ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70683— 2023

Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах

СИСТЕМЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Методы испытаний

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 сентября 2023 г. № 983-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах

СИСТЕМЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Методы испытаний

Motor vehicles with hydrogen fuel cells. Fuel cell systems. Test methods

Дата введения — 2024—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний системы топливных элементов (СТЭ) с выходом постоянного тока, разработанных для применения на автомобильных транспортных средствах на водородных топливных элементах (далее — ТС).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ Р 70679 Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах. Порядок обеспечения общей безопасности

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

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 70678, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **участники испытания** (testing parties): Юридические лица, заинтересованные в применяемых методах и результатах, полученных при эксплуатационных испытаниях СТЭ.

Примечание — Участниками испытаний могут быть изготовитель изделия, испытательный центр и/или орган по сертификации и т. д.

Издание официальное

3.1.2 **оператор(ы) испытания/персонал** (test operator(s)/personnel): Лицо или группа лиц, ответственных за непосредственное администрирование и применение процедуры испытаний к испытуемому изделию.

3.1.3 **испытательное оборудование** (test facility): Инженерные коммуникации, предназначенные для испытания эксплуатационных характеристик системы топливных элементов.

Примечание — Испытательное оборудование включает вентиляцию, системы подачи реагентов, вспомогательные системы охлаждения, системы сбора данных, устройство имитации нагрузки и дополнительные устройства снижения опасности.

3.1.4 **топливная система** (fuel supply system): Совокупность компонентов для хранения и подачи топлива в СТЭ.

Примечание — Топливная система состоит из сосуда повышенного давления для хранения водорода и соответствующего оборудования для регулирования давления, предохранительных устройств и контрольно-измерительных приборов. Примером системы подачи топлива является бак, насос и трубопровод, используемые для хранения и подачи топлива. Система подачи топлива заканчивается в точке, где топливо сначала подвергается реакции, затем очищается от загрязняющих веществ или далее смешивается с любым другим потоком системы топливных элементов.

3.1.5 **система подготовки топлива** (fuel processing system): Совокупность компонентов, которые химически или физически преобразуют подаваемое топливо в форму, пригодную для использования в системе батареи топливных элементов.

Примечание — Система подготовки топлива может включать реакторную камеру, теплообменники и средства управления, используемые для преобразования углеводородного топлива в поток с высоким содержанием водорода, известного как процесс риформинга. В системе топливных элементов, работающих на водороде, система подготовки топлива может включать компоненты регулирования давления, увлажнения и смешивания. Система подготовки топлива также может называться системой обработки топлива.

3.1.6 **система преобразования электроэнергии** (power conditioning system): Совокупность компонентов, преобразующих энергию, вырабатываемую СТЭ, в энергию, пригодную для использования в транспортных средствах.

Примечание — Система преобразования электроэнергии может включать регуляторы напряжения (DC/DC) и/или преобразователи (DC/AC), которые обеспечивают проведение энергии между СТЭ и нагрузками ТС.

3.1.7 **система управления топливными элементами** (fuel cell control system): Система, которая отслеживает состояние системы топливных элементов и автоматически реагирует на подачу питания на транспортное средство, предотвращая при этом опасные условия и повреждение системы топливных элементов.

Примечание — Система включает в себя микропроцессорное устройство с функциями ввода и вывода и может обеспечивать функцию диагностики или устранения неполадок.

3.1.8 **система управления транспортным средством;** СУТС (vehicle control system, VCS): Система, регулирующая работу ТС в ответ на требования водителя и состояние систем ТС.

3.1.9 **система нагрузки** (load system): Система, используемая для приложения электрической нагрузки к топливному элементу.

Примечание — Система нагрузки также может называться нагрузочным блоком. Система нагрузки обычно позволяет пользователю устанавливать нагрузку в виде тока (Ампер) или уровня мощности (кВт). Система нагрузки может быть резистивной или индуктивной. Более сложные системы позволяют устанавливать напряжение (В) постоянного или переменного тока и программировать заданные значения в зависимости от времени. В то время как при общих испытаниях производительности система нагрузки служит приемником электроэнергии, ее также можно использовать для подачи тока на топливный элемент в целях диагностики и кондиционирования.

3.1.10 **нормальные условия** (reference conditions): Значения всех внешних параметров, т. е. параметров вне испытания, на которые корректируют результаты испытания.

Примечание — Указанные параметры подачи или отвода вторичного тепла рассчитывают относительно исходных условий:

температура:	15 °С (288,15 К, 59 °F);
давление:	101325 Па (101,325 кПа, 1 атмосфера);
воздух:	относительная влажность 60 % (0,006 кг H_2O/кг сухой воздух) при 15 °С.

Вышеуказанные условия также известны как номинальные дневные условия. Для облегчения сравнения различных СТЭ в различных условиях окружающей среды предусмотрены следующие дополнительные эталонные условия для проведения испытаний и представления результатов при условиях, отличных от номинальных.

	Морозный день	Холодный день	Теплый день
Температура	–20 °С	5 °С	40 °С
Давление	101,3 кПа	101,3 кПа	90,0 Па
Воздух	0 % RH при 20 °С	0 % RH при 5 °С	0 % RH при 40 °С,

где RH — относительная влажность, %.

3.1.11 **рабочая масса:** Масса СТЭ, включающая массу любых жидкостей, которые обычно расходуются в процессе эксплуатации или в рамках обычного графика технического обслуживания (например, охлаждающие жидкости и т. д.).

3.1.12 **сухая масса СТЭ:** Масса всей механической и электрической конструкции, не содержащей жидкостей, потребляемых в ходе нормального режима работы.

Примечание — Сухая масса включает в себя твердые материалы, которые со временем могут испортиться, но которые не подлежат замене при обычном обслуживании (например, катализаторы, смолы, мембраны, уплотнения, уплотнительные кольца и т. д.).

3.1.13 **объем СТЭ:** Объем, который занимает СТЭ, включая все подсистемы, компоненты, трубопроводы, патрубки, электропроводку и изоляцию, входящие в состав тестируемой СТЭ.

3.1.14 **общий объем:** Объем, рассчитываемый путем умножения трех максимальных размеров в каждой из трех типичных декартовых координат (x = ширина, y = высота и z = длина), включая пустотные зазоры между собранными подсистемами и компонентами.

3.1.15 **диапазон температур:** Температурный диапазон, в котором СТЭ может обеспечивать требуемый уровень производительности, включая условия замерзания.

3.1.16 **циклическое изменение температуры:** Способность СТЭ продолжать обеспечивать требуемую производительность в повторяющемся диапазоне изменяющихся температур, включая замерзание.

3.1.17 **рабочая высота:** Высота над уровнем моря, на которой СТЭ способна обеспечить требуемый уровень производительности.

Примечание — Это также мера диапазона давления, в котором может работать СТЭ.

3.1.18 **эксплуатационная влажность:** Диапазон влажности окружающей среды, в котором СТЭ может обеспечивать требуемые уровни производительности, включая водный баланс.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:
БТЭ — батарея топливных элементов;
МЭС — мембранно-электродная сборка;
НРЦ — напряжение разомкнутой цепи;
ПОМТЭ — топливный элемент с протонообменной мембраной.

4 Подготовка испытаний

Перечень физических постоянных величин и единиц измерения приведен в таблице 1.

Таблица 1 — Перечень физических постоянных величин и единиц измерения

Символ	Определение	Единица измерения
P	Мощность	Вт, кВт
$P_{max.cont}$	Максимальная непрерывная мощность	Вт
P_{idle}	Мощность холостого хода	Вт
i	Нижний индекс, обозначающий «ввод», «вход», «в»	—
o	Нижний индекс, обозначающий «вывод», «выпуск», «вне»	—

Окончание таблицы 1

Символ	Определение	Единица измерения
e	Нижний индекс, обозначающий «электрический» или «выход»	—
f	Нижний индекс, обозначающий «топливо»	—
j	Нижний индекс, обозначающий количество измерений	—
h	Удельная энтальпия	Дж/г
s	Нижний индекс, обозначающий «система»	—
I	Сила тока	А
D_c, *dc*	Нижний индекс, обозначающий «постоянный ток»	—
t	Нижний индекс, обозначающий «термальный»	—
V	Напряжение	В
LHV	Низшая теплотворная способность	Дж/г
η	Эффективность	—
m	Масса	г
$\dot{m}$	Массовый расход	г/с
n	Нижний индекс, обозначающий «полезный», например полезная мощность	—
g	Нижний индекс, обозначающий «полная», например полная мощность	—
E	Энергия (электрическая)	Дж
Q	Количество теплоты	Дж
$\dot{Q}$	Тепловой поток	Дж/с
t	Время	с
k	Нижний индекс, обозначающий удельную величину	—

4.1 Определение объекта испытаний

Испытание проводят для СТЭ, которая работает на водороде либо на углеводородном топливе. Испытуемая система вырабатывает электроэнергию в результате электрохимической реакции водорода и кислорода. Кислород для этой реакции обычно получают из подаваемого воздуха, водород — из топлива различными способами.

Типичная СТЭ содержит несколько подсистем, которые взаимосвязаны, как представлено на рисунке 1.

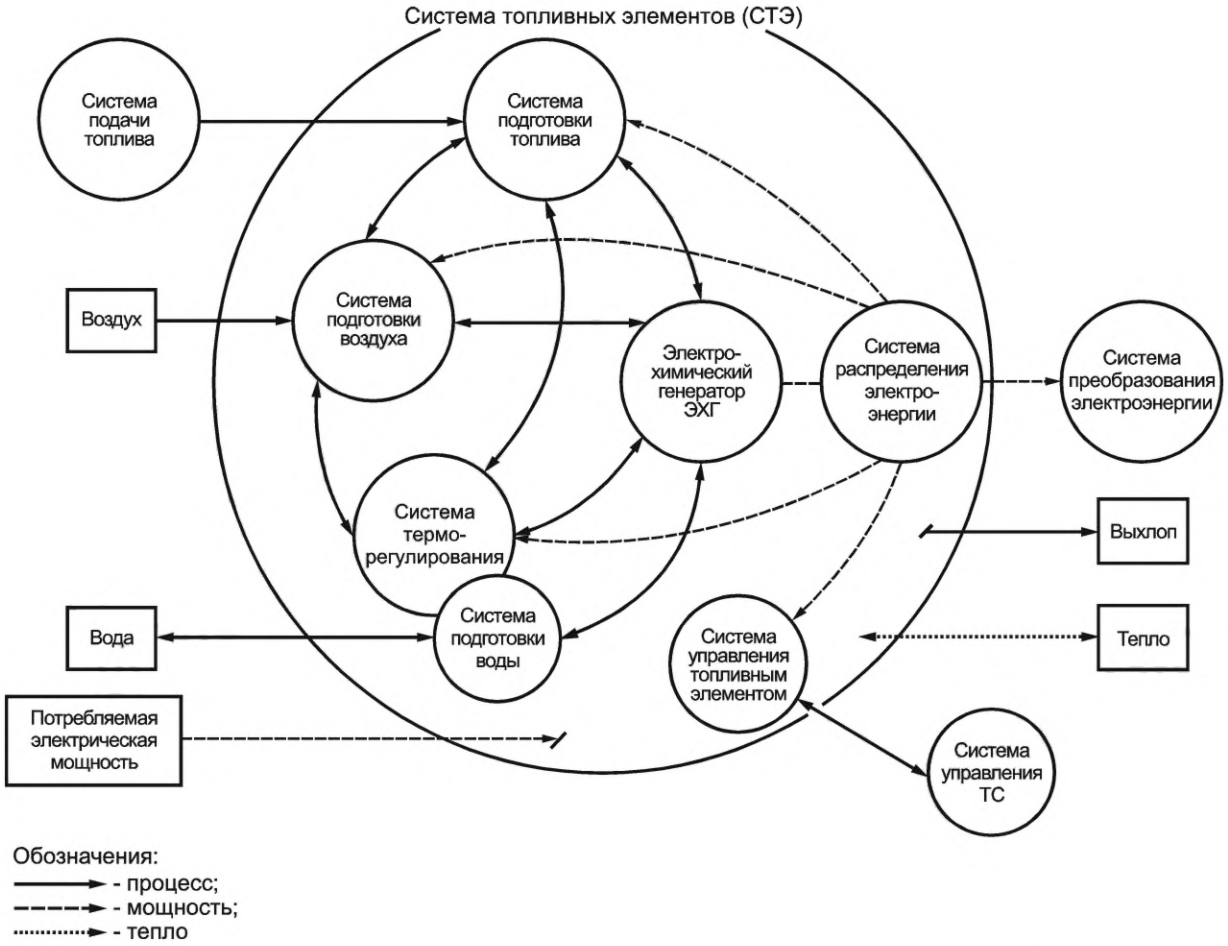
4.1.1 Определение рамок испытаний

Рамки испытаний определяют участники этих испытаний по согласованию до начала испытания. Особенности рамок испытаний в каждом конкретном случае должны быть отражены в протоколе испытаний.

4.2 Спецификации испытательного стенда и оборудования

4.2.1 Хранение топлива

Испытательный стенд должен иметь место хранения топлива, спроектированное в соответствии с применимыми нормами и стандартами. Помещение должно быть надлежащим образом проветриваемым, удаленным от любых источников воспламенения, с табличками «Не курить и не пользоваться открытым огнем» и защищенным от несанкционированного доступа.



Примечание — Большой круг определяет границу, в которой должны быть измерены эксплуатационные параметры.

Рисунок 1 — Схематическая иллюстрация системы топливных элементов

4.2.2 Вентиляция помещения

Помещение испытательного стенда должно быть оборудовано надлежащей системой вентиляции, в соответствии с применяемыми нормами и стандартами. Система вентиляции не должна допускать возникновения опасности для персонала или оборудования из-за утечек при неисправностях. Все технологические выбросы должны безопасно удаляться из помещения испытательного стенда.

4.2.3 Аварийные сигналы

Необходимо обеспечить непрерывный мониторинг опасных условий, включая горючие и токсичные вещества, а также обнаружение пламени. Необходимо предусмотреть звуковые и визуальные сигналы тревоги, которые следует установить в соответствии с ГОСТ Р 70679 и которые сообщат о характере и местоположении опасности.

4.2.4 Отключение системы

Испытательный стенд должен быть оснащен системой автоматического отключения СТЭ, которая должна срабатывать при регистрации системой загазованности газообразных продуктов, например выбросов водорода и окиси углерода. В испытательном стенде в дополнение к автоматической системе отключения должна быть предусмотрена система ручного отключения, средства управления которой должны быть наглядно обозначены и быть доступными оператору испытательного стенда.

4.2.5 Система нагрузки

К СТЭ должна быть приложена переменная нагрузка. Диапазон нагрузки должен соответствовать полному диапазону мощности СТЭ, подлежащему проверке в ходе испытания, от мощности на холостом ходу до пиковой мощности, как описано в 5.1.2. Блок нагрузки должен обеспечивать постоянное сопротивление и испытание постоянным током.

4.2.6 Технические условия жидкостей и газов

Испытательный стенд должен подавать жидкости в СТЭ по мере необходимости для выработки мощности в диапазоне операций и условий, подлежащих испытанию:

а) Охлаждающая жидкость

Деионизированная вода и/или другие охлаждающие и антифризные добавки, такие как этиленгликоль, отвечающие минимальным требованиям производителя по стойкости.

б) Топливо

Технические характеристики топлива должны быть определены и согласованы участниками испытаний и зафиксированы в протоколе испытаний в форме сертификата. Низшая теплотворная способность топлива (LHV) должна быть занесена в протокол испытаний.

Любые условия подачи топлива должны быть указаны в протоколе испытаний. Кондиционирование может включать фильтрацию, увлажнение и нагрев, происходящие за пределами рамок испытаний.

в) Воздух/окислитель

Технологический окислитель должен быть обеспечен из условий окружающей среды.

Любое кондиционирование технологического воздуха должно быть указано в протоколе испытаний. Кондиционирование может включать фильтрацию, увлажнение и нагрев, происходящие за пределами рамок испытаний.

Для приведения всех результатов испытаний к стандартным условиям окружающей среды в целях сравнения могут применяться поправки.

г) Вода для увлажнения

Некоторые СТЭ могут использовать воду для увлажнения реагентов отдельно от охлаждающей жидкости.

4.2.7 Средства сбора и синхронизации данных

Необходимо предусмотреть сбор и синхронизацию данных для фиксации **результатов испытаний.**

4.2.8 Требования к контрольно-измерительным приборам

Требования к контрольно-измерительным приборам — в соответствии с ГОСТ Р 70679.

4.2.9 Калибровка испытательного оборудования

Испытательное оборудование и связанные с ним контрольно-измерительные приборы должны быть откалиброваны и поверены. Для обеспечения точности контрольно-измерительных приборов следует проводить анализ ошибок и их влияния на сообщаемые результаты рабочих характеристик (см. 6.1).

4.3 Осмотр испытуемого изделия и соединений с установками и оборудованием

4.3.1 Испытание на герметичность

Перед испытанием все испытательное оборудование должно быть проверено на герметичность с помощью инертного газа (азота, гелия). Данное испытание проводят в соответствии с ГОСТ Р 70679.

Все линии, содержащие горючие газы, необходимо продуть инертным газом до и после всех испытаний, а также перед любыми работами по техническому обслуживанию, выполняемыми на этих линиях.

4.3.2 Требования к электрооборудованию

Электрическое оборудование и соединения — по ГОСТ Р 70679.

Все испытательное оборудование необходимо электрически заземлить и соединить по ГОСТ Р 70679.

4.3.3 Функциональная проверка

Вся система для испытаний должна быть признана функционально исправной до начала испытаний путем проверки системы управления, системы сбора данных и испытательного оборудования безопасности. Результаты этой проверки должны быть включены в протокол испытаний, а ответственность за ее выполнение определена участниками испытаний. Компоненты испытания, входящие в состав СТЭ, могут быть проверены по отдельности, если информация по проверке каждого испытываемого компонента будет представлена в протоколе испытаний.

4.3.4 Соединения между испытательным оборудованием и объектом испытаний

Перед началом испытания все механические соединения между объектом испытаний и испытательным оборудованием необходимо проверить на герметичность, а электрические соединения необходимо проверить на исправность. Соединения могут включать в себя соединения для подачи жидкости,

дренажи, электрические соединения, соединения для сигналов контрольно-измерительных приборов, соединения для подачи питания и системы нагрузки.

4.4 Подготовительные процедуры

4.4.1 Температура и давление окружающей среды

Результаты испытаний, проведенных при условиях, отличных от указанных в качестве стандартных, необходимо преобразовать для учета этой разницы.

4.4.2 Температура оборудования

СТЭ должна находиться в тепловом равновесии до начала испытаний. Это равновесие необходимо определить в соответствии с целью испытания.

При этом исключениями из этого требования являются:

- испытания на перезапуск при повышенных температурах;
- компоненты СТЭ, в которых намеренно избегают теплового равновесия (например, поддержание температуры воды при повышенных температурах с помощью электрических нагревателей).

4.4.3 Обдув СТЭ

Необходимо осуществить обдув СТЭ в соответствии с требованиями производителя. Параметры обдува необходимо описать в протоколе испытаний.

5 Методы испытаний

5.1 Технические условия испытываемых переменных и измеряемых характеристик

Параметры испытаний для СТЭ приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры испытаний для системы топливных элементов

Параметры характеристик		Измеряемые параметры
Категория	Примеры	
Вырабатываемая мощность	Пиковая мощность	Напряжение постоянного тока
	Максимальная непрерывная мощность	Постоянный ток
	Максимально-эффективная расчетная мощность Уровень мощности при водяном балансе Мощность холостого хода Диапазон изменения нагрузок Тепловыделение	
Качество электроэнергии	Диапазон напряжения разомкнутой цепи Диапазон мощности Диапазон тока Мгновенная стабильность напряжения Долговременная стабильность напряжения	Напряжение постоянного тока
Потребляемая мощность	Вспомогательная мощность	Постоянный ток
	Энергия запуска/остановки	Напряжение постоянного тока Потребляемое тепло Потребляемое топливо
Эффективность	КПД системы	Топливный поток в СТЭ LHV топлива Выходная мощность Потребляемая мощность
Переходный режим	Холодный запуск	Пройденное время
	Горячий запуск	Дефицит/избыток мощности в течение цикла
	Штатная остановка	Стабильность напряжения при переходных процессах

Окончание таблицы 2

Параметры характеристик		Измеряемые параметры
Категория	Примеры	
	Аварийная остановка Переходный режим «ступенчатый/рамповый» Переходный цикл	Потребляемая энергия
Физические параметры	Масса Объем	Сухая масса Рабочая масса Общий объем
Внешние факторы	Диапазон температур Высотность/Давление Влажность	Минимальная рабочая температура Максимальная рабочая температура Максимальная рабочая высота Максимальная рабочая влажность Минимальная рабочая влажность
Эксплуатация	Достаточность воды Требования к вспомогательному питанию (напряжение, ток)	Избыток/дефицит воды Измерения степени очищенности Использование дополнительной мощности
Интеграция	Удельная мощность Плотность энерговыделения	Объем, ток Масса, объем

5.1.1 Определение стабильного состояния

Стабильное состояние любого заданного параметра достигается, когда параметр изменяется не более чем в два раза от требуемой точности измерения. Некоторые измеряемые параметры могут не достигать стабильного состояния на основании этого требования. Для таких параметров следует использовать среднее значение, а уровень стабильности следует измерять и записывать в соответствии с 5.1.3.

5.1.2 Вырабатываемая мощность

5.1.2.1 Полезная вырабатываемая электрическая мощность

Вырабатываемая электрическая мощность должна быть измерена на пяти конкретных уровнях мощности, если иное не согласовано с участниками испытания. В каждом случае изготовитель СТЭ должен указывать уровень мощности, а испытание должно подтверждать заявленные характеристики. Полезную мощность в соответствии с 5.1.8 определяют путем вычитания реактивной мощности из суммарной мощности в каждом случае.

5.1.2.2 Пиковая мощность

Это максимальная мгновенная полезная вырабатываемая электрическая мощность СТЭ. Изготовитель СТЭ должен указать временной интервал, в течение которого эта мощность является стабильной. Продолжительность пиковой мощности и временного интервала, в течение которого эти характеристики остаются устойчивыми, должны быть указаны в протоколе испытания вместе с условиями окружающей среды, при которых проводили испытание (см. 3.1.10). Если требуется какой-либо период предварительной подготовки системы, это также должно быть отмечено в протоколе испытаний.

а) Максимальная непрерывная мощность

Это максимальная стабильная полезная мощность, ограниченная только запасом реагентов и подпиткой теплоносителя. Продолжительность этого испытания должна быть определена участниками испытания. Продолжительность максимальной непрерывной мощности и временной интервал, в течение которого эти характеристики остаются стабильными, должны быть указаны в протоколе испытаний вместе с условиями окружающей среды, при которых проводили испытания (см. 3.1.10). Если требуется какой-либо период предварительной подготовки системы, это также должно быть отмечено в протоколе испытаний.

б) Максимальная расчетная эффективная мощность

Это уровень полезной мощности, при котором СТЭ наиболее эффективна (см. расчет эффективности в 5.1.9). Окружающие условия испытания (см. 3.1.10) должны быть отмечены в протоколе испыта-

ний вместе с результирующей эффективностью на этом уровне мощности. Если требуется какой-либо период предварительной подготовки системы, это также должно быть отмечено в протоколе испытаний.

в) Мощность при водном балансе

Это уровень полезной мощности, при котором СТЭ способна поддерживать водный баланс. Для этого испытания может потребоваться внешнее охлаждающее устройство для имитации интеграции СТЭ в ТС. Окружающие условия испытания (см. 3.1.10) должны быть отмечены в протоколе испытаний. Если требуется какой-либо период предварительной подготовки системы, это также должно быть отмечено в протоколе испытаний.

г) Мощность холостого хода

Это уровень полной мощности, на котором работает СТЭ, когда не применяется внешняя нагрузка (т. е. при нулевой полезной мощности). Этого уровня мощности достаточно для обеспечения всей паразитной мощности, необходимой СТЭ.

5.1.2.3 Измерение суммарной вырабатываемой электрической мощности

Суммарная вырабатываемая электрическая мощность должна быть измерена на границе между системой БТЭ и системой распределения энергии (см. рисунок 1). На этой границе мощность имеет тип постоянного тока. Полную выходную мощность вычисляют по формуле

$$P_{e_o} = V_{dc} \cdot I_{dc}. \quad (1)$$

5.1.2.4 Диапазон изменения полной нагрузки

Диапазон изменения полной нагрузки является мерой полного диапазона мощности СТЭ. Диапазон изменения полной нагрузки вычисляют по формуле

$$TD = \frac{P_{g,\text{max.cont}}}{P_{g,\text{idle}}}. \quad (2)$$

5.1.3 Качество вырабатываемой электрической энергии

В дополнение к номинальной вырабатываемой мощности на каждом испытанном ее уровне должно быть оценено качество электроэнергии. Качество электроэнергии определяют стабильностью напряжения при постоянном токе.

5.1.3.1 Напряжение холостого хода

Напряжение холостого хода определяют, когда к СТЭ не приложена внешняя или паразитная нагрузка и через БТЭ не проходит ток. Это приводит к максимальному генерируемому переходному напряжению. Этот параметр производительности зависит от температуры, давления и состава топлива и окислителя и должен быть измерен на пределе условий, которые приводят к максимальному напряжению. По этим причинам измерение этого параметра может также потребовать, чтобы система уравновешивалась в течение определенного периода времени, определяемого участниками испытаний.

5.1.3.2 Максимальное рабочее напряжение

Максимальное рабочее напряжение определяют, когда к СТЭ приложена минимальная полезная нагрузка и через БТЭ проходит наименьший рабочий ток. Это условие приводит к максимальному напряжению рабочего интерфейса для СТЭ.

5.1.3.3 Диапазон рабочего напряжения

Границы диапазона рабочих напряжений определяют минимальным рабочим напряжением и максимальным рабочим напряжением СТЭ. Минимум обычно возникает при пиковом уровне полезной мощности, а максимум обычно возникает при простое. Определение диапазона рабочего напряжения следует проводить на основе измерений напряжения, выполненных в режиме холостого хода и в условиях пиковой мощности.

Минимальное рабочее напряжение может возникать в переходных режимах, когда требуется более высокая нагрузка. Это следует учитывать при определении минимального рабочего напряжения.

5.1.3.4 Измерение вырабатываемого напряжения

Вырабатываемое напряжение следует измерять как напряжение постоянного тока на границе раздела между системой распределения электроэнергии и системой преобразования электроэнергии (см. рисунок 1). Участники испытания должны рассмотреть возможность использования устройства, ограничивающего ток, при измерении напряжения.

5.1.3.5 Текущий диапазон

Диапазон потребляемого тока будет зависеть от минимального и максимального уровней полезной мощности или точек минимального и максимального напряжения. Определение диапазона тока

следует проводить на основе измерений тока, выполненных в условиях простоя и пиковой полезной мощности. Если максимальный ток в конкретной конструкции СТЭ не возникает при пиковой мощности, то максимальный ток должен быть измерен отдельно от испытания пиковой мощности.

5.1.3.6 Измерение тока

Ток во время работы под нагрузкой следует измерять на границе между системой распределения электроэнергии и системой преобразования электроэнергии (см. рисунок 1).

5.1.3.7 Стабильность напряжения

Стабильность напряжения определяют путем наблюдения и измерения любых изменений выходного напряжения при поддержании постоянной токовой нагрузки на систему топливных элементов. Стационарное состояние описано в 5.1.1. В соответствии с рисунком 1 измерение напряжения следует проводить между системой распределения электроэнергии и системой преобразования электроэнергии.

При испытании необходимо учесть влияние на стабильность напряжения, вызванное пульсациями тока и другими явлениями, связанными с системами блоков нагрузки. Если существует влияние на стабильность напряжения в результате такого взаимодействия с оборудованием, его следует исключить путем устранения основной причины либо путем коррекции данных на основе измеренного влияния.

а) Стабильность переходного напряжения

Стабильность переходного напряжения является мерой того, насколько стабильно вырабатываемое напряжение СТЭ по отношению к шкале времени с шагом в одну секунду. Эта мера производительности дает представление о том, насколько чувствительной должна быть система преобразования электроэнергии, чтобы обеспечивать постоянное напряжение на выходе.

Стабильность переходного напряжения измеряют как стандартное отклонение среднего напряжения за определенный период времени. Минимальный период выборки должен составлять 1 мин с максимальным интервалом выборки 50 мс.

б) Длительная устойчивость напряжения

Длительная устойчивость напряжения является мерой того, как напряжение питания от СТЭ изменяется в течение периодов времени с шагом в один час. Это измерение обеспечивает определение того, как эффективность системы БТЭ изменяется в течение более длительного периода относительно постоянной вырабатываемой мощности.

Долговременную стабильность напряжения измеряют как стандартное отклонение от среднего значения напряжения за период времени 15 мин. Максимальный интервал выборки должен составлять 100 мс.

5.1.4 Тепловыделение

Проверять тепловыделение следует на максимальном длительном рабочем уровне мощности. Другие уровни мощности могут быть испытаны по соглашению участников испытания. Если учитывают тепловыделение, то при определении эффективности СТЭ это должно быть отмечено в протоколе испытаний при указании заявленной эффективности.

5.1.4.1 Измерение вырабатываемой тепловой мощности

Вырабатываемая тепловая мощность может быть получена от СТЭ. Вырабатываемую тепловую мощность при работе СТЭ на требуемых рабочих температурах вычисляют по формуле

$$\dot{Q}_{t_0} = \sum_k \dot{Q}_{k_0}. \tag{3}$$

Пропускная способность тепловой мощности может быть измерена как на горячей, так и на холодной стороне теплообменника. Пропускную способность тепловой мощности вычисляют по формуле

$$Q_{k_0} = m_k (h_{ki} - h_{k_0}). \tag{4}$$

5.1.5 Топливо

5.1.5.1 Расход топлива

Расход топлива (кг/с) измеряют на границе входа в СТЭ (см. рисунок 1). По согласованию участников испытания могут быть использованы и другие единицы измерения.

5.1.5.2 Энергоемкость топлива

Номинальными единицами измерения энергоемкости топлива должны быть килоджоули на килограмм (кДж/кг), но могут быть и другие единицы измерения, по согласованию участников испытания.

5.1.6 Потребляемая мощность

5.1.6.1 Вспомогательная мощность

Вспомогательное питание требуется для поддержания работы СТЭ, а также может потребоваться для запуска и отключения. Эксплуатационную мощность учитывают по дебету КПД. Мощность при запуске и остановке учитывают как потребляемую энергию, поскольку выходная мощность СТЭ равна нулю в то время, когда требуются эти затраты.

а) Реактивная потребляемая электрическая мощность

Если используется несколько источников питания с разными напряжениями, потребуется несколько измерений. Для каждого источника питания на каждом испытанном уровне мощности напряжение и ток должны быть измерены и зарегистрированы для расчета суммарной мощности, подводимой к СТЭ, которую вычисляют по формуле

$$P_{e_t} = \sum_j V_j \cdot I_j. \tag{5}$$

б) Входящее тепло

Входящее тепло может требоваться для запуска, работы или остановки СТЭ. Входящее тепло (указатель «тепло» на рисунке 1) вычисляют по формуле

$$\dot{Q}_{t_i} = \sum_k \dot{Q}_{k_i}. \tag{6}$$

Мощность потребляемого тепла, которая может быть измерена на горячей либо на холодной стороне теплообменника, вычисляют по формуле

$$\dot{Q}_{k_i} = \dot{m}_k \cdot (h_{k_i} - h_{k_0}). \tag{7}$$

5.1.7 Мощность запуска и остановки

5.1.7.1 Электрическая мощность запуска

Количество электроэнергии, необходимой для запуска СТЭ (указатель «потребляемая электрическая мощность» на рисунке 1), вычисляют по формуле

$$E_{\text{start}_e} = \int_0^{t_{\text{start}}} P_{e_i}(t) \cdot dt \approx \sum_0^{t_{\text{start}}} P_{e_i}(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i). \tag{8}$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных. Для обеспечения достаточной точности при расчете необходимо учесть, как минимум, 10 наборов условий в рамках исследуемого периода времени.

Некоторые СТЭ могут быть спроектированы таким образом, чтобы определенные ее компоненты не достигали теплового равновесия с окружающей средой. Если это так, то энергия, необходимая для предотвращения такого равновесия, должна учитываться при расчете мощности запуска, а соответствующий период интегрирования — это весь период между завершением остановки и завершением запуска.

5.1.7.2 Тепловая мощность запуска

Количество потребляемой тепловой энергии, необходимое для запуска СТЭ, вычисляют по формуле

$$Q_{\text{start}} = \int_0^{t_{\text{start}}} \dot{Q}_{t_i}(t) \cdot dt \approx \sum_0^{t_{\text{start}}} \dot{Q}_{t_i}(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i). \tag{9}$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных.

При проведении испытаний СТЭ в условиях испытательного стенда может потребоваться подогрев большего объема некоторых систем, например системы охлаждения. Участники испытания должны учитывать влияние различий между конфигурацией испытательного оборудования и фактической конфигурацией условий при реальной эксплуатации СТЭ. Результат испытания может потребовать модификации или пояснения для обеспечения надлежащей интерпретации. Если испытательный стенд используют для нагрева определенных систем, это тепло должно быть учтено при пусковом энергетическом испытании.

5.1.7.3 Энергетический эквивалент потребления топлива при запуске

Энергетический эквивалент потребления топлива в пусковом режиме СТЭ вычисляют по формуле

$$E_{\text{start}_f} = LHV_i \int_0^{t_{\text{start}}} \dot{m}_i(t) \cdot dt \approx LHV_i \sum_0^{t_{\text{start}}} \dot{m}_i(t) \cdot (t_{i+1} - t_i). \quad (10)$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных.

В качестве альтернативы, если можно выполнить прямое совокупное или мгновенное измерение массы или объема и оно считается более точным, чем интегрирование мгновенного измерения скорости потока, это приемлемо и может быть эффективно при использовании жидкого топлива. В таком случае, энергетический эквивалент потребления топлива при запуске вычисляют по формуле

$$E_{\text{start}_f} = LHV_i \cdot (m_{t_0} - m_{t_{\text{start}}}) = LHV_i \cdot \Delta m_{\text{start}_f}. \quad (11)$$

5.1.7.4 Электрическая мощность при остановке

Количество энергии, необходимое для отключения СТЭ (указатель «потребляемая электрическая мощность» на рисунке 1) вычисляют по формуле

$$E_{\text{shutdown}_e} = \int_0^{t_{\text{shutdown}}} P_{e_i}(t) \cdot dt \approx \sum_0^{t_{\text{shutdown}}} P_{e_i}(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i). \quad (12)$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных.

5.1.7.5 Тепловая мощность при остановке

Количество тепловой энергии, необходимой для отключения СТЭ (указатель «тепло» на рисунке 1) вычисляют по формуле

$$Q_{\text{shutdown}} = \int_0^{t_{\text{shutdown}}} \dot{Q}_{t_i}(t) \cdot dt \approx \sum_0^{t_{\text{shutdown}}} \dot{Q}_{t_i}(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i). \quad (13)$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных.

5.1.7.6 Энергетический эквивалент потребления топлива при остановке

Энергетический эквивалент потребления топлива в режиме отключения СТЭ вычисляют по формуле

$$E_{\text{shutdown}_f} = LHV_i \int_0^{t_{\text{shutdown}}} \dot{m}_i(t) \cdot dt \approx LHV_i \sum_0^{t_{\text{shutdown}}} \dot{m}_i(t) \cdot (t_{i+1} - t_i). \quad (14)$$

Численная форма выражения приведена для прямого расчета из зарегистрированных данных.

В качестве альтернативы, если можно выполнить прямое совокупное или мгновенное измерение массы или объема и оно считается более точным, чем интегрирование мгновенного измерения скорости потока, это приемлемо и может быть эффективно при использовании жидкого топлива. В таком случае энергетический эквивалент потребления топлива при остановке вычисляют по формуле

$$E_{\text{shutdown}_f} = LHV_i \cdot (m_{t_0} - m_{t_{\text{shutdown}}}) = LHV_i \cdot \Delta m_{\text{shutdown}_f}. \quad (15)$$

5.1.8 Полезная электрическая мощность

Полезную выходную электрическую мощность СТЭ вычисляют по формуле

$$P_{e_{o,n}} = P_{e_o} - P_{e_i}. \quad (16)$$

5.1.9 Эффективность

5.1.9.1 КПД СТЭ

Полный КПД СТЭ учитывает топливные, электрические и тепловые затраты, а также электрические и тепловые выходы в установившемся режиме. Полный КПД СТЭ вычисляют по формуле

$$\eta_S = \frac{P_{e_{o,n}} + \dot{Q}_{t_o}}{\dot{m}_i \cdot LHV_i + \dot{Q}_{t_i}}. \quad (17)$$

Когда тепловая мощность используется в системе ТС, следует учитывать Q_{t_o}, в противном случае она не приносит пользы и не должна учитываться в данном расчете.

Если участниками испытания согласовано учитывать КПД СТЭ для использования тепловой мощности, это должно быть отмечено в протоколе испытания при указании КПД СТЭ.

5.1.10 Динамические характеристики

5.1.10.1 Характеристики запуска

а) Холодный запуск

Холодный запуск — это запуск силовой установки из любых заданных условий окружающей среды. Холодный запуск представляет собой первый запуск СТЭ после периода отключения, достаточно продолжительного для достижения устойчивого нерабочего состояния. Конкретные условия, при которых происходит этот запуск, должны оставаться на усмотрение изготовителя или назначенного испытателя и должны быть включены в протокол испытаний с указанием времени начала. Рекомендуется предварительная выдержка при пониженных температурах, и условия этой выдержки должны быть отмечены в протоколе испытаний. Рекомендуемые исходные условия для моделирования «холодного дня» и «морозного дня» — в соответствии с 3.1.10.

б) Горячий запуск

Горячий запуск — это запуск, который следует за выключением из режима выработки электроэнергии. Ожидается, что горячий запуск будет быстрее, чем холодный, особенно для тех СТЭ, в которых предусмотрена переработка углеводородного топлива.

5.1.10.2 Характеристики отключения системы

а) Штатное отключение

Штатное отключение происходит в результате запроса со стороны пользователя на завершение операции СТЭ. Показатели производительности для остановки включают продолжительность процесса остановки, количество энергии и уровень мощности, необходимые для выполнения остановки, а также любые условия СТЭ, требуемые в процессе. Завершение процесса остановки определяют как момент, когда система достигает состояния, позволяющего следующий запуск. Эти условия могут различаться для горячего и холодного запуска.

б) Аварийное отключение

Аварийное отключение происходит в результате немедленной или срочной необходимости прекращения работы СТЭ.

5.1.10.3 Переходная характеристика

Ключевым параметром переходных характеристик является способность СТЭ реагировать на изменение требуемой выходной мощности в течение заданного периода времени. Данное испытание обеспечивает стандартную структуру для количественной оценки и проверки требований относительно отклика СТЭ. Переходные процессы, описанные в данном разделе, учитывают как положительные, так и отрицательные отклонения. При регистрации переходной характеристики СТЭ в отчет следует включать такие характеристики переходного процесса, как уровень и скорость, а также его продолжительность.

а) Ступенчатое воздействие

Эта форма воздействия представляет собой резкое увеличение или уменьшение мощности (кВт) во времени. Шаг определяют разницей между конечной точкой и начальной точкой изменения. Продолжительность шага обычно очень короткая и может быть выражена в миллисекундах.

б) Рамповое воздействие

Рамповое воздействие представляет собой линейное увеличение или уменьшение мощности заданной величины от начальной точки до конечной точки с заданной скоростью.

5.1.10.4 Выходные характеристики

Ключевым параметром производительности, измеряемым во время динамических испытаний, является оценка того, выполнила ли СТЭ переходный процесс за указанный период времени. Это условие считается выполненным, если заданный уровень мощности достигается и поддерживается без отказа или отключения СТЭ в течение заявленного периода времени.

а) Стабильность напряжения

Другим параметром производительности, который важен с точки зрения интеграции СТЭ в ТС, является стабильность напряжения в переходных процессах. Рекомендации по определению стабильности напряжения — в соответствии с 5.1.3.7.

б) Стабильность напряжения при старте

В начале переходного процесса подача топлива может отставать от потребления тока из-за запроса мощности. В этом случае вероятно падение напряжения. Важно количественно определить этот провал, чтобы гарантировать, что силовая электроника в системе стабилизации мощности сможет питать ТС через переходный процесс.

в) Стабильность напряжения при отключении

Подачу реагентов контролируют алгоритмы автоматического управления. Данные алгоритмы и другие характеристики СТЭ могут привести к нестабильности низкого уровня в конечной точке переходного процесса. Цель данного испытания — определение стабильности выходного напряжения СТЭ после заданного переходного процесса. Рекомендации по определению стабильности напряжения — в соответствии с 5.1.3.7.

5.2 Меры предосторожности при испытании и отклонения от нормы

Рекомендуемые методы снижения потенциальных опасностей, связанные с системами топливных элементов, разработанными для интеграции в ТС, — по ГОСТ Р 70679.

Объект испытания и испытательный стенд должны быть спроектированы так, чтобы было возможно обнаружение, сигнализация и отключение в зависимости от наличия опасности. Объект испытания должен быть спроектирован таким образом, чтобы он мог сохранять структурную целостность в течение испытания.

5.3 Процедуры испытания

Для подтверждения воспроизводимости результатов каждое испытание следует проводить более одного раза. Точное количество испытаний должно быть согласовано с участниками испытаний.

5.3.1 Измерение внешних факторов

Внешние факторы при испытании необходимо измерить и зарегистрировать. Факторы включают температуру, давление, состав и уровень влажности для:

- воздуха, подаваемого на границе подсистемы подготовки воздуха;
- топлива, подаваемого на стыке системы подачи топлива и системы подготовки топлива;
- охлаждающей жидкости, подаваемой на границе подсистемы терморегулирования.

5.3.2 Физические характеристики

5.3.2.1 Сухая масса

Перед заполнением СТЭ жидкостями, необходимыми для работы, следует измерить массу. Поскольку для кондиционирования некоторых систем может потребоваться заполнение системы жидкостями, перед этим измерением все жидкости должны быть слиты, как при транспортировке.

СТЭ должна свободно стоять на весах, используемых для этого измерения, и должна быть отсоединена от любой испытательной установки. Персонал не должен контактировать со СТЭ во время этого испытания.

Все компоненты в пределах границ испытаний, описанных на рисунке 1, должны быть включены в это измерение (включая систему управления топливным элементом). Если одновременное измерение всей СТЭ невозможно, подсистемы могут быть измерены по отдельности, а сумма может быть указана как общая масса. Масса приборов, установленных на СТЭ для целей испытаний, должна быть вычтена из общей массы. Приборы, необходимые для нормальной работы, должны быть включены в измерение массы.

Сухая масса должна быть измерена и записана в килограммах (кг).

5.3.2.2 Полный объем

Размеры СТЭ следует брать по трем ортогональным координатам как максимальный размер по каждой координате. Объем защитной конструкции следует рассчитывать путем определения произведения этих трех измерений.

Размеры, используемые для определения объема СТЭ, должны быть указаны в метрах (м), а объем СТЭ должен быть записан в кубических метрах ($м^3$).

5.3.2.3 Рабочая масса

После измерения сухой массы СТЭ следует заполнить жидкостями, необходимыми для работы.

Измерение массы СТЭ необходимо повторить, как в 5.3.2.1, для определения рабочей массы.

5.3.3 Характеристики в стационарном состоянии

Ниже представлены испытания, содержащие подробную информацию об испытаниях, используемых для определения параметров, связанных с выработкой энергии и эффективностью.

5.3.3.1 Максимальное напряжение

Перед приложением внутренних или внешних нагрузок следует измерить и зарегистрировать напряжение СТЭ с целью определения максимально возможного напряжения на границе с системой стабилизации мощности. Для этого следует выполнить запуск СТЭ без применения внешней нагрузки к СТЭ и зарегистрировать выходное напряжение.

5.3.3.2 Мощность холостого хода

После нормального пуска в режиме выработки электроэнергии и до подачи внешней нагрузки напряжение СТЭ должно быть измерено и записано вручную, в дополнение к автоматическому сбору данных. Если в этом режиме работы на СТЭ подается внешнее питание, оно также должно быть измерено и записано.

Расход топлива в СТЭ также должен быть измерен и зарегистрирован для определения расхода топлива на холостом ходу.

Процедура испытания:

а) фиксируют LHV топлива перед испытанием;

б) разрешают СТЭ достичь устойчивого состояния при холостом режиме и работать на этом уровне мощности в течение заданного периода времени;

в) фиксируют вырабатываемое напряжение и ток;

г) фиксируют потребляемую мощность и любую другую подаваемую энергию;

д) фиксируют расход топлива.

5.3.3.3 Максимальная расчетная мощность КПД

К СТЭ следует прикладывать внешнюю нагрузку, эквивалентную точке, в которой достигается максимальный расчетный КПД системы. Определение этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть.

При достижении устойчивой выработки электроэнергии, в точке максимального расчетного КПД, ток и напряжение следует измерять и записывать вручную в дополнение к автоматическому сбору данных.

Процедура испытания:

а) фиксируют LHV топлива перед испытанием;

б) разрешают СТЭ достичь устойчивого состояния при максимальной расчетной КПД мощности и работать на этом уровне мощности в течение заданного периода времени;

в) фиксируют вырабатываемое напряжение и ток;

г) фиксируют потребляемую мощность и любую другую подаваемую энергию;

д) фиксируют расход топлива;

е) уменьшают нагрузку.

5.3.3.4 Мощность при водном балансе

К СТЭ следует прикладывать внешнюю нагрузку, эквивалентную точке, в которой система находится в водном балансе (т. е. не генерирует избыток воды и не уменьшает накопление водных ресурсов в системе). Определение этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть.

При достижении устойчивой выработки электроэнергии, в точке водного баланса, вырабатываемый ток и напряжение должны быть измерены и зарегистрированы вручную в дополнение к автоматическому сбору данных.

Система находится в водном балансе, если уровень свободной поверхности в водяном аккумуляторе системы остается неизменным в течение более 60 мин. Альтернативный метод заключается в расчете чистого притока или потери воды в результате измерений расхода и состава на входе и выходе (см. рисунок 1).

Процедура испытания:

а) фиксируют LHV топлива перед испытанием;

б) разрешают СТЭ достичь устойчивого состояния мощности при водном балансе и работать на этом уровне мощности в течение заданного периода времени;

в) фиксируют вырабатываемое напряжение и ток;

г) фиксируют потребляемую мощность и любую другую подаваемую энергию;

д) фиксируют расход топлива;

е) уменьшают нагрузку.

5.3.3.5 Максимальная продолжительная мощность

К СТЭ следует прикладывать внешнюю нагрузку, эквивалентную точке, в которой достигается максимальная продолжительная мощность системы. Определение этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть. Данное требование необходимо согласовать участникам испытания.

При достижении устойчивой выработки мощности, в точке максимальной продолжительной мощности, ток и напряжение следует измерять и записывать вручную в дополнение к автоматическому сбору данных.

Работа системы на максимальной продолжительной мощности подтверждается, если система продолжает работать без вмешательства (кроме подачи реагента, охлаждающей жидкости и вспомогательного электропитания) в течение периода времени, согласованного участниками испытания, но не менее 60 мин.

Процедура испытания:

а) фиксируют LHV топлива перед испытанием;

б) разрешают СТЭ достичь устойчивого состояния при максимальной непрерывной мощности и работать на этом уровне мощности в течение заданного периода времени;

в) фиксируют вырабатываемое напряжение и ток;

г) фиксируют потребляемую мощность и любую другую подаваемую энергию;

д) фиксируют расход топлива;

е) уменьшают нагрузку.

5.3.3.6 Пиковая мощность

К СТЭ следует прикладывать внешнюю нагрузку, эквивалентную точке, в которой достигается пиковая мощность системы. Определение этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть. Данное требование необходимо согласовать участникам испытания.

При достижении устойчивой выработки электроэнергии, в желаемой точке пиковой мощности, ток и напряжение следует измерять и записывать вручную в дополнение к автоматическому сбору данных.

Продолжительность работы в этот момент должна быть измерена, чтобы представить ее вместе с пиковой мощностью

Работа при пиковой мощности также может привести к минимальному напряжению СТЭ.

Процедура испытания:

а) фиксируют LHV топлива перед испытанием;

б) разрешают СТЭ достичь устойчивого состояния при максимальной непрерывной мощности;

в) прикладывают нагрузку, соответствующую пиковой мощности, отметив время первоначального приложения нагрузки;

г) фиксируют вырабатываемое напряжение и ток;

д) фиксируют потребляемую мощность и любую другую подаваемую энергию;

е) фиксируют расход топлива;

ж) уменьшают нагрузку до максимальной непрерывной мощности;

и) фиксируют время, проведенное на пиковой мощности.

5.3.4 Переходные характеристики

Реакцию этой системы на изменение нагрузки определяют путем достижения заданной точки мощности, изменения настройки и подтверждения реакции СТЭ в течение заданного периода времени в соответствии с 5.1.10.3.

Данное испытание может быть выполнено для отдельного изменения мощности или серии изменений мощности для имитации ездового цикла. В любом случае изменение мощности определяют на начальной и конечной точках. Кроме того, время, в течение которого необходимо внести изменение, определяют в соответствии с 5.1.10.3 а) (ступенчатое воздействие) либо с 5.1.10.3 б) (рамповое воздействие).

К СТЭ следует прикладывать внешнюю нагрузку, эквивалентную начальной точке переходного процесса. Определение этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть. Данное требование необходимо согласовать участникам испытания.

При достижении устойчивой выработки мощности, в желаемой начальной точке мощности, ток и напряжение следует измерять и записывать вручную в дополнение к автоматическому сбору данных.

Переходный процесс воспроизводится путем изменения нагрузки на систему в соответствии с определением испытания, согласованным участниками испытания. Предполагается, что система автоматического управления будет регулировать СТЭ в соответствии с нагрузкой. Успешный переходный процесс достигается, когда система выполняет переходный процесс без отключения или необратимого повреждения системы в течение заданного периода времени.

В это время к СТЭ должна быть приложена внешняя нагрузка, эквивалентная конечной точке переходного процесса (или рамповое установленное значение в соответствии с 5.1.10.3 б)). Определе-

ние этой точки, как правило, повторяется и может быть выполнено до этого испытания или как его часть. Данное требование необходимо согласовать участникам испытания.

Время для этого переходного процесса определяют путем измерения времени, прошедшего между начальной мощностью непосредственно перед переходным процессом и первым достижением конечной точки (автоматически посредством сбора данных либо вручную испытательным персоналом). Уровень мощности в конечной точке должен поддерживаться не менее 60 с, а стабильность напряжения должна быть измерена и зафиксирована в соответствии с 5.1.3.

Данное переходное испытание может выполняться для переходного процесса вверх (в котором конечная точка имеет более высокую мощность, чем начальная точка) либо для переходного процесса вниз (в котором конечная точка ниже начальной точки).

В случае повышения переходного процесса СТЭ может показывать минимальное выходное напряжение.

Процедура испытания:

а) разрешают СТЭ достичь установившегося режима работы в начальной точке переходного процесса;

б) выполняют переходный процесс, отмечая время запуска;

в) разрешают СТЭ достичь установившегося режима работы в конечной точке переходного процесса;

г) фиксируют время завершения переходного процесса;

д) фиксируют любой ввод энергии, необходимый во время переходного процесса;

е) фиксируют напряжение во время переходного процесса и минимальное значение.

5.3.5 Характеристики холодного запуска

Метод испытания холодного запуска предназначен для измерения характеристик СТЭ при относительно низкой температуре. Этот метод испытаний включает следующие этапы.

Участники испытания должны согласовать температуру предварительной выдержки в холодном состоянии в соответствии с 5.1.10.1 а). СТЭ следует оставить при температуре холодной выдержки на время, достаточное для достижения холодного нерабочего состояния системы. Нерабочее состояние указывает на то, что на СТЭ не подается внешнее питание.

СТЭ следует запускать с помощью ключа или переключателя. Момент, когда происходит это изменение состояния, представляет собой нулевое время. Это изменение состояния регистрируют вместе с другими параметрами производительности, как указано в 4.2.7, чтобы можно было определить время запуска после испытания.

Система автоматического управления должна позволять переводить СТЭ в режим производства энергии. Окончание запуска — это момент, когда впервые достигается уровень мощности, согласованный участниками испытания. Этот уровень мощности должен поддерживаться не менее 60 с.

Процедура испытания:

а) «Холодная выдержка» при заданной температуре;

б) инициируют нормальный запуск СТЭ до назначенного уровня мощности;

в) фиксируют время начала;

г) фиксируют потребление энергии;

д) подтверждают нормальную работу.

5.3.6 Характеристики горячего запуска

Метод испытания горячего запуска предназначен для измерения характеристик СТЭ с точки зрения запуска относительно близко к концу предыдущей остановки. Этот метод испытаний включает следующие этапы.

После нормального запуска к СТЭ должна быть приложена внешняя нагрузка, эквивалентная точке, в которой достигается максимальная непрерывная мощность системы в соответствии с 5.3.3.5. СТЭ должна работать в этой точке мощности достаточно долго, чтобы производительность системы стабилизировалась.

СТЭ получает команду на отключение с помощью обычных (т. е. неаварийных) средств для перехода в нерабочее состояние. Нерабочее состояние указывает на то, что на СТЭ не подается внешнее питание.

Систему следует оставить в этом состоянии на время, определенное участниками испытания. Испытание можно запускать с различным временем выключения, чтобы определить чувствительность производительности к времени выключения.

СТЭ следует запускать с помощью ключа или выключателя. Момент, когда происходит это изменение состояния, представляет собой нулевое время. Это изменение состояния регистрируют вместе с другими параметрами производительности, как указано в 4.2.7, чтобы можно было определить время запуска после испытания.

Система автоматического управления должна позволять переводить СТЭ в режим производства энергии. Окончание запуска — это момент, когда впервые достигается уровень мощности, согласованный участниками испытания. Этот уровень мощности должен поддерживаться не менее 60 с.

Процедура испытания:

а) запускают СТЭ и выдерживают до достижения стабильного состояния;

б) инициируют автоматическое нормальное отключение СТЭ;

в) выдерживают в режиме ожидания в течение определенного периода времени;

г) фиксируют показания в режиме ожидания;

д) фиксируют потребляемую энергию, необходимую в период ожидания;

е) инициируют нормальный запуск СТЭ до назначенного уровня мощности;

ж) фиксируют время запуска;

и) фиксируют всю энергию, необходимую для запуска из режима ожидания;

к) подтверждают нормальную работу.

5.3.7 Характеристики отключения

5.3.7.1 Штатное отключение

Основными рабочими параметрами, связанными с остановкой СТЭ, являются продолжительность отключения и энергия, необходимая для достижения остановки.

Это испытание необходимо начинать с того, что СТЭ работает в течение периода времени, достаточного для достижения стабильного состояния и выдержки при рабочих температурах. СТЭ следует отключать одним нажатием ключа или переключателя. Момент, когда происходит это изменение состояния, представляет собой нулевое время. Это изменение состояния регистрируют вместе с другими параметрами производительности, как указано в 4.2.7, чтобы можно было определить время запуска после испытания.

Отключение считается завершенным, если вся СТЭ достигла состояния, соответствующего определению отключения, заданному изготовителем. Обычно это обесточенное состояние.

Процедура испытания:

а) эксплуатируют СТЭ в стабильном состоянии;

б) инициируют остановку;

в) фиксируют время, необходимое для остановки;

г) фиксируют количество энергии, необходимое для отключения;

д) подтверждают, что СТЭ достигла состояния, соответствующего определению отключения, заданному изготовителем.

5.3.7.2 Аварийная остановка

Основной параметр производительности, связанный с аварийным отключением, заключается в том, что система достигает обесточенного безопасного состояния рациональным способом.

Это испытание должно начинаться с того, что СТЭ работает в течение периода времени, достаточного для достижения стабильного состояния и выдержки при рабочих температурах. Аварийная остановка должна быть инициирована оператором, позволяющим отключить СТЭ. Это действие обычно является мгновенным, поскольку типичная реализация аварийной остановки напрямую отключает питание от СТЭ.

Процедура испытания:

а) эксплуатируют СТЭ в стабильном состоянии;

б) инициируют аварийную остановку;

в) фиксируют время, необходимое для остановки;

г) подтверждают, что СТЭ достигла безопасного состояния, соответствующего определению отключения, заданному изготовителем.

Функциональность аварийной остановки должна быть подтверждена не только в стабильном состоянии, но и в переходных режимах, пусковых и остановочных.

6 Управление данными, анализ и отчетность

6.1 Управление данными

6.1.1 Хранение данных

Входные сигналы от устройств должны быть сохранены, чтобы можно было провести коррекцию данных после испытания для применения новых калибровочных поправок. Технические единицы каждого устройства вместе с расчетными результатами должны быть сохранены.

6.1.2 Данные, собранные вручную

Большинство испытательных программ требуют, чтобы некоторые данные были собраны вручную. В перечне данных должны быть указаны точки данных, место проведения испытания, дата, время, лицо, ответственное за сбор данных и собранные измерения.

6.1.3 Подлинность результатов

Если при проведении испытания или при последующем анализе или интерпретации наблюдаемых данных обнаружено несоответствие, влияющее на подлинность результатов, стороны должны приложить все усилия для корректировки или устранения несоответствия по взаимному согласию. Неспособность достичь такого соглашения будет означать отказ в запуске или испытании.

6.1.4 Протоколы испытаний и результаты

Записи испытаний включают данные, полученные в электронном виде, данные, записанные вручную, наблюдения за испытаниями и журналы испытаний. Все данные и наблюдения, собранные во время проверки производительности, должны быть сохранены и воспроизведены либо легко доступны для всех сторон, участвующих в проверке.

Во всех случаях результаты испытаний следует сообщать как рассчитанные на основе наблюдений за испытаниями с поправками на примененные калибровки приборов и с поправками на отклонения рабочих условий от заданных.

6.1.5 Анализ погрешностей

Поскольку ни одно измерение не может быть безошибочным, погрешности каждого результата испытаний должны оцениваться участниками испытаний. Все значения погрешностей, которые были определены и согласованы участниками испытаний, должны быть включены в протокол. Во время подготовки к испытаниям пределы погрешностей для каждого из измеряемых параметров должны быть определены на основе конфигурации. Пределы должны быть определены путем анализа неопределенности до испытаний и согласованы участниками. Анализ перед испытанием позволяет предпринять корректирующие действия до проведения испытания, которые уменьшат погрешность до уровня, соответствующего общей цели испытания, либо снизят стоимость испытания, сохраняя при этом погрешность испытания. Рекомендуется анализ после испытания. Данный анализ должен использовать эмпирические данные для определения случайных ошибок измерения и наблюдений при испытании, чтобы установить, была ли достигнута требуемая погрешность.

6.2 Форма протокола

6.2.1 Общие требования

Протокол испытаний для испытываемых характеристик должен содержать следующее, если заказчиком не установлено иное:

а) титульный лист;

б) аннотацию;

в) введение;

г) план проведения испытаний;

д) результаты;

е) выводы;

ж) приложения.

Данный план является рекомендуемым форматом отчета. Допустимы и другие форматы, однако рекомендуется, чтобы протокол испытаний содержал всю информацию, описанную в нижеприведенных пунктах.

6.2.2 Титульный лист

Титульный лист протокола испытаний должен включать наименование испытания, дату протокола, место проведения испытания и участников испытания, включая владельца оборудования, сторонюю испытательную организацию и заказчика.

6.2.3 Аннотация

В аннотацию включают общую информацию о системе обработки топлива, цели испытаний, условия, в которых проводили испытания, сводку результатов испытаний и выводы.

6.2.4 Введение

Во введении должны быть указаны участники испытания, цель испытания, описание компонентов испытания и границы испытания.

6.2.5 План проведения испытаний

В плане проведения испытаний должны быть описаны процедуры, используемые для проведения испытаний, включая рабочие условия, количество повторений, используемые приборы и состояние калибровки, систему сбора данных и ограничения.

6.2.6 Результаты

Данный раздел должен включать:

- используемые формулы эффективности, таблицу используемых сокращений;
- необходимые для расчета результаты данных, параметры условий эксплуатации;
- пошаговый расчет результатов производительности на основе данных.

6.2.7 Выводы

Выводы должны быть сделаны на основе результатов испытаний в сравнении с целями испытаний.

6.2.8 Приложения

Приложения к протоколу испытаний включают (но не ограничиваются):

а) подписанный договор о требованиях к испытаниям;

б) копии исходных листов данных и/или распечаток системы сбора данных;

в) копии журналов операторов или другие записи операционной деятельности во время каждого испытания;

г) результаты лабораторного анализа топлива;

д) результаты поверки приборов из лабораторий, сертификаты заводов-изготовителей;

е) анализ погрешности.

УДК 629:006.354 ОКС 43.020

Ключевые слова: автомобильные транспортные средства, системы топливных элементов

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 06.10.2023. Подписано в печать 17.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,24.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru