвращать утечку газов.

5.5 Газораспределительная пластина

Газораспределительная пластина рабочих сред должна быть изготовлена из материалов, которые имеют пренебрежимо низкую газопроницаемость, но при этом высокую электропроводность. Рекомендуется использовать высокоплотные полимер/углеродные композитные материалы с пропиткой смолой из синтетического графита или коррозионно-стойкий металл, такой как титан или нержавеющая сталь. Если используется металл, поверхность пластины может иметь покрытие (например, из золота), нанесенное плакированием или электролитическим способом для того, чтобы уменьшить контактное сопротивление. Газораспределительная пластина должна быть коррозионно-стойкой и должна обеспечивать необходимую герметичность.

Рекомендуется использовать проточный змеевидный канал. Дополнительная информация по рекомендуемой конструкции приведена в приложении А. Конфигурация потока должна быть отражена в протоколе испытаний.

Газораспределительные пластины для испытаний должны обеспечивать возможность точного измерения рабочей температуры элемента. Например, такие пластины могут иметь небольшое отверстие на боковой поверхности для размещения в нем датчика температуры. В этом случае отверстие может доходить до центра пластины.

Примечание — Если цель испытания — оценка конструкции конкретного проточного канала, рекомендуемую конструкцию газораспределительной пластины использовать необязательно.

5.6 Коллектор тока

Коллекторы тока топливного элемента следует изготавливать из материалов, обладающих высокой электропроводностью, например из металла. Металлические коллекторы тока могут быть покрыты материалами, снижающими контактное сопротивление, такими как золото или серебро. Покрытие должно быть совместимо с компонентами элемента, реагентами и продуктами реакции. Коллекторы тока должны иметь достаточную толщину для минимизации падения напряжения на площади их поверхности. В конструкции коллекторов тока должны быть предусмотрены выходные электрические клеммы для подсоединения проводов.

Если в качестве коллекторов тока используют металлические газораспределительные пластины, отдельные коллекторы не требуются.

5.7 Прижимная пластина

Прижимные пластины (стягивающие пластины) должны быть плоскими с гладкой поверхностью и должны иметь механические характеристики, достаточные для того, чтобы выдерживать изгибающую нагрузку, прикладываемую при стягивании элементов конструкции с помощью болтов.

Если прижимные пластины являются электропроводящими, то для предотвращения короткого замыкания они должны быть электрически изолированы от коллекторов тока.

5.8 Стягивающие крепежные изделия

Стягивающие крепежные элементы конструкции должны иметь высокую механическую прочность, чтобы выдерживать нагрузки, создаваемые во время монтажа и работы. Для поддержания в единичном элементе постоянного равномерного давления допускается использовать шайбы и пружины. Для точного регулирования давления необходимо использовать ключ с регулируемым крутящим моментом или другое измерительное устройство.

Рекомендуется обеспечивать электрическую изоляцию стягивающих крепежных деталей.

5.9 Устройство терморегулирования

Единичный (простой) элемент должен быть снабжен устройством регулирования температуры (нагрев/охлаждение) для поддержания постоянной температуры элемента, обеспечения однородного профиля температур вдоль газораспределительной пластины и в поперечном сечении элемента. Устройство регулирования температуры может программироваться для обеспечения заданного профиля изменения температуры и должно иметь средства для предотвращения перегрева.

Существует несколько способов для выполнения данного требования. Наиболее простым способом терморегулирования является конвективное охлаждение и электрический нагрев прижимных (стягивающих) пластин. Нагрев может выполняться путем закрепления электрического нагревателя на

внешней поверхности пластины. Альтернативным способом является помещение патронного нагревательного элемента в отверстие в пластине.

В любом случае для обеспечения электробезопасности следует обращать внимание на исправность электрической изоляции.

6 Сборка элементов

6.1 Процедуры сборки

Процедуры сборки элементов оказывают большое влияние на повторяемость данных. Сборочные операции следует задокументировать для следующих основных и дополнительных процедур:

a) установка мембраны, включая идентификацию анодной и катодной сторон;

b) определение расположения ГДС, включая идентификацию анодных и катодных частей, а также областей, которые должны быть обращены к мембране и проточной области;

c) размещение прокладок/уплотнений;

d) определение расположения приспособлений и кондукторов, если таковые используются;

e) методики и требования к процессу сжатия, такие как степень сжатия диффузионных сред, порядок затяжки болтов, требования к пружинам сжатия и моменту затяжки.

Примечание — Давление может проверяться с помощью бумаги/пленки, чувствительной к давлению.

Типовая схема единичного элемента показана в приложении В. После сборки единичного элемента следует проверить электрическую изоляцию между прижимными пластинами и токовыми коллекторами.

6.2 Пространственная ориентация элемента

Элемент должен функционировать в положении, которое способствует удалению воды. Пространственная ориентация элемента должна быть зафиксирована документально. Примеры приведены в приложении А.

6.3 Проверка герметичности

Наиболее критичным компонентом единичного элемента с точки зрения герметичности является перепад давления на мембране топливного элемента. Значение перепада не должно превышать максимальный перепад, указанный производителем.

Топливный элемент должен иметь минимальные внешние и внутренние утечки. Примеры процедур проверки герметичности приведены в приложении С. По существу, процедура проверки герметичности состоит во введении инертного или тестового газа со стороны анода и катода. Путем использования соответствующего перепада давлений можно установить характер и направление утечки. Должны быть задокументированы максимальные давления, тип тестового газа и интенсивность утечки. Если обнаружена утечка, для дальнейшего определения характера утечки, могут выполняться другие тесты, такие как проверка на наличие пузырьков газа утечки.

7 Наладка испытательного стенда

7.1 Минимальные требования к оборудованию

Для проведения испытаний единичного элемента требуется испытательный стенд. Для соответствия целям методики испытаний минимальные функциональные возможности испытательного оборудования включают в себя:

a) управление расходом газообразных реагентов — для дозирования газообразного топлива и окислителя, подаваемых в топливный элемент при требуемой электрохимической стехиометрии;

b) управление увлажнением газообразных реагентов — для увлажнения газообразных реагентов до требуемой точки росы перед подачей в топливный элемент. Рекомендуемое удельное электрическое сопротивление воды — не менее 1 МОм·см (или удельная электрическая проводимость — не более 10^{-4} см/м$^{-1}$).

Примечание — Трубопроводы, транспортирующие газы между увлажнителями и элементом, для сведения конденсации к минимуму должны быть нагреты на 5°—10° выше точки росы;

c) управление давлением газовых реагентов — для регулирования давления внутри топливного элемента;

d) регулирование нагрузки — блок нагрузки для получения заданного значения тока элемента. Блок нагрузки должен работать либо в режиме стабилизации тока, либо в режиме стабилизации напряжения;

e) управление нагревом/охлаждением элемента — для нагрева или охлаждения единичного элемента до заданной рабочей температуры;

f) мониторинг и регистрация напряжения элемента — измерительные приборы для определения и регистрации напряжения элемента в течение испытания;

g) управление испытательным стендом — испытательный стенд должен иметь средства управления вышеперечисленными функциями;

h) системы безопасности — необходима система безопасности, позволяющая автоматически (или вручную со звуковой сигнализацией) остановить проведение испытания в случае аварии. Рекомендуется продувка азотом анодного и катодного контуров. Также рекомендуется использовать блокировку, включаемую при высоком/низком напряжении, давлении и температуре элемента и утечках газа. Также должна обеспечиваться соответствующая вентиляция.

7.2 Принципиальная схема

На рисунке 1 показана конфигурация основных подсистем, стенда, необходимых для испытаний топливного элемента.

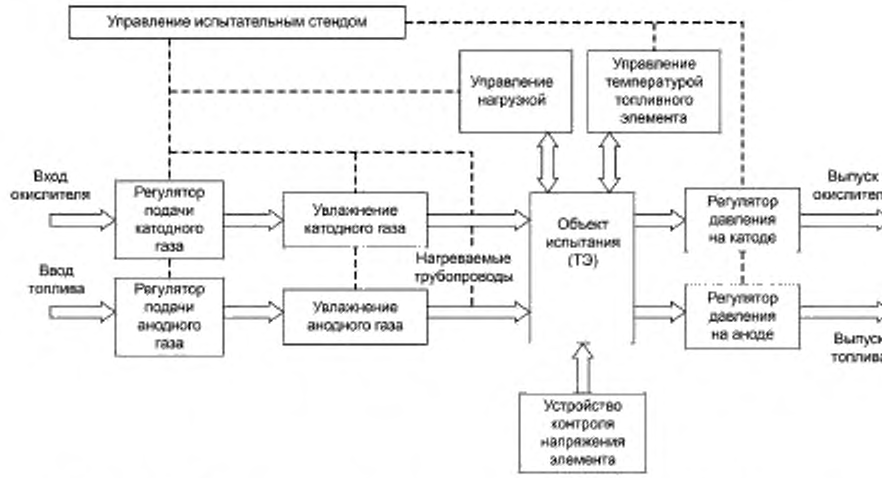

Рисунок 1 — Принципиальная схема стенда для испытания единичного элемента

Материалы, используемые во всех компонентах, которые будут контактировать с увлажненным газом или водой, должны быть совместимы с этими ингредиентами. Например, не допускается наличие частиц нержавеющей стали и фторопласта. Система увлажнения газа должна быть спроектирована так, чтобы предотвратить удаление примесей из потока газа до входа этого газа в топливный элемент.

Примечание — Возможные примеси перечислены в ISO/TS 14687-2:2008 .

Если данное испытание не проводят, то для увлажнения топлива может использоваться барботер. Допустимы изменения данной конфигурации испытательного стенда при условии, что обеспечивается выполнение функциональных требований настоящего стандарта.

7.3 Максимальные отклонения от номинальных значений для стенда

Регуляторы испытательного стенда единичного топливного элемента должны иметь следующую рекомендуемую неопределенность при установке параметров:

a) плотность тока ± 1 %;

b) напряжение ± 1 %;

c) температура элемента ± 1 °C (в установившемся режиме);
d) точка росы ± 2 °C (в установившемся режиме),
e) расход рабочих тел ± 5 % от заданного значения;
f) давление ± 3 % от заданного значения.

8 Измерения

8.1 Неопределенность измерений

При испытаниях максимальная неопределенность, связанная с применением инструментов и оборудования (выходы объекта испытаний), должна соответствовать:
a) плотность тока ± 1 % от максимального ожидаемого значения;
b) напряжение ± 0,5 % от максимального ожидаемого значения;
c) температура ± 1° C;
d) точка росы ± 2° C;
e) расход газа ± 2 % от максимального ожидаемого значения;
f) давление ± 3 % от максимального ожидаемого значения.

Примечание — При низком токе, напряжении и небольших расходах реагентов неопределенность измеряемых значений может возрастать.

8.2 Измерительные приборы и методы измерений

8.2.1 Общие положения

Выбор измерительных приборов следует проводить с учетом диапазона изменения измеряемых величин. Для поддержания уровня точности, определенного в 10.1, следует проводить регулярную калибровку приборов. Все измерительные устройства калибруют в соответствии со стандартами, определяющими единство измерений.

8.2.2 Напряжение

Вольтметр необходимо подключать к анодным и катодным газораспределительным пластинам или коллекторам тока, при этом влияние электрического контактного сопротивления необходимо сводить к минимуму. Если значения электрических контактных сопротивлений между вольтметром, анодной и катодной газораспределительными пластинами или выходными клеммами анодных или катодных токовых коллекторов не являются пренебрежимо малыми, то их следует измерять и фиксировать в протоколе испытаний.

8.2.3 Ток

Устройство измерения тока должно быть расположено в токоведущей цепи элемента. Устройство измерения тока может состоять из амперметра с низким сопротивлением или калиброванного шунтирующего резистора, который создает точно известное напряжение, отражающее протекание тока. Ток также допускается измерять с использованием возможностей электронной нагрузки.

8.2.4 Внутреннее сопротивление

Рекомендуемые методы измерения внутреннего сопротивления включают в себя метод прерывания тока и метод электрохимической импедансной спектроскопии. Также допустимо применение метода сопротивления переменному току с использованием миллиомметра переменного тока. Фактическое значение частоты следует фиксировать в протоколе испытаний. Измерительные выводы «+», «–» измерительных приборов должны быть подключены к выходным клеммам катодного и анодного токовых коллекторов соответственно.

8.2.5 Расходы топлива и окислителя

Расходы топлива и окислителя измеряют с помощью объемного расходомера, массового расходомера или расходомера турбинного типа. Если применение такого метода нецелесообразно, рекомендуется измерение расхода с помощью сопла, измерительной диафрагмы или расходомера Вентури. Расходомер должен быть расположен до увлажнителя.

Если для расходомера требуется коррекция по давлению, то отверстие для измерения статического давления должно находиться сразу же вверх по потоку от корректируемого расходомера.

8.2.6 Температура топлива и окислителя

Рекомендуемые датчики для прямого измерения температуры — это термопара, термометр сопротивления с преобразователем или терморезистор.

Датчик температуры должен быть расположен сразу же вниз по потоку от единичного элемента. Другой датчик рекомендуется размещать сразу же вверх по потоку от единичного элемента.

Если для расходомера топлива и/или окислителя требуется коррекция по температуре, то датчик для такой коррекции должен быть расположен сразу же вверх по потоку от расходомера.

8.2.7 Температура элемента

Рекомендуемые датчики для прямого измерения температуры — это термопара, термометр сопротивления с преобразователем или терморезистор.

Датчик температуры следует размещать как можно ближе к центру активной области катода. Идеальным вариантом является размещение датчиков в центре анодной и катодной пластин газораспределения (более подробная информация в 5.5 и приложении А).

8.2.8 Давление топлива и окислителя

Для измерения давления топлива и окислителя предпочтительным является использование калиброванных датчиков давления. Другие допустимые методы включают в себя использование калиброванных манометров, грузопоршневых манометров, манометров с трубкой Бурдона и других датчиков избыточного давления с упругими элементами.

Отверстие для измерения статического давления должно быть расположено непосредственно выше по потоку от единичного элемента. При необходимости непосредственно вниз по потоку от единичного элемента должно быть расположено еще одно отверстие для измерения давления.

Перед проведением испытаний для определения рабочих характеристик необходимо проверить соединительные трубопроводы, чтобы удостовериться, что в рабочих условиях они герметичны. Следует исключать присутствие воды в трубопроводах.

Если возникают пульсации давления, в месте, где это будет эффективно, должно быть установлено соответствующее средство демпфирования колебаний.

Давление следует измерять в виде статического параметра, при этом влияние скорости должно учитываться и исключаться.

8.2.9 Влажность топлива и окислителя

Чтобы получить числовое значение влажности, зависящее от температур топлива и окислителя, при измерении влажности топлива и окислителя допускается применять охлажденное зеркало, гигрометр резистивного или емкостного типа на основе оксида алюминия или блочного полимера. Влажность должна выражаться как температура точки росы. Пробоотборник для измерения влажности должен быть расположен вверх по потоку от единичного элемента, или датчик влажности может быть помещен в газе-реагенте до начала испытания. В случае использования в качестве окислителя атмосферного воздуха или синтетического воздуха точку росы следует измерять и фиксировать в протоколе испытаний.

8.2.10 Условия окружающей среды

Рекомендуется измерять и отражать в протоколе испытаний температуру, давление и влажность окружающей среды. Для прямого измерения температуры окружающей среды рекомендуется использовать термопары с преобразователем или термометр сопротивления с преобразователем. Для прямого измерения давления окружающей среды рекомендуется использовать ртутный барометр. Для прямого измерения влажности окружающей среды рекомендуется использовать гигрометр.

8.3 Единицы измерения

В таблице 1 определены параметры, анализируемые во время испытаний, и соответствующие единицы измерения.

Таблица 1 — Параметры и единицы измерения

Параметр	Единица измерения
Температура	°С
Давление топлива и окислителя	кПа [с]

Окончание таблицы 1

Параметр	Единица измерения
Точка росы топлива и окислителя	°С
Расход топлива и окислителя (НТД [a])	$см^3$ /мин, $см^3$/с
Стехиометрия топлива и окислителя	
Ток	А
Плотность тока	А/см
Напряжение	В
Выходная мощность	Вт
Плотность мощности	Вт/ см
Удельное сопротивление элемента	Ом·$см^2$
Состав топлива [b]	(моль)моль$^{-1}$
Состав окислителя [b]	(моль)моль$^{-1}$

[a] НТД — нормальная температура и давление: 0 °С и 101,325 кПа (абсолютные значения), если не оговорено иначе, для расхода используется НТД.
[b] Примеси должны указываться в (мкмоль)моль$^{-1}$.
[c] ИСО рекомендует использовать абсолютное давление (кПа), если это возможно, если используется избыточное давление, это должно указываться и приводиться в кПа (изб.).

9 Состав газа

9.1 Состав топлива

9.1.1 Водород

Чистота водорода должна быть не менее 0,9999 моль/моль. Подробная информация по содержанию примесей в водороде приведена в ISO/TS 14687-2:2008г.

9.1.2 Газы риформинга

Производителем топливных элементов или их компонентов может быть указан моделированный газ риформинга. Чистоту и состав газа риформинга следует определять с помощью химического анализа. Результаты химического анализа необходимо зафиксировать в протоколе испытаний.

9.2 Состав окислителя

Если в качестве окислителя используют воздух, то в этом случае допускается использовать либо атмосферный воздух, либо синтетическую смесь соответствующего состава (синтетический воздух). В случае использования атмосферного воздуха реагент не должен содержать масло или твердые частицы. Состав окислителя, включая концентрацию примесей, следует зафиксировать в протоколе испытаний.

10 Подготовка испытаний

10.1 Номинальные условия испытаний

Производитель топливных элементов и/или компонентов топливных элементов до начала испытания должен указать значения следующих параметров в качестве номинальных условий испытаний. Если указания отсутствуют, условия будут зависеть от выполняемого исследования. Эти условия следует зафиксировать в протоколе испытаний:

а) температура элемента (рекомендованная: в центре катодной газораспределительной пластины);

b) рабочее давление топлива (репрезентативное значение: определяется непосредственно вверх по потоку от элемента);

c) рабочее давление окислителя (репрезентативное значение: определяется непосредственно вверх по потоку от элемента);

d) влажность топлива при рабочей температуре топливного элемента (репрезентативное значение: определяется непосредственно вверх по потоку от элемента);

e) влажность окислителя при рабочей температуре топливного элемента (репрезентативное значение: определяется непосредственно вверх по потоку от элемента);

f) состав топлива;

g) состав окислителя;

h) стехиометрия топлива;

i) стехиометрия окислителя;

j) номинальная плотность тока;

k) номинальное напряжение;

l) максимальная плотность тока;

m) минимальное напряжение элемента.

Испытания для определения рабочих характеристик проводят при номинальных условиях, если не оговорено иное в описании соответствующих методик испытаний. Типовая последовательность проведения испытаний приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 — Типовая последовательность операций при проведении испытаний

10.2 Условия окружающей среды

Для каждой серии испытаний рекомендуется измерять параметры окружающей среды:

- температуру;
- давление;
- относительную влажность.

10.3 Частота выполнения измерений

Рекомендуемая частота выборки данных — один раз в секунду. Результат измерения показателя определяется как среднее значение за 1 мин (т. е. 60 единичных измерений).

10.4 Повторяемость и воспроизводимость

Вольт-амперную характеристику следует измерять три раза, при этом для каждой плотности тока вычисляют средние значения напряжения.

10.5 Максимально допустимые отклонения измеренных значений

Значения входных и выходных параметров испытаний, полученные при проведении не менее чем трех измерений, должны находиться в диапазоне ± 5 % от их среднего значения за исключением испытаний, связанных с длительной эксплуатацией.

10.6 Число испытуемых образцов

Испытания проводят последовательно с использованием одного образца либо параллельно с использованием нескольких образцов. Требования к повторяемости и воспроизводимости результатов ограничиваются только требованиями к определению вольт-амперной характеристики. Характеристики определяют последовательно. Между экспериментами производится останов топливного элемента. При этом образец должен термостатироваться в условиях, соответствующих внешним параметрам окружающей среды, а затем выводиться в рабочее состояние.

10.7 Проверка герметичности газового тракта инертным или тестовым газом

Все материалы, используемые для проверки герметичности газового тракта, должны быть совместимы с газовыми трубопроводами и компонентами элемента. После установки единичного элемента в стенде необходимо проверить отсутствие утечки газа, используя инертный или тестовый газ и контролируя все соединения детектором утечки текучих сред.

10.8 Первоначальное приведение в рабочее состояние и контроль параметров

К вновь собранному элементу должна применяться процедура первоначального приведения в рабочее состояние. Основная цель первоначального приведения в рабочее состояние — приведение элемента в состояние стабильных рабочих характеристик для последующих испытаний.

Первоначальное приведение в рабочее состояние следует:

a) выполнять в соответствии с инструкциями производителя МЭБ или его компонентов;

b) либо выполнять в соответствии с указаниями производителя испытуемого объекта;

c) либо выполнять в соответствии с практикой, принятой в организации, проводящей испытания.

Типичные элементы процедур первоначального приведения в рабочее состояние приведены в приложении D.

10.9 Останов

Для приведения элемента в состояние хранения (холодное состояние) следует выполнять процедуру останова. Главная цель процедуры останова — охлаждение элемента до температуры окружающей среды, при температуре окружающей среды присутствие остатков воды в элементе в жидком состоянии не допускается.

Процедуру останова выполняют в соответствии с инструкциями производителя МЭБ или его компонентов.

Типичная процедура останова приведена в приложении E.

10.10 Повторное приведение в рабочее состояние

Процедуры повторного приведения в рабочее состояние применяют при повторном пуске элемента после останова, чтобы обеспечить необходимый уровень увлажнения МЭС.

Повторное приведение в рабочее состояние выполняют в соответствии с инструкциями производителя МЭС или компонентов.

Типовая процедура повторного приведения в рабочее состояние приведена в приложении F.

11 Испытания для определения рабочих характеристик

11.1 Проверка установившегося состояния

11.1.1 Общие положения

Цель испытания — проверка выходного напряжения или тока и выходной мощности в номинальных условиях испытаний.

11.1.2 Методики испытаний

Существует две методики выполнения данного испытания.

a) необходимо установить требуемые значения всех входных параметров испытания. Следует установить такое значение тока, чтобы оно соответствовало номинальной плотности тока i_{st} . и поддерживать это значение тока до тех пор, пока напряжение элемента не стабилизируется в диапазоне ± 5 мВ на протяжении 15 мин. Проводят регистрацию напряжения элемента i_{st}. Выходную мощность в номинальных условиях испытаний P_{st} вычисляют по результатам теста;

b) необходимо установить требуемые значения для всех входных параметров испытания. Следует установить значение напряжения V_{st} так, чтобы оно соответствовало требуемому значению, и поддерживать это значение до тех пор, пока ток топливного элемента не стабилизируется в диапазоне ± 2 % на протяжении 15 мин. Проводят регистрацию тока элемента I_{st}. Выходную мощность в номинальных условиях испытаний P_{st} вычисляют по результатам теста.

11.2 Проверка вольт-амперной характеристики

11.2.1 Вольт-амперная характеристика при постоянном расходе газа

11.2.1.1 Общие положения

Цель данного испытания — определение изменения напряжения элемента (и параллельно удельной отдачи энергии) при изменении плотности тока в условиях постоянного расхода газа.

11.2.1.2 Методика испытания

Необходимо установить расход топлива и окислителя такой, чтобы он соответствовал номинальному значению электрохимической стехиометрии при максимальной плотности тока i_{max}, указанной производителем элемента.

Следует установить ток I_{max} и поддерживать его значение до тех пор, пока напряжение элемента не стабилизируется в диапазоне ± 5 мВ на протяжении 15 мин. Необходимо зафиксировать вольт-амперную характеристику элемента путем изменения тока с соответствующим шагом в диапазоне от 0 до I_{max}, поддерживая расходы топлива и окислителя на постоянном уровне.

Необходимо стабилизировать напряжения в диапазоне ± 5 мВ на протяжении 5 мин для каждого значения плотности тока. Выполнение процедуры следует зафиксировать в протоколе испытаний.

Типовой пример приращения плотности тока приведен в приложении G. Данную проверку также можно проводить путем изменения напряжения в диапазоне от напряжения разомкнутой цепи (OCV) до минимального напряжения и обеспечения возможности стабилизации тока в диапазоне ± 2 % на протяжении 5 мин.

Несмотря на то, что эти условия могут отличаться от реальных условий эксплуатации топливного элемента, температура, давление и влажность, поддерживаются стабильными даже при изменяющемся токе и постоянных расходах.

11.2.2 Вольт-амперные характеристики при электрохимической стехиометрии газов

11.2.2.1 Общие положения

Цель испытания — определение изменения напряжения элемента (и, параллельно, удельной отдачи энергии) при изменении плотности тока в условиях электрохимического стехиометрического соотношения газов.

11.2.2.2 Методика испытания

Необходимо установить расход топлива и окислителя такими, чтобы они соответствовали электрохимической стехиометрии газов, рассчитанной на основе максимального значения тока I_{max}, которое указано производителем элемента. Следует установить ток I_{max} и поддерживать его значение до тех пор, пока напряжение элемента не стабилизируется в диапазоне ± 5 мВ на протяжении 15 мин. Проводят регистрацию вольт-амперной характеристики элемента путем изменения тока в диапазоне от 0 до I_{max}. Необходимо поддерживать электрохимическую стехиометрию топлива и окислителя при каждом уровне тока. Минимальным требованием по стабилизации напряжения должно соответствовать ± 5 мВ на протяжении 5 мин для каждого значения плотности тока. Типовой пример приращения плотности тока приведен в приложении G.

Примечание — Данное испытание также допускается проводить путем изменения напряжения в диапазоне от напряжения разомкнутой цепи (OCV) до минимального напряжения и обеспечения возможности стабилизации тока в диапазоне ± 2 % на протяжении 5 мин.

Так как электрохимическая стехиометрия топлива и окислителя является постоянной величиной в диапазоне от 0 до I_{max}, расход как топлива, так и окислителя варьируется по мере изменения тока. Такая методика имитирует реальные условиям эксплуатации топливного элемента. Однако из-за различных расходов при каждом уровне тока локальные тепловые и водные балансы по мере варьирования параметров изменяются. Поэтому после каждого изменения тока для достижения нового установившегося состояния требуется значительное время. В частности, при малых токах, включая 0, напряжение становится нестабильным из-за низкого расхода газа. Чтобы предотвратить нестабильность напряжения при токах ниже I_{min}, применяется, как правило, постоянный минимальный расход, указанный производителем элемента. Если значение I_{min} не указано, это значение может приниматься равным 10 % значения I_{max}.

11.3 Определение внутреннего сопротивления

11.3.1 Общие положения

Цель данного испытания — определение электрического сопротивления элемента при различных плотностях тока. Для измерения внутреннего сопротивления может быть использована методика,

описанная в 8.2.4. Процедура измерения не должна нарушать установившееся состояние. В случае измерения внутреннего сопротивления необходимо параллельно осуществлять регистрацию вольт-амперной характеристики элемента. Если данное измерение будет нарушать установившееся состояние, целесообразно зарегистрировать значение напряжения и плотности тока, а затем выполнить измерение внутреннего сопротивления. Вольт-амперная характеристика определяется в соответствии с 11.2.1 или 11.2.2.

11.3.2 Методика испытаний

Следует подключить к элементу прибор для измерения внутреннего сопротивления и зарегистрировать показания прибора параллельно с получением вольт-амперной характеристики элемента в диапазоне от 0 до I_{max} путем изменения тока от 0 до I_{max} при соответствующем приращении. Удельное внутреннее сопротивление элемента (ASR), Ом·см^2, вычисляется по следующей формуле:

ASR/(Ом·см^2) = сопротивление (Ом) · площадь электрода (см^2).

Примечание — Данное измерение допускается проводить при выполнении всех нижеперечисленных испытаний.

11.4 Проверка предельного тока

11.4.1 Общие положения

Цель данного испытания — оценка ограничений по массопереносу внутри МЭБ.

11.4.1.1 Методика испытаний

Необходимо установить расходы топлива и окислителя такими, чтобы они обеспечивали значение электрохимической стехиометрии, соответствующей номинальной плотности тока i_{st}, указанному производителем элемента. Следует пошагово увеличивать ток с небольшими приращениями, поддерживая постоянное значение электрохимической стехиометрии топлива и окислителя (т. е. пошагово пропорционально увеличивая расходы топлива и окислителя). На каждом шаге регистрируется напряжение элемента. Когда напряжение резко снизится практически до 0 В, регистрируется значение тока, и его значение немедленно уменьшается, чтобы не допустить повреждения МЭБ. Используется экстраполированное значение к 0 В как предельный ток.

При использовании данной методики следует проявлять осторожность, чтобы предотвратить снижение напряжения элемента до 0 В, что может вызвать необратимое ухудшение характеристик МЭБ. Также следует соблюдать меры предосторожности при использовании проводов, которые могут иметь ограничения по плотности тока.

11.5 Проверки диффузионных характеристик

11.5.1 Проверка диффузионных характеристик анода

11.5.1.1 Общие положения

Цель данного испытания — оценка диффузионных характеристик анода. Проверку диффузионных характеристик проводят для оценки МЭБ при реальном применении в качестве топлива продуктов риформинга первичного топлива (смесь водорода, диоксида углерода, азота и других примесей).

11.5.1.2 Методика испытаний

Испытание проводят с использованием одной из двух методик, связанных с поддерживанием постоянного расхода топлива и окислителя или поддерживанием постоянного значения электрохимической стехиометрии реагентов. Эти методики представлены в 11.2.1 и 11.2.2. После выбора одной из методик она должна использоваться на протяжении всего испытания. Процедуры испытания приводятся ниже.

Первоначально в качестве топлива для анода топливного элемента используют водород, подаваемый при требуемых расходах, увлажнении и давлении. Используя выбранную методику, регистрируют вольт-амперную характеристику.

Затем в качестве топлива используют смесь водорода и азота. Азот здесь заменяет неводородные компоненты продуктов риформинга, состав которых указывает производитель. Используя выбранную методику, регистрируют вольт-амперную характеристику для смеси водород—азот и воздуха.

Следует сравнить вольт-амперную характеристику при использовании водорода с характеристикой при использовании газовой смеси. Если разность между вольт-амперными характеристиками больше, чем теоретическое значение, полученное из уравнения Нернста, то это может указывать на диффузионные дефекты анода.

Примечания

1 Использование азота вместо диоксида углерода обусловлено тем, что в диоксиде углерода могут оставаться следы оксида углерода, наличие которого может привести к отравлению анода и снижению его диффузионных характеристик.

2 Концентрация CO в водороде не должна превышать уровень, указанный в 9.1.1.

11.5.2 Проверка диффузионных характеристик катода

11.5.2.1 Общие положения

Цель испытания — оценка диффузионных характеристик катода. Проверяют эффективность МЭБ, для которого в реальных условиях используют в качестве окислителя воздух.

11.5.2.2 Методика испытаний

Испытание проводят с использованием одной из двух методик, связанных с поддержанием постоянного расхода газа или поддержанием постоянного значения электрохимической стехиометрии реагентов. Эти методики описаны в 11.2.1 и 11.2.2. После выбора одной из методик ее необходимо использовать на протяжении всего испытания. Процедуры испытания приводятся ниже. По выбранной методике регистрируют вольт-амперную кривую при использовании воздуха. Затем вместо воздуха используют кислород, подаваемый при тех же расходах топлива, увлажнении и давлении. Используя выбранную методику, регистрируют вольт-амперную характеристику. Следует сравнить вольт-амперную характеристику при использовании кислорода и характеристику при использовании воздуха. Если разность между вольт-амперными характеристиками больше, чем теоретическое значение, полученное из уравнения Нернста, то это может указывать на диффузионные дефекты катода.

Примечания

1 Перетекание O_2 через электролит (кроссовер) может привести к бурному протеканию экзотермической реакции, что может вызвать повреждения оборудования и создать угрозу персоналу.

2 Кислородная система должна быть спроектирована и очищена в соответствии со специальными требованиями.

11.6 Проверка влияния электрохимической стехиометрии реагентов

11.6.1 Проверка влияния электрохимической стехиометрии топлива

11.6.1.1 Общие положения

Цель испытания — оценка диффузионных характеристик анодов, как в 11.5.1.

11.6.1.2 Методика испытаний

Необходимо установить плотность тока, указанную в номинальных условиях испытания. Следует также установить значение электрохимической стехиометрии окислителя так, чтобы оно превышало по меньшей мере в четыре раза значение, указанное в номинальных условиях испытаний. После изменения подачи топлива в диапазоне, указанном производителем, проводят регистрацию напряжение элемента.

Примечания

1 Данное испытание не проводят для водорода, поскольку при снижении подачи водорода заметных изменений рабочих характеристик не происходит до тех пор, пока подача водорода не снижается до существенного дефицита водорода. В данном испытании используют риформинговый газ.

2 При проведении данного испытания следует проявлять осторожность, поскольку для анода намеренно создается недостаток водорода. Такой режим работы может привести к невосстановимому повреждению электрода.

11.6.2 Проверка влияния электрохимической стехиометрии окислителя

11.6.2.1 Общие положения

Цель испытания — оценка диффузионных характеристик катода, как в 11.5.2. Процедуры испытания приводятся ниже.

11.6.2.2 Методика испытаний

Необходимо установить плотность тока на уровне, указанном в номинальных условиях испытаний. Следует также установить значение электрохимической стехиометрии топлива так, чтобы она превышала по меньшей мере в два раза значение, указанное в номинальных условиях испытаний. После изменения подачи окислителя в диапазоне, указанном производителем, проводят регистрация напряжение элемента.

Примечания

1 Данное испытание не проводят с использованием кислорода, поскольку при снижении подачи кислорода заметных изменений рабочих характеристик не происходит до тех пор, пока подача кислорода не снижается практически до возникновения недостатка кислорода. При данном испытании используют воздух.

2 При проведении данного испытания следует проявлять осторожность, поскольку для катода намеренно создается недостаток кислорода.

11.7 Проверка влияния температуры

11.7.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния температуры элемента на его рабочие характеристики. Предполагается, что температура влияет на скорость реакций на электродах и проводимость электролита.

11.7.2 Методика испытаний

Необходимо последовательно изменять температурный режим элемента T_1, T_2, ..., T_n (значения T_1, T_2, ..., T_n определены производителем элемента, T_n — максимальная рабочая температура), поддерживая постоянной относительную влажность анода и катода при рабочей температуре элемента путем повышения/снижения точек росы и входных температур газов. На каждом уровне температуры регистрируют вольт-амперную характеристику элемента. Может использоваться методика, приведенная в 11.2.1 или 11.2.2.

11.8 Проверка влияния давления

11.8.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния давления топлива и окислителя на рабочие характеристики элемента. Необходимо поддерживать постоянным перепад давления на мембране. Высокое давление увеличивает плотность газов реагентов, что приводит к повышению скорости реакций.

11.8.2 Методика испытаний

Необходимо установить давление топлива или окислителя топливного элемента P_1, P_2, ... P_n (значения P_1, P_2, ..., P_n указаны производителем топливного элемента, P_n — максимальное рабочее давление). Следует изменять давление. На каждом уровне давления следует регистрировать вольт-амперную характеристику элемента. Допускается использовать методику, приведенную в 11.2.1 или в 11.2.2.

Следует проявлять осторожность, чтобы не допустить ненамеренного повреждения элемента или мембраны. Персонал, проводящий испытания, должен быть предупрежден о возможностях утечки через мембрану, вызванных наличием микроотверстий, которая может привести к внутреннему воспламенению.

11.9 Проверка влияния влажности

11.9.1 Оценка влияния влажности топлива

11.9.1.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния влажности топлива на рабочие характеристики элемента. Предполагается, что влажность топлива влияет на проводимость электролита, а также на газовую диффузию в анодах.

11.9.1.2 Методика испытаний

Данное испытание допускается проводить с использованием одной из двух методик, связанных с постоянным расходом газа или постоянной электрохимической стехиометрией реагентов. Эти методики описаны в 11.2.1 и 11.2.2. После выбора одной из методик ее необходимо использовать на протяжении всего испытания. Процедуры испытания приведены ниже.

Необходимо установить влажность окислителя на уровне, указанном в номинальных условиях. Следует также устанавливать влажность топлива на уровнях, соответствующих требуемым температурам точки росы, и провести регистрацию вольт-амперных характеристик.

11.9.2 Проверка влияния влажности окислителя

11.9.2.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния изменения влажности окислителя на рабочие характеристики элемента. Предполагается, что влажность окислителя влияет на проводимость электролита, а также на газовую диффузию в катодах.

11.9.2.2 Методика испытаний

Данное испытание допускается проводить с использованием одной из двух методик, связанных наличием постоянного расхода топлива и окислителя или постоянной электрохимической стехиоме-

трией реагентов. Эти методики описаны в 11.2.1 и 11.2.2. После выбора одной из методик она должна использоваться на протяжении всего испытания. Процедуры испытания приведены ниже. Необходимо установить влажность топлива, указанную в стандартных условиях. Следует установить также несколько уровней влажности окислителя, соответствующих требуемым температурам точки росы, и провести регистрацию вольт-амперных характеристик.

11.10 Оценка влияния состава топлива

11.10.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния состава риформингового газа на рабочие характеристики элемента. В ходе данного испытания проверяют производительность электрода при использовании различных типов топлива. Риформинговый газ содержит водород, CO и инертные газы, такие как CO_2 и/или N_2. Соотношение газов зависит от состава исходных топливах и условий риформинга. Предполагается, что инертный газ влияет на диффузию водорода в электроды.

11.10.2 Методика испытаний

Данное испытание допускается проводить с использованием одной из двух методик, связанных с постоянным расходом газа или постоянной электрохимической стехиометрией реагентов. Эти методики описаны в 11.2.1 и 11.2.2. После выбора одной из методик ее следует использовать на протяжении всего испытания. Процедуры испытания приведены ниже. По выбранной методике с использованием топлива определенного состава необходимо получить вольт-амперную характеристику. Следует заменить топливо на другое, имеющее состав, отличный от первоначально используемого. Используя выбранную методику, проводят регистрацию вольт-амперной характеристики.

11.11 Испытание на перегрузку

11.11.1 Общие положения

Цель испытания — оценка стойкости топливного элемента к электрической перегрузке. Оценивается активность катализатора и диффузионная характеристика электродов.

11.11.2 Методика испытаний

Необходимо установить значение нагрузки больше, чем номинальное значение, и меньше, чем значение предельного тока, а также расход топлива и окислителя, соответствующие электрохимической стехиометрии, а затем подать ток. Следует поддерживать установившийся режим элемента, регистрируя напряжение на протяжении периода времени, указанного производителем.

11.12 Ресурсные испытания

11.12.1 Общие положения

Цель испытания — оценка влияния длительной работы топливного элемента на его параметры, связанные с изменением напряжения при заданном режиме работы при неизменном токе. Проверку влияния длительной работы единичного элемента на стабильность его характеристик проводят на установившемся режиме. На протяжении испытаний через фиксированные интервалы времени определяют рабочие характеристики элемента путем фиксации текущих вольт-амперных характеристик и измерения сопротивления элемента.

11.12.2 Методика испытаний

Следует обеспечить работу элемента в течение длительного периода времени в номинальных условиях в соответствии с установленным временем эксплуатации, указанным производителем элемента. Во время работы следует регистрировать напряжение. При необходимости через равные промежутки времени в номинальных условиях испытаний регистрируют вольт-амперную характеристику и сопротивление элемента. Рекомендуемое минимальное число таких циклов определения характеристик равно 10. Основная методика для определения вольт-амперной характеристики приведена в 11.2.1 или 11.2.2, а для измерения сопротивления элемента в 11.3.

11.13 Испытание на многократное повторение цикла пуск/останов

11.13.1 Общие положения

Цель испытаний на периодическое повторение цикла пуск/останов — определение изменения рабочих характеристик элемента, работающего в заданных условиях, как функции числа циклов пуск/

останов. Данное испытание может рассматриваться в качестве специального для оценки срока службы МЭБ в условиях эксплуатации.

11.13.2 Методика испытаний

При данном испытании допускается регулировать подачу газа и температуру. Необходимо чередовать работу элемента при 100%-ной нагрузке (номинальная плотность тока) и отключение нагрузки (разомкнутая цепь). После отключения следует включить нагрузку и продолжить работу при 100%-ной нагрузке. Процедуру отключения-включения повторяют с регистрацией напряжения. Профили нагрузки при пуске/останове и продолжительности работы указывает производитель элемента. Типовой пример цикла пуска/останова и длительность цикла приведены в приложении Н.

Примечание — Работа топливного элемента при напряжении разомкнутой цепи в течение длительного времени может ускорить деградацию материалов электрода.

11.14 Испытание при циклическом изменении нагрузки

11.14.1 Общие положения

Цель испытания при циклическом изменении нагрузки — определение изменения напряжения работающего в заданных условиях топливного элемента как функции плотности тока, изменяющейся во времени.

Данное испытание допускается использовать в качестве специального для оценки срока службы МЭБ при применении в конкретных условиях работы.

11.14.2 Методика испытаний

После работы элемента в течение определенного периода времени при 100%-ной нагрузке (номинальной плотности тока) следует переключить нагрузку со 100%-ной на частичную нагрузку, поддерживая электрохимическую стехиометрию газов на постоянном уровне, и выдержать элемент в течение определенного периода времени при частичной нагрузке. После этого снова следует увеличить нагрузку до 100 %. Процедуру повторяют с регистрацией напряжения. Профиль нагрузки и длительность эксплуатации указывает производитель топливного элемента. Типовой пример профиля нагрузки и длительность испытания приведены в приложении I.

11.15 Оценка влияния примесей

11.15.1 Проверка влияния примесей топлива

11.15.1.1 Влияние состава топлива, содержащего примеси, и восстановление элемента при номинальной плотности тока

11.15.1.1.1 Общие положения

Цель испытания — определение при номинальной плотности тока влияния примесей, содержащихся в топливе, на рабочие характеристики элемента и степень восстановления элемента после ухудшения рабочих характеристик. Проверку элемента проводят на установившемся режиме, при этом используют топливо, содержащее некоторое количество примесей.

Примечание — Перечень примесей приведен в ISO/TS 14687-2:2008.

11.15.1.1.2 Методика испытаний

Данные испытания следует проводить при нескольких уровнях содержания примесей в топливе для того, чтобы определить наивысший уровень содержания примесей, который не влияет на рабочие характеристики элемента. Процедуры испытания приведены ниже. Необходимо выдержать режим работы элемента при номинальной плотности тока с использованием чистого топлива и чистого воздуха до тех пор, пока напряжение не стабилизируется в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин. Следует заменить чистое топливо на топливо, содержащее примеси в количествах, указанных производителем элемента, обеспечить работу элемента до стабилизации напряжения в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин и провести регистрацию напряжения.

Затем необходимо заменить топливо, содержащее примеси, на чистое топливо, обеспечить работу элемента до стабилизации напряжения в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин и провести регистрацию напряжения.

Примечание — Некоторые примеси, такие как H_2S, могут вступать в реакцию с контактирующими поверхностями компонентов испытательного стенда (например, трубопроводами подачи газа и прокладками). Следует удостовериться, что материалы стенда совместимы с используемыми примесями.

11.15.1.2 Вольт-амперная характеристика при использовании топлива, содержащего примеси

11.15.1.2.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния примесей, содержащихся в топливе, на вольт-амперную характеристику элемента. Испытания следует проводить при нескольких уровнях содержания примесей, чтобы определить максимальный уровень содержания примесей в топливе, который не влияет на рабочие характеристики элемента.

11.15.1.2.2 Методика испытаний

Необходимо определить вольт-амперную характеристику, используя чистое топливо и чистый воздух при постоянной скорости потока газа или при постоянной электрохимической стехиометрии реагентов, используя способ, который указан в 11.2.1 или 11.2.2.

Следует заменить чистое топливо на топливо, содержащее примеси и произвести регистрацию вольт-амперных характеристик элемента с помощью методики, которая использовалась при предыдущей оценке параметров.

11.15.2 Проверка влияния примесей, содержащихся в окислителе

11.15.2.1 Влияние состава окислителя, содержащего примеси, и восстановление элемента при номинальной плотности тока

11.15.2.1.1 Общие положения

Цель испытания — определение при номинальной плотности тока влияния примесей, содержащихся в окислителе, на рабочие характеристики элемента и степень восстановления элемента после ухудшения рабочих характеристик. Элемент подвергается постоянным испытаниям и функционирует с использованием окислителя, содержащего некоторое количество примесей.

11.15.2.1.2 Методика испытаний

Данные испытания проводят при нескольких уровнях содержания примесей в окислителе, чтобы определить наивысший уровень содержания примесей, который не влияет на рабочие характеристики элемента.

Процедуры испытания приведены ниже. Необходимо выдержать режим работы элемента при номинальной плотности тока с использованием чистого топлива и чистого воздуха до тех пор, пока напряжение не стабилизируется в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин.

Следует заменить чистый воздух на воздух, содержащий примеси в количествах, указанных производителем элемента, обеспечить условия работы элемента до стабилизации напряжения в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин и провести регистрацию напряжения. Затем необходимо заменить воздух, содержащий примеси, на чистый воздух, выдержать режим работы элемента до стабилизации напряжения в пределах ± 5 мВ на протяжении 15 мин и провести регистрацию напряжения.

11.15.2.2 Вольт-амперная характеристика при использовании воздуха, содержащего примеси

11.15.2.2.1 Общие положения

Цель испытания — определение влияния примесей, содержащихся в воздухе, на вольт-амперную характеристику элемент.

11.15.2.2.2 Методика испытаний

Данные испытания проводят на нескольких уровнях содержания примесей, чтобы определить наивысший уровень содержания примесей в воздухе, который не влияет на рабочие характеристики элемента. Процедуры испытания приведены ниже.

Необходимо определить вольт-амперную характеристику, используя чистое топливо и чистый воздух при постоянных скоростях потока газа и окислителя или при постоянной электрохимической стехиометрии реагентов с помощью способа, указанного в 11.2.1 или 11.2.2.

Следует заменить чистый воздух на воздух, содержащий примеси. Определение вольт-амперной характеристики элемента проводят с использованием способа, который применялся при предыдущем определении характеристики.

12 Протокол испытаний

12.1 Общие положения

Протокол (отчет) испытаний должен точно, ясно и объективно отражать информацию о том, что все цели испытания были достигнуты в полном объеме. Предлагаемый образец протокола (отчета) испытаний для проверки вольт-амперной характеристики приведен в приложении J.

12.2 Пункты протокола испытаний

Протокол испытаний должен содержать, как минимум, следующую информацию:
a) наименование протокола;
b) сведения о лицах составивших протокол;
c) сведения об организации, проводящей испытание(я);
d) дата протокола;
e) номер стандарта/номер процедуры испытаний;
f) место проведения испытания;
g) данные испытаний (подробная информация представлена в 12.3).

12.3 Описание данных испытаний

Данные испытаний должны содержать следующую информацию:
a) наименование испытания(й);
b) условия измерений (подробная информация представлена в 12.4);
c) результаты измерений;
d) дата и время проведения испытания(й);
e) условия окружающей среды;
f) имя и квалификация лица (лиц), проводящего(их) испытание;
g) данные об элементе, проходящем испытание (подробная информация представлена в 12.5).

12.4 Описание условий измерений

Описание условий измерений должно содержать, как минимум, следующую информацию:
a) температура элемента;
b) давления топлива и окислителя;
c) точки росы топлива и окислителя;
d) состав топлива и окислителя;
e) электрохимическая стехиометрия топлива и окислителя;
f) расходы топлива и окислителя.

12.5 Описание данных об элементе

Данные о топливном элементе должны содержать следующую информацию:
a) активная площадь электрода;
b) наименование продукции и торговое название МЭБ (необязательная информация);
c) тип и толщина мембраны (необязательная информация);
d) тип и количественные характеристики катализаторов анода и катода (необязательная информация);
e) тип контура газового канала (необязательная информация);
f) тип материала газодиффузионного слоя (необязательная информация),
g) стягивающее давление (необязательная информация).

Приложение А
(справочное)

Пластина газораспределительная

На рисунке А.1 показан типовой пример конструкции газораспределительной пластины. Пример конструкции соответствует активной площади 25 см^2. Анодная и катодная газораспределительные пластины контактируют с МЭБ, имеют горизонтальный одиночный извилистый желоб в качестве канала для движения газа. Рекомендуется следующая геометрия канала:

- ширина: 1,0 мм;
- глубина: 1,0 мм;
- интервал: ~1,0 мм.

Размер пластины — 50 мм × 50 мм должен быть немного меньше, чем размер электродов и газодиффузионных слоев, чтобы предотвратить нежелательную деформацию кромки мембраны. Необходимо использовать процедуру сборки, которая исключает прямой контакт мембраны и кромки канала.

Топливо и окислитель должны двигаться от верхней части канала к нижней части.

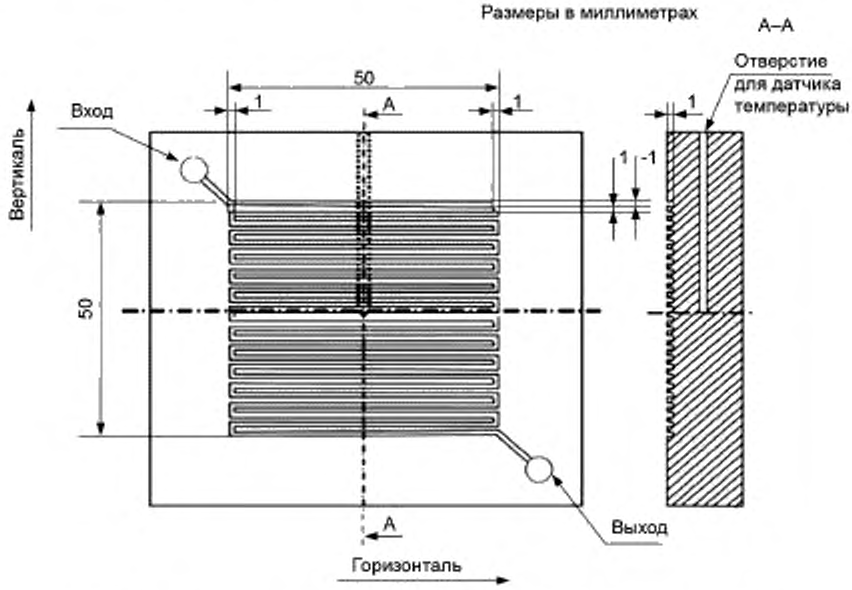

Рисунок А.1 — Конструкция газораспределительной пластины (одиночный извилистый канал)

На рисунке А.2 показан другой пример конструкции газораспределительной пластины. Этот образец конструкции предназначен для активной площади 25 см^2. Различие между рисунками А.1 и А.2 заключается в том, что на рисунке А.1 представлен одиночный извилистый канал, а на рисунке А.2 — тройной извилистый канал.

Размеры в миллиметрах

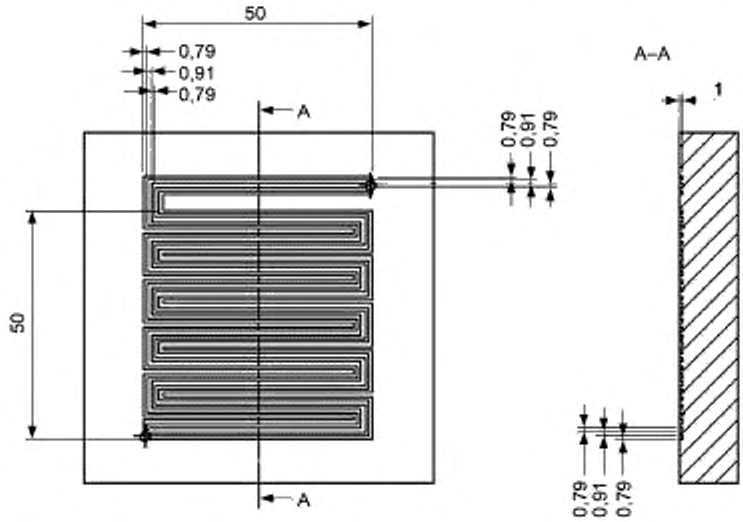

Рисунок А.2 — Конструкция газораспределительной пластины (тройной извилистый канал)

Приложение В
(справочное)

Расположение компонентов элемента

На рисунке В.1 показана сборка единичного элемента из типовых компонентов; эти компоненты прижаты друг к другу с помощью болтов и гаек. При необходимости для предотвращения откручивания на болтах могут устанавливаться пружинные шайбы или пружинные диски.

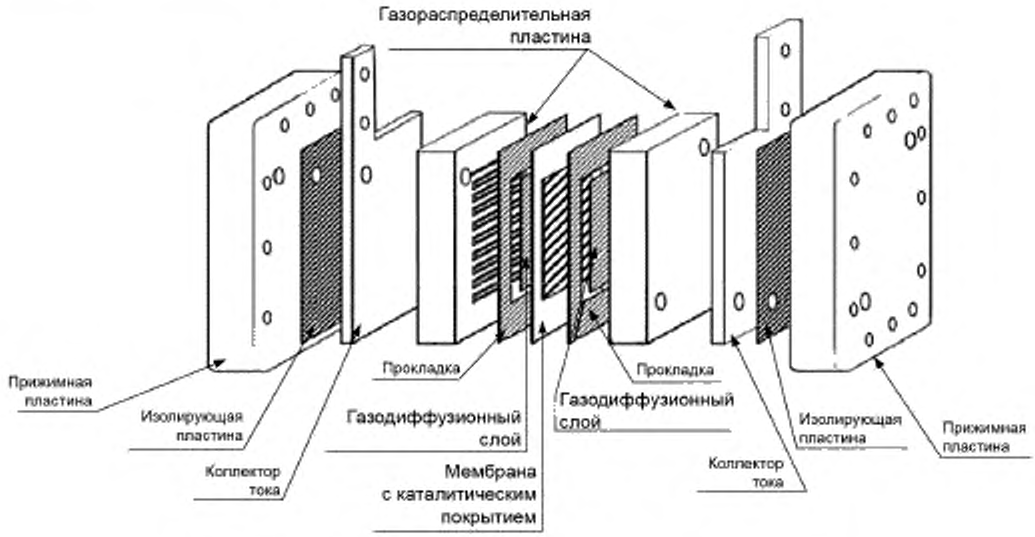

Рисунок В.1 — Сборка единичного элемента из типовых компонентов

Приложение С
(справочное)

Проверка герметичности

Ниже описаны типовые рабочие процедуры, связанные с проверкой герметичности.

a) Методика 1

В процессе проверки следует подать азот в анодную и катодную полости элемента и установить значение небольшого избыточного давления свыше 0 кПа, затем перекрыть выпускные клапаны анодных и катодных газов. Далее необходимо повысить давление одновременно в анодной полости до 50 кПа (или 150 % максимального рабочего давления) и в катодной полости до 30 кПа (или 125 % максимального рабочего давления). Перекрывая впускные клапаны анодных и катодных газов, необходимо изолировать газы в элементе. Выдерживая элемент в таком состоянии в течение 10 мин, контролируется давление в анодной и катодной полостях соответственно. На следующем этапе проверки повышается давление одновременно в катодной полости до 50 кПа (или 150% максимального рабочего давления) и уменьшается давление в анодной полости до 30 кПа (или 125 % максимального рабочего давления). Перекрывая впускные клапаны анодных и катодных газов, необходимо изолировать газы в элементе. Выдерживая элемент в таком состоянии в течение 10 мин, контролируют давление в анодной и катодной полостях соответственно. При выполнении проведенных процедур изменение давления в анодной и катодной полостях после 10 мин не должно превышать 5 кПа. Если в анодной полости при выполнении первого шага давление падает, а давление в катодной возрастает, то происходит перетекание газа через мембрану. При выполнении второго шага проверки, если падает давление в катодной полости, а анодной давление растет, то происходит перетекание газа через мембрану в противоположном направлении. Если давление в одной из полостей падает независимо от давления в другой, то происходит утечка за пределы элемента. Если падают давления в обеих полостях, то есть вероятность наличия внешней утечки.

b) Методика 2

В процессе проверки следует подать азот в анодную и катодную полости элемента и установить значение небольшого избыточного давления выше 0 кПа, затем перекрыть выпускные клапаны анодных и катодных газов. Далее необходимо повысить давление одновременно в анодной и катодной полостях до 30 кПа и закрыть впускные клапаны анодных и катодных газов, чтобы изолировать газ в элементе. Выдержав элемент в этом состоянии в течение 10 мин, контролируют давление в анодной и катодной полостях, соответственно. Результат эксперимента регистрируют в протоколе испытаний.

Затем создают давление в анодной полости 30 кПа, а в катодной линии 0 кПа (избыточное). Перекрывая впускные клапаны анодных и катодных газов, необходимо изолировать газы в элементе. Выдерживая элемент в этом состоянии в течение 10 мин, контролируют давление в анодной и катодной полостях. Результат эксперимента регистрируют в протоколе испытаний.

На следующем этапе создают давление в катодной полости 30 кПа и давление в анодной полости 0 кПа (избыточное). Перекрывая впускные клапаны анодных и катодных газов, необходимо изолировать газы в элементе. Выдерживая элемент в этом состоянии в течение 10 мин, контролируют давление в анодной и катодной полостях. Результат, отражающий перетекание газа из катодной полости в анодную, отражают в протоколе испытаний.

При выполнении приведенных выше процедур падение давления в анодной и катодной полостях через 10 мин не должно превышать 5 кПа.

Если элемент эксплуатируют при более высоких давлениях, испытательное давление должно быть приблизительно эквивалентным.

Приложение D
(справочное)

Первоначальное приведение единичного элемента в рабочее состояние

В качестве процедур первоначального приведения единичного элемента в рабочее состояние, предложенного поставщиком МЭБ, предлагается четыре примера:

a) процедура A:

1) настройка стенда для работы элемента,

2) продувка анода и катода продувочным газом (например, азотом). Процедуры продувки осуществляется по типовой методике, применяемой при подготовке элемента к испытаниям,

3) нагрев элемента до 80 °С, используя нагреватель элемента или другие подходящие способы нагрева ввод увлажненного азота. Процедуры продувки осуществляют по типовой методике, применяемой при подготовке элемента к испытаниям,

4) чтобы предотвратить конденсацию воды в системе, в момент разогрева следует поддерживать температуру элемента, впускных и выпускных газовых трубопроводов выше точки росы газа,

5) выдержка температурного режима элемента и влажности газа до стабилизации. Необходимо ввести увлажненные газы реагенты с соответствующим значением электрохимической стехиометрии, например, 1,4 для водорода и 2,5 для воздуха при плотности тока 1000 мА/см^2. Постепенно следует повышать нагрузку, поддерживая напряжение элемента свыше 0,4 В, до тех пор, пока плотность тока не достигнет 1000 мА/см^2,

6) следует выдержать нагрузку (плотность тока) 1000 мА/см^2 с значением электрохимической стехиометрии 1,4 для H_2 и 2,5 — для воздуха до тех пор, пока колебания напряжения элемента не установятся на уровне менее 5 мВ на протяжении 5 ч. Выполнение данного критерия свидетельствует о завершении подготовки элемента;

b) процедура B:

при номинальных рабочих условиях, используемых во время последующих испытаний, необходимо обеспечить работу элемента на чистом водороде при напряжении разомкнутой цепи в течение 15 мин, при 600 мВ — в течение 75 мин, затем выполнить три цикла, состоящие из работы элемента при 850 мВ в течение 20 мин и при 600 мВ — в течение 30 мин. Общее время приведения в рабочее состояние составляет приблизительно 4 ч;

c) процедура C:

при настройке стенда для работы элемента задаются номинальные рабочие условия, которые будут использоваться во время последующих испытаний. В режиме стабилизации напряжения выдерживается элемент при напряжении 500 мВ в течение 5 мин и выполняется цикл *I/V* при постоянных расходах газов и изменении напряжения от 800 до 300 мВ и обратно от 300 до 800 мВ с шагом 50 мВ при продолжительности каждого шага 10 с. Следует выдержать режим работы элемента при напряжении 500 мВ в течение 5 мин. Необходимо выполнять цикл до тех пор, пока колебания плотности тока при 500 мВ не будут в пределах диапазона ± 10 мА/см^2 в течение 5 мин, а отклонения плотности тока за три последующих цикла будут в пределах ± 10 мА/см^2;

d) процедура D:

необходимо поддерживать элемент в гальваностатическом режиме при выбранной рабочей температуре и при параметрах газов, указанных в стандартных условиях испытаний. Следует повышать плотность тока с шагом 100 мА/см^2 или при скорости не более 10 мА/см^2 в с, поддерживая напряжение элемента более 500 мВ до тех пор, пока не будет достигнута плотность тока, указанная для приведения в рабочее состояние. Плотность тока при приведении элемента в рабочее состояние будет соответствовать либо максимальному значению тока, возможному в выбранных условиях при 500 мВ, либо плотности тока, определенной для конкретной цели испытания.

Этап приведения в рабочее состояние должен продолжаться не менее 24 ч при колебании напряжения элемента менее ± 5 мВ за последний час, предшествующий началу испытания.

Приложение E
(справочное)

Останов

Ниже описан типовой алгоритм останова.

a) Необходимо снижать электрическую нагрузку до значений, соответствующих, в обратном порядке, шагам кривой поляризации (т. е. уменьшайте плотность тока от i_{max} до 0, поддерживая расходы газов) с последующим ее отключением.

b) Следует выполнять продувку анода и катода увлажненным азотом при расходах, соответствующих минимальной нагрузке кривой поляризации до тех пор, пока элемент не охладится до температуры окружающей среды. Чтобы предотвратить конденсацию воды в системе во время охлаждения, необходимо поддерживать температуру элемента и газовых трубопроводов выше, чем точка росы в данный момент времени.

c) После того, как элемент достигнет температуры окружающей среды, в линии анода и катода в течение от 5 до 10 мин следует подавать сухой азот (этот шаг не является обязательным и зависит от конечного уровня требуемого увлажнения мембраны).

d) На завершающем этапе элемент отключается, входы и выходы анода и катода плотно закрываются заглушками.

Приложение F
(справочное)

Повторное приведение в рабочее состояние единичного элемента

Типовые процедуры повторного приведения в рабочее состояние единичного элемента могут иметь следующую последовательность:

a) процедура A:

1) следует повторить шаги с 1) по 5) процедуры A приложения D. Для шага 5) стабилизацию состояния элемента достаточно проводить в течение 1 ч,

2) необходимо установить параметры испытания, которые будут проводиться, и условия их стабилизации;

b) процедура B:

1) подаются увлажненные газы при стехиометриях водорода 1,4 и окислителя 2,5 через элемент в течение 1 ч при нагреве до 80 °C и плотности тока 400 мА/см^2.

2) следует поддерживать элемент в этих условиях в течение 4 ч. Можно считать топливный элемент приведенным в рабочее состояние, если напряжение стабилизировалось.

Приложение G
(справочное)

Проверка вольт-амперной характеристики

Типовой пример приращения плотности тока, используемый при проверке вольт-амперной характеристики, приведен ниже. Если ожидаемая максимальная плотность тока известна (величина указана производителем или получена в ходе предыдущих измерений), следует выбрать шаги изменения тока из таблицы 1.

Таблица G.1 — Приращения плотности тока, если известна максимальная плотность

Шаг	Доля ожидаемой максимальной плотности тока
0	0 (OCV)
1	2 %
2	5 %
3	10 %
4	20 %
5	30 %
6	50 %
7	70 %
8	90 %
9	100 %
Примечание — Может потребоваться больше точек при низких токах, если необходимо провести анализ с использованием уравнения Тафеля.	

Если максимальная плотность тока неизвестна, следует использовать приращения тока, приведенные в таблице G.2.

Таблица G.2 — Приращения плотности тока, если максимальная плотность тока неизвестна

Шаг	Плотность тока (мА/см ^{2})
0	0 (OCV)
1	20
2	50
3	100
4	200
5	400
6	600
7	800
8	1000
9	1200
10	1400
11	1600
12	1800
13	2000
Примечание — Испытание должно прекращаться, если достигнута максимальная плотность тока, если напряжение элемента становится ниже 0,3 В или минимального значения напряжения, рекомендованного производителем (для того, чтобы избежать необратимого повреждения компонентов элемента).	

Приложение Н
(справочное)

Выполнение циклов пуск/останов

Ниже представлен типовой профиль цикла пуск/останов и указана его продолжительность.

Цикл имеет следующие параметры:

a) фаза «выключено» — 15 мин при 0 А/см^2;

b) фаза «включено» — 15 мин при i_{st} А/см^2 (i_{st} — номинальная плотность тока).

Чтобы предотвратить значительное падение напряжения, рекомендуется пошаговое увеличение плотности тока. Ток должен увеличиваться от 0 до i_{st} за четыре шага по 10 с, при увеличении тока на i_{st} /4 на каждом шаге:

a) ¼ i_{st} А/см^2 в течение 10 с;

b) ½ i_{st} А/см^2 в течение 10 с;

c) ¾ i_{st} А/см^2 в течение 10 с;

d) i_{st} А/см^2 в течение 14 мин 30 с.

Продолжительность шага зависит от цели испытания и критерия «завершения» испытания, соответствующего установленному сроку службы или установленному уровню ухудшения рабочих параметров (мощность, напряжение на нагрузке или напряжение разомкнутой цепи).

Кроме определенных возможных критериев завершения испытания, оно должно быть прекращено (регуляторы расходов газов и температуры и нагрузка должны быть выключены) в случае, если напряжение элемента становится ниже 0,3 В или минимального значения, рекомендованной производителем (для того, чтобы избежать необратимого повреждения компонентов элемента).

Приложение I
(справочное)

Испытание на циклическое изменение нагрузки

Ниже приведен типовой профиль циклов нагрузки и указана его продолжительность испытания.

Предложены два профиля, которые позволяют единичному элементу работать между двумя уровнями плотности тока: один более динамичный продолжительностью 1 мин и другой — менее динамичный продолжительностью 1 ч.

Плотность тока устанавливается на уровне $i_{100\ \%}$ (номинальная плотность тока) для первой фазы высокой мощности для стабилизации рабочих условий до начала фазы выполнения циклов. Затем должны быть выполнены циклы изменения нагрузки с одним из двух профилей плотности тока, показанных на рисунках I.1 и I.2.

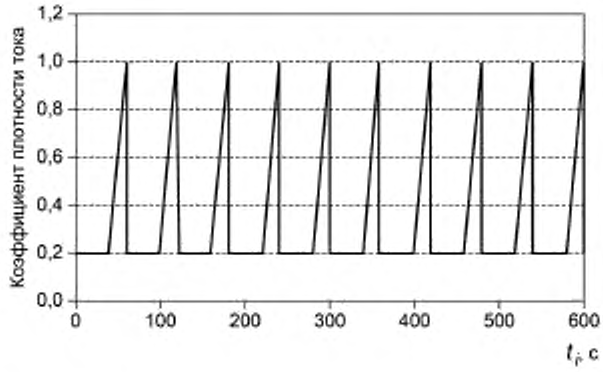

Рисунок I.1 — Первый профиль циклического изменения нагрузки

Профиль разделен на два участка: фаза низкой плотности тока — 40 с при $I_{20\ \%}$ А/см^2 ($i_{20\ \%}$: 20 % от плотности тока $i_{100\ \%}$); и фаза высокой плотности тока — 20 с при увеличении i от $i_{20\ \%}$ до $i_{100\ \%}$ А/см^2.

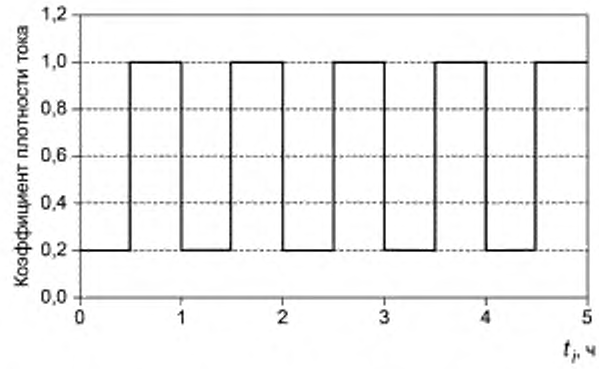

Рисунок I.2 — Второй профиль циклического изменения нагрузки

Профиль разделен на два участка: фаза низкой плотности тока — ½ часа при $i_{20\ \%}$ А/см^2 ($i_{20\ \%}$: 20 % плотности тока $i_{100\ \%}$) и фаза высокой плотности тока — ½ часа при $i_{100\ \%}$ А/см^2.

Часы работы могут устанавливаться в диапазоне от 500 до 10000 ч в зависимости от рабочих условий и конкретной области применения.

Кроме фиксированной продолжительности эксплуатации, могут быть определены другие конкретные критерии завершения испытания, такие как допустимые потери заданных рабочих параметров (учет мощности или напряжения при низкой или высокой мощности или напряжения разомкнутой цепи).

Кроме явно определенных критериев завершения, испытание должно быть прекращено (выключены подача газов, нагрев и отключена нагрузка), если напряжение элемента снижается ниже 0,3 В или минимального значения, рекомендованного производителем (для того, чтобы избежать необратимого повреждения компонентов элемента).

Приложение J
(справочное)

Протоколы испытаний

Ниже приведен предлагаемый образец протокола испытаний для проверки вольт-амперных характеристик. Инструкции для автора выделены курсивом и не должны включаться в текст протокола испытания.

J.1 Общая информация

J.1.1 Общая информация протокола испытаний

Указатель/идентификатор протокола испытаний	
Название протокола испытаний	
Авторы	

J.1.2 Общая информация об испытании

Номер испытания	
Вариант испытания	
Компания, запрашивающая проведение испытания	
Номер запроса о проведении испытания	

Дата проведения испытания	
Компания, проводящая испытания	
Место проведения испытания	
Испытуемый элемент/оборудование	

J.2 Введение

Авторам следует указать:

- применяемую методику и, если необходимо, причину выбора этой методики,

- план испытаний, принятый организацией, проводящей испытания, и заказчиком, который может также включать критерии приемки, и

- сведения любой другой документации, используемой в протоколе или при проведении испытаний (документ с терминологией, документ, обеспечивающий соответствие обозначений и т. д.).

J.3 Цель и объем испытания

Цель — определение поляризационной характеристики единичного элемента ТЭПЭ, работающего при определенных рабочих условиях.

Рабочие параметры элемента измеряются в диапазоне от напряжения разомкнутой цепи до наибольшей плотности тока, которая определяется:

- свойствами объекта испытаний,

- техническими требованиями для рассматриваемой области применения,

- методом измерений.

Цель испытания — определение количественных характеристик:

- общих рабочих параметров единичного топливного элемента с полимерным электролитом,

- компонентов ТЭПЭ, таких как МЭБ или его подкомпонентов, материалов или конструкции биполярной пластины.

Рассматриваемые рабочие условия для этого испытания соответствуют:

- современным условиям, используемым членами научного сообщества,

- рассматриваемой области применения.

J.4 Описание объекта испытаний

Производитель элемента	
Технология топливных элементов	
Модель элемента	
Результат или цель испытаний	
Номер изделия	
Идентификационный номер объекта испытаний	

Топливный элемент: материал монополярных пластин/технология	
Топливный элемент: конструкция пластины газораспределения	
Топливный элемент: активная площадь	
Тип прокладки	
Толщина прокладки	
Особенность конструкции элемента (коллекторы)	
Затяжка элемента	
Система нагрева/охлаждения	
Пространственная ориентация [a]	
Направление течения газа (попутное течение, противоток и т.д.)	
[a] Если необходимо, может быть включен в состав протокола чертеж.	

Сборка МЭБ (да/нет, из трех слоев, из пяти слоев, из семи слоев)	
Электроды	
Газодиффузионные слои (толщина, тип)	
Слои катализатора (загрузка, состав)	
Мембрана (толщина, тип)	

Наименьшее допустимое напряжение элемента, В	
Допустимый перепад давления между анодом и катодом, кПа	
Рекомендации производителя по стехиометрии для воздуха	

Дополнительные замечания или информация от производителя об элементе или МЭБ.

J.5 Состояние объекта испытаний

Описывается история испытаний элемента с кратким описанием всех диагностических экспериментов, специфических или базовых экспериментов и их соответствующих идентификаторов в последовательном порядке.

J.6 Описание испытательной установки

Для лучшего понимания результатов испытаний в протоколе испытаний должно быть приведено подробное описание используемого испытательного оборудования и его размещения, включая описание типов и местоположений датчиков и отдельных устройств (например, подсистем нагрева/охлаждения и увлажнения).

J.7 Описание рабочих условий, входных и выходных параметров

В таблицах J.1—J.4 приведены все тестовые процедуры, значения воздействий и рабочие условия испытаний, которые контролировались во время данного испытания с погрешностями измерений и частотами выборки. *Персонал, проводящий эксперимент, для каждого испытания заполняет колонку значений воздействий.*

Таблица J.1 — Входные параметры испытаний

Входной параметр	Описание	Единица измерения	Значение воздействия	Погрешность измерения	Частота выборки, Гц	Контроль точности
i	Плотность тока (i = приложенный ток / активная геометрическая площадь)	А/см$^{-2}$				
T_c	Температура элемента	°С				
$X_{топлива}$	Состав топлива	% H_2; % прочих газов				
$X_{окисл.}$	Состав окислителя	Воздух или O_2; % прочих газов				
$p_{возд.}$	Противодавление давление окислителя на входе или выходе[c] элемента	кПа				
p_{H_2}	Противодавление давление топлива на входе или выходе[c] элемента	кПа				
$Q_{топл.}$	Расход топлива[a]	макс. ($Q_{топл.,мин.}$, $Q_{Δтопл.}$) или постоянная величина, см^3 / мин$^{-1}$				
$Q_{окисл.}$	Расход окислителя[a]	макс. ($Q_{ок.,мин}$,$Q_{Δок.}$) или постоянная величина, см^3/мин				
$Q_{топл.,мин.}$	Минимальный расход топлива	см^3/мин				
$Q_{окисл.,мин.}$	Минимальный расход окислителя	см^3/мин				
$λ_{топл.}$	Стехиометрия топлива	Безразмерная величина				
$λ_{окисл.}$	Стехиометрия воздуха	Безразмерная величина				
$RH_{окисл}$	Относительная влажность окислителя на входе[b]	%				
$RH_{топл.}$	Относительная влажность топлива на входе[b]	%				
$T_{окисл.}$	Точка росы окислителя	°С				
$T_{топл.}$	Точка росы топлива	°С				
$Tb_{окисл.}$	Температура барботированного окислителя	°С				

Окончание таблицы J.1

Входной параметр	Описание	Единица измерения	Значение воздействия	Погрешность измерения	Частота выборки, Гц	Контроль точности
$Tb_{топл.}$	Температура барботированного топлива	°С				
$Tl_{окисл.}$	Температура полости окислителя	°С				
$Tl_{топл.}$	Температура полости топлива	°С				
$Qw_{окисл.}$	Расход воды (Сторона окислителя)	макс. ($Qw_{окисл., мин.}$, $Qw_{\lambda окисл.}$), $см^3$/мин				
$Qw_{топл.}$	Расход воды (Сторона топлива)	макс. ($Qw_{отопл.,мин.}$, $Qw_{\lambda топл.}$), $см^3\ мин^{-1}$				
$T_{окруж.}$	Температура окружающей среды	°С				
$P_{окруж.}$	Давление окружающей среды	кПа				
$RH_{окруж.}$	Относительная влажность окружающей среды	%				

[a] $Q_{\lambda топл.}$ и $Q_{\lambda окисл.}$ являются управляемыми параметрами расходами топлива и окислителя, соответственно. Реальные объемные расходы, используемые во время испытания, ограничивают значение минимальных расходов: $Q_{топл., мин}$ и $Q_{окисл., мин}$.

[b] Способ увлажнения реагентов не определяется в методике испытаний. Однако этот способ должен описываться в протоколе испытаний в качестве соответствующих входных параметров (например, указывается температура воды и магистралей в случае использования барботирующих устройств или расход воды в случае использования инжекторов). В протоколе испытаний следует указать точки росы, соответствующие относительной влажности газов (вычисленные или измеренные, если на входе газов имеются датчики влажности).

[c] Указывается в протоколе испытаний, какой вариант методики был выбран и какое давление элемента поддерживалось на постоянном уровне — входное или выходное.

Таблица J.2 — Выходные параметры испытаний

Выходной параметр	Описание	Единицы измерений	Погрешность измерительного средства	Частота выборки, Гц
V	Напряжение элемента	В		
P	Удельная мощность элемента	$Вт/см^2$	Вычисляется	

J.8 Методика и результаты испытаний

J.8.1 Описание этапов пуска и предварительного приведения в рабочее состояние

- описание настройки;

- измерения (описание, таблицы или графики с входными и выходными параметрами этапов).

Таблица J.3 — Функциональные рабочие характеристики до этапа определения характеристик (пуск и приведения в рабочее состояние)

Время выдержки, мин	Плотность тока $А/см^2$	Среднее напряжение элемента в течение последних XX мин (В). Стандартное отклонение (± В)	Средняя плотность мощности элемента, $Вт/см^2$

графики: для лучшего понимания основных результатов следует включить графики изменения во времени основных входных и выходных параметров при пуске и приведении в рабочее состояние.

Для кривой поляризации: i, V, T_C, $p_{окисл.}$, $p_{топл.}$, $Q_{окисл.}$, $Q_{топл.}$, $RH_{окисл.}$ и $RH_{топлива}$ (или входные параметры, связанные с RH) = f (время), используются средние значения и указываются стандартные отклонения.

J.8.2 Описание этапа и результатов измерения:

- настройка параметров испытаний (начальные входные параметры испытаний), если выполняется дополнительная операция после операции приведения в рабочее состояние и перед настройкой условий для напряжения разомкнутой цепи;

- причина завершения этапа определения характеристик;

- измерения (описание, таблицы или графики с входными и выходными параметрами во время измерения) (например, таблица с временем выдержки, плотностью тока, напряжением и мощностью для кривой поляризации).

Таблица J.4 — Функциональные рабочие характеристики в течение этапа поляризации [a]

Время выдержки, мин	Плотность тока, $А/см^2$	Среднее напряжение элемента, В (при стандартных отклонениях ± 2 [a], В)	Средняя мощность элемента, $Вт/см^2$ (при стандартных отклонениях ± 2[a], $Вт/см^2$)
[a] Предполагается, что должна оцениваться общая неопределенность измерений. Руководство по оценке неопределенности измерений содержится в Руководстве ИСО/МЭК 98-3 (ISO/IEC Guide 98-3).			

графики:

- для лучшего понимания основных результатов испытаний следует включить графики изменения основных входных и выходных параметров относительно времени этапа определения характеристик.

Для кривой поляризации: i, V, T_C, $p_{окисл.}$, $p_{топл.}$, $Q_{окисл.}$, $Q_{топл.}$, $RH_{окисл.}$ и $RH_{топлива}$ (или входные параметры, связанные с RH) = f (время);

- основные результаты — основные выходные параметры относительно основных входных параметров.

Для кривой поляризации: V (В) и P ($Вт/см^2$) = f (i ($А/см^{-2}$)).

J.8.3 Описание останова (если необходимо)

J.8.4 Отклонения от методики

J.9 Последующая обработка данных

Описывается отдельно, если необходимо для применяемой методики.

Для кривой поляризации может не потребоваться ничего, кроме уже описанных таблиц и графиков (графиков и таблиц, уже включающих изменение напряжения и вычисление плотности мощности).

J.10 Заключение и критерии приемки

В настоящем разделе должны быть даны комментарии для результатов испытания с учетом цели данного испытания и критерии приемки, если они были определены.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных документов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC/TS 62282-1:2010	—	*
ISO/TS 14687-2:2008	—	*
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует.		

Библиография

[1] IEC 60051-1, Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 1: Definitions and general requirements common to all parts

[2] IEC 60051-2, Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters

[3] IEC 60688, Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals

[4] IEC 61882:2001, Hazard and operability studies (HAZOP studies) — Application guide

[5] ISO 14121-1:2007, Safety of machinery — Risk assessment — Part 1: Principles

[6] ISO 4677-1, Atmospheres for conditioning and testing — Determination of relative humidity — Part 1: Aspirated psychrometer method

[7] ISO 4677-2, Atmospheres for conditioning and testing — Determination of relative humidity — Part 2: Whirling psychrometer method

[8] ISO 5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements

[9] ISO 5167-2, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates

[10] ISO 5167-3, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 3: Nozzles and Venturi nozzles.

[11] ISO 5167-4, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 4: Venturi tubes.

[12] ISO/TR 15916:2004, Basic considerations for the safety of hydrogen systems

[13] ISO/IEC Guide 98-3:1998, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

[14] FCTESTNET, Fuel Cells Glossary, EUR22295 EN (June 2006)

[15] USFCC 05-014B, Single Cell Test Protocol, May 1, 2006

[16] USFCC 04-003, Protocol on Fuel Cell Component Testing — Primer for Generating Test Plans

[17] USFCC 04-007, Protocol on Fuel Cell Component Testing

[18] USFCC 04-011, Fuel Cell Test Station Requirements and Verification Procedure

[19] USFCC 05-002, Protocol on Fuel Cell Component Testing: Suggested Test Plan

[20] FCTESTNET, PEFC, Test procedures, DRAFT Version1.0, June, 2006

[21] JARI Standard Single Cell Testing Protocol, JARI Research Journal, Vol.28, No.7, p247-252, 2006

[22] Fuel Cell Handbook (7th Ed.), EG&G Technical Services, US DOE Report, 2004

[23] TAYLOR, B. N., and KUYATT, C. E., 1994, "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results," National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1297

УДК 620.93: 006.354 МКС 27.070 ОКП 31 1000 IDT

Ключевые слова: технологии топливных элементов, топливный элемент, единичный элемент, водород, методы испытания

БЗ 8—2016/81

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *А.А. Ворониной*

Сдано в набор 02.08.2017. Подписано в печать 11.08.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,63. Тираж 22 экз. Зак 1426.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru