



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
1014—
2025

ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ

Часть 1

Энергоустановка на основе топливных элементов.
Технические требования и методы контроля

(IEC/FDIS 63341-1, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 045 «Железнодорожный транспорт»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2025 г. № 30-пнст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений проекта международного стандарта МЭК 63341-1 «Применение в железнодорожном транспорте. Водородные и топливные системы для подвижного состава. Часть 1. Система питания на топливных элементах» (IEC/FDIS 63341-1 «Railway applications — Hydrogen and fuel cell systems for rolling stock — Part 1: Fuel cell power system», NEQ)

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за четыре месяца до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: info@vniizht.ru и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: gost@gostinfo.ru.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	3
4 Технические требования	7
4.1 Общие требования	7
4.2 Эксплуатационные требования	9
4.3 Требования к конструкции	9
4.4 Требования стойкости к механическим и климатическим факторам внешней среды	9
4.5 Требования к системам энергоустановки на основе топливных элементов	9
5 Требования к устройствам компонентов энергоустановки на основе топливных элементов	11
6 Требования надежности	11
7 Требования безопасности	11
8 Маркировка	12
9 Транспортирование и хранение	13
10 Методы испытаний и контроля	13
Приложение А (справочное) Обработка полученных данных при проведении испытаний	17
Приложение Б (справочное) Методы коррекции полезной мощности	24
Библиография	28

Введение

В настоящем стандарте рассмотрены общие требования к устанавливаемым на единицах подвижного состава железных дорог энергоустановкам, использующим водород как топливо и кислород как окислитель для выработки электроэнергии топливными элементами с протонообменной мембраной.

Энергоустановки на основе топливных элементов, представленные в настоящем стандарте, используют для обеспечения тяги и питания собственных нужд рельсовых транспортных средств, в том числе гибридных, согласно определению ГОСТ Р МЭК 62864-1, а также в качестве вспомогательного бортового источника электропитания.

В настоящем стандарте рассматриваются:

- комплектность поставки и описание систем (энергетических, электрических, тепловых и механических) энергоустановки на основе топливных элементов;
- требования стойкости к механическим и климатическим факторам внешней среды;
- требования для обеспечения соответствия энергоустановки на основе топливных элементов для применения на железных дорогах;
- требования безопасности, надежности и защиты при проектировании энергоустановки на основе топливных элементов для применения на железнодорожном транспорте;
- требования к маркировке и обозначению;
- требования, касающиеся хранения, транспортирования, монтажа и технического обслуживания энергоустановки на основе топливных элементов;
- испытания, необходимые для проверки энергоустановки на основе топливных элементов;
- методы контроля производительности для подтверждения функциональных характеристик энергоустановки на основе топливных элементов.

Оборудование для преобразования энергии описано в ГОСТ 33323 и в настоящем стандарте не рассматривается.

Требования к энергетической установке и ее элементов в конкретном подвижном составе установлены в ПНСТ 1013—2025.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ НА ВОДОРОДНЫХ
ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ

Часть 1

Энергоустановка на основе топливных элементов.
Технические требования и методы контроля

Traction rolling stock powered by hydrogen fuel cells railway. Part 1.
A power plant based on fuel cells. Technical requirements and control methods

Дата введения — с 2026—01—01
по 2029—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на энергоустановки на основе топливных элементов с протонообменной мембраной, устанавливаемые на тяговом железнодорожном подвижном составе. Настоящий стандарт устанавливает технические требования и методы контроля к энергоустановкам на основе топливных элементов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 9.107—2023 Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозионная агрессивность атмосферы. Основные положения

ГОСТ 12.1.007 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.030 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление

ГОСТ 12.1.044 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

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

ГОСТ 27.003 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности

ГОСТ 27.301 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 30457 (ИСО 9614-1—93) Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума на основе интенсивности звука. Измерение в дискретных точках. Технический метод

ГОСТ 30631—99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации

ГОСТ 33322 (IEC 61991:2000) Железнодорожный подвижной состав. Требования к защите от поражения электрическим током

Издание официальное

1

ГОСТ 33323 (IEC 61287-1:2005) Преобразователи полупроводниковые силовые для железнодорожного подвижного состава. Характеристики и методы испытаний

ГОСТ 33436.3-1 (IEC 62236-3-1:2008) Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 3-1. Железнодорожный подвижной состав. Требования и методы испытаний

ГОСТ 33436.3-2 (IEC 62236-3-2:2008) Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 3-2. Железнодорожный подвижной состав. Аппаратура и оборудование. Требования и методы испытаний

ГОСТ 33787 (IEC 61373:2010) Оборудование железнодорожного подвижного состава. Испытания на удар и вибрацию

ГОСТ 33798.1—2016 (IEC 60077-1:1999) Электрооборудование железнодорожного подвижного состава. Часть 1. Общие условия эксплуатации и технические условия

ГОСТ 34014 Электросвязь железнодорожная. Сеть оперативно-технологической связи. Технические требования и методы контроля

ГОСТ IEC 60079-14 Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок

ГОСТ IEC 62282-4-101—2017 Технологии топливных элементов. Часть 4-101. Энергоустановки на топливных элементах, отличные от автомобильных и вспомогательных энергосистем. Безопасность электрических автопогрузчиков

ГОСТ Р 27.301 Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. Основные положения

ГОСТ Р 56188.2—2023 (МЭК 62282-2-100:2020) Технологии топливных элементов. Часть 2. Модули топливных элементов. Безопасность

ГОСТ Р 56188.3.100—2023 (МЭК 62282-3-100:2019) Технологии топливных элементов. Часть 3-100. Стационарные энергоустановки на основе топливных элементов. Безопасность

ГОСТ Р ИСО 3744 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью

ГОСТ Р ИСО 3746 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью

ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1 Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель

ГОСТ Р МЭК 62279 Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах

ГОСТ Р МЭК 62508 Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора

ГОСТ Р МЭК 62864-1 Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Энергообеспечение бортовыми системами накопления энергии. Часть 1. Последовательные гибридные системы

ГОСТ Р МЭК 62928—2021 Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Требования к тяговым литий-ионным бортовым батареям

ПНСТ 1013—2025 Тяговый подвижной состав на водородных топливных элементах железнодорожный. Требования безопасности и методы контроля

ПНСТ 1015—2025 Тяговый подвижной состав на водородных топливных элементах железнодорожный. Часть 2. Система хранения водорода. Технические требования и методы контроля

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 и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

батарея (топливных элементов); БТЭ: Сборочная единица, содержащая два или более электрически соединенных мембранно-электродных блока с конструктивными элементами, обеспечивающими:

- прочность и единство сборочной единицы;
 - возможность отдельного подвода реагентов к анодам и катодам топливных элементов и отвода отработавших газов;
 - токосъем для выдачи суммарной электрической мощности всех входящих в батарею топливных элементов;
 - теплообмен для поддержания требуемого распределения температур мембранно-электродных блоков во всем диапазоне эксплуатационных режимов и для выдачи тепловой мощности.
- [ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-06-01]

3.2

взрывоопасная среда: Среда, состоящая из смеси с воздухом при атмосферных условиях, горючих веществ в виде газа, пара или пыли, в которой после воспламенения происходит самоподдерживающееся распространение пламени.

[ГОСТ 31610.10-1—2022, пункт 3.1]

3.3 водородное охрупчивание: Процесс, ведущий к понижению вязкости или пластичности металла вследствие поглощения водорода.

Примечание — Проникновение водорода в металл (сплав) может вызывать потерю его пластичности, прочности, приводить к появлению трещин (как правило, на субмикроскопическом уровне) или к его разрушению.

3.4 выключенное состояние: Состояние энергоустановки на основе топливных элементов, при котором она находится с отключенной подачей топлива, окислителя и без выходной мощности.

3.5 горячее состояние: Состояние энергоустановки на основе топливных элементов, при котором она находится с отключенной подачей топлива, окислителя и без выходной мощности, а температура ее основного оборудования находится в рабочем диапазоне.

3.6

горячий пуск (в топливном элементе): Пуск энергоустановки на основе топливных элементов из такого состояния, при котором температура ее основного оборудования находится в рабочем диапазоне.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-18-03]

3.7 допустимое рабочее давление: Заявляемое производителем максимальное давление, которое энергоустановка на основе топливных элементов может выдерживать без каких-либо повреждений или необратимой утраты функциональных свойств.

3.8 конструктивно-съемный узел; КСУ: Узел, который может быть заменен непосредственно на подвижном составе.

3.9 максимальная мощность: Максимальная мощность на выходе, при которой может работать энергоустановка на основе топливных элементов.

Примечание — Если работа с максимальной мощностью ограничена по времени, должна быть указана максимальная продолжительность.

3.10

максимальное рабочее давление; МРД: Самое высокое избыточное давление в компоненте или всей системе, которое ожидается во время нормальной работы.

[ГОСТ IEC 62282-4-101—2017, пункт 3.16]

3.11 минимальная мощность: Минимальная мощность на выходе, при которой может работать энергоустановка на основе топливных элементов.

Примечание — Если работа с минимальной мощностью ограничена по времени, должна быть указана максимальная продолжительность.

3.12 минимальное рабочее давление: Минимальное давление, ожидаемое во время нормальной эксплуатации компонента или системы.

3.13 модуль топливных элементов; МТЭ: Сборка, включающая одну или несколько батарей топливных элементов (также, возможно, использование дополнительных компонентов), предназначенная для интеграции в энергоустановку на основе топливных элементов.

Примечание — В модуль топливных элементов может входить следующее оборудование: его система управления и (опционально) устройство контроля напряжения элементов, устройство рециркуляции топлива, устройство для увлажнения реагентов, датчики, вентили и приводы. Данная подсистема является частью энергоустановки на основе топливных элементов.

3.14 мощность внутреннего потребления: Мощность, вырабатываемая батареями топливных элементов и потребляемая вспомогательными элементами энергоустановки на основе топливных элементов, расположенными внутри нее.

Примечание — Мощность внутреннего потребления может быть равна нулю.

3.15 мощность на входе: Мощность, потребляемая энергоустановкой на основе топливных элементов от внешнего источника питания и необходимая для работы вспомогательных элементов, которые не имеют внутреннего источника питания на уровне энергоустановки.

Примечание — Потребляемая мощность на собственные нужды частично или полностью обеспечивается мощностью на входе.

3.16 мощность на выходе: Мощность, генерируемая энергоустановкой на основе топливных элементов и доступная для внешнего использования.

Примечание — Мощность на выходе равна полной мощности за вычетом мощности внутреннего потребления.

3.17 мощность собственных нужд: Мощность, потребляемая всеми вспомогательными устройствами энергоустановки на основе топливных элементов, необходимыми для работы энергоустановки на основе топливных элементов, которая является суммой входной мощности и внутренней потребляемой мощности.

Примечание — Мощность собственных нужд равна сумме мощности на входе и разницы полной мощности и мощности на выходе.

3.18 набор мощности: Переходная фаза от минимальной мощности к номинальной мощности в рабочем состоянии.

3.19

нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени: Минимальное (максимальное) содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания. [ГОСТ 12.1.044—2018, пункт 3.27]

3.20

номинальная мощность (в топливных элементах): Максимально допустимое долговременное значение полезной мощности на выходе из энергоустановки на основе топливных элементов в нормальных рабочих условиях, заявленное производителем.

Примечание — Номинальную мощность измеряют в ваттах, Вт.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-14-04]

3.21 отключение (в топливных элементах): Последовательность операций по переходу энергоустановки на основе топливных элементов из состояния ожидания к выключенному состоянию.

3.22 отработавшая вода: Вода, образованная в результате электрохимической реакции внутри топливных элементов, подлежащая удалению во внешнюю среду.

3.23 переход в рабочее состояние: Переходная фаза из состояния ожидания в рабочее состояние.

3.24 переход в состояние ожидания: Переходная фаза из рабочего состояния в состояние ожидания.

3.25 полезная мощность: Электрическая мощность, генерируемая энергоустановкой на основе топливных элементов, которая может обеспечить энергетические, в том числе тяговые, потребности единицы подвижного состава, на котором данная энергоустановка установлена.

Примечание — Полезная мощность представляет собой разницу между мощностью на выходе и мощностью на входе.

3.26

полная мощность: Мощность постоянного электрического тока, генерируемого батареями топливных элементов.

Примечание — Полную мощность измеряют в ваттах, Вт.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-14-01]

3.27

поляризационная кривая (в топливных элементах): График зависимости выходного напряжения топливного элемента от плотности тока при определенных условиях протекания реакции.

Примечание — При построении поляризационной кривой для единиц измерения напряжения используют вольты, В, а для единиц измерения плотностей тока — амперы на сантиметр квадратный, А/см², или амперы на метр квадратный, А/м².

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-15-06]

3.28

рабочее состояние: Состояние энергоустановки на основе топливных элементов, при котором она генерирует электрическую мощность.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-21-02]

3.29 сброс мощности: Переходная фаза от номинальной мощности к минимальной мощности в рабочем состоянии.

3.30

(электронный) (силовой) преобразователь: Устройство для преобразования параметров электрической энергии, содержащее один или несколько вентиляционных приборов, а также, при необходимости — трансформаторов, фильтров и вспомогательных устройств.

[ГОСТ IEC 60050-551—2022, статья 551-12-01]

3.31 система контроля и управления; СКУ: Система, в состав которой входят устройство мониторинга и блоки управления и связи, служащая для управления подсистемами энергоустановки на основе топливных элементов, для связи с внешними системами и системой управления транспортного средства.

Примечание — Данная система является подсистемой энергоустановки на основе топливных элементов.

3.32 система отвода уходящих газов; СОУГ: Система, обеспечивающая отвод отработавших газов, продувку водородного контура.

Примечание — Данная система является подсистемой энергоустановки на основе топливных элементов.

3.33 система подачи водорода; СПВ: Система, которая обрабатывает, создает условия и/или транспортирует водород (или обогащенный водородом газ) в топливные элементы энергоустановки на основе топливных элементов.

3.34 система подачи окислителя; СПО: Система, обеспечивающая подачу в модуль топливных элементов или батарею топливных элементов окислителя требуемой чистоты, давления и расхода.

Примечание — Данная система является подсистемой энергоустановки на основе топливных элементов.

3.35 система терморегулирования; СТ: Система, в состав которой входят насос, теплообменник, вентилятор, датчики и вентили, способная управлять температурой топливных элементов в целях охлаждения и нагрева.

Примечание — Данная система является подсистемой энергоустановки на основе топливных элементов.

3.36 система управления электроэнергией и мощностью; СУЭМ: Система управления распределением мощности и потребления электроэнергии в требуемых параметрах, включая собственные нужды и обеспечение движения.

Примечание — Данная система является подсистемой энергоустановки на основе топливных элементов.

3.37 система хранения водорода; СХВ: Система, предназначенная для хранения и обработки водорода с целью подачи его в энергоустановку на основе топливных элементов.

Примечание — Система включает в себя заправочные устройства, трубопроводы для подачи топлива и продувки, а также сопутствующие устройства контроля, управления и безопасности.

3.38 состояние ожидания (предпусковое состояние): Состояние энергоустановки на основе топливных элементов при нулевой выходной электрической мощности, при котором она находится в условиях достаточной рабочей температуры и необходимых режимах, которое позволяет незамедлительно перевести энергоустановку в рабочее состояние со значительной выходной электрической мощностью.

3.39

состояние хранения: Состояние энергоустановки на основе топливных элементов, при котором она находится в нерабочем состоянии и, возможно, требует в соответствии с инструкциями производителя подвода тепловой, электрической энергии, инертной атмосферы или их сочетания для предотвращения повреждения составных частей.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-21-06]

3.40

топливный элемент: Электрохимическое устройство — первичный элемент, преобразующий химическую энергию топлива и окислителя в электрическую энергию (постоянный ток), тепловую энергию и продукты реакции.

Примечание — Топливо и окислитель для этих устройств, как правило, хранят за пределами топливного элемента и подают в топливный элемент по мере их потребления.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-08-01]

3.41

устройство сброса давления: Устройство, активируемое давлением и/или температурой, которое используется для предотвращения роста давления выше заданного максимума и, тем самым, предотвращает выход из строя части системы или всей системы, находящейся под давлением.

[ГОСТ ИЕС 62282-4-101—2017, пункт 3.19]

3.42

холодное состояние: Состояние энергоустановки на основе топливных элементов, при котором ее температура равна температуре окружающей среды, а мощность не потребляется и не генерируется.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-21-01]

3.43 **холодный пуск:** Пуск энергоустановки на основе топливных элементов из такого состояния, при котором ее температура находится ниже диапазона рабочих температур (из холодного состояния в состояние ожидания).

Примечание — В этом состоянии энергоустановка на основе топливных элементов может быть предварительно нагрета.

3.44

энергетическая установка [энергоустановка] на основе топливных элементов; ТЭУ: Энергетическая установка, в которой для преобразования химической энергии топлива в электрическую и тепловую используются топливные элементы.

Примечание — Включает в себя электрохимический генератор на основе топливных элементов, системы и оборудование, обеспечивающие энергоснабжение потребителя.

[ГОСТ Р 56188.1—2023, статья 485-09-01]

4 Технические требования

4.1 Общие требования

4.1.1 В общем случае в состав ТЭУ, как показано на рисунке 1, входят следующие внутренние подсистемы:

- СПВ;
- СПО;
- СТ;
- СОУГ;
- СУЭМ;
- СКУ;
- БТЭ/МТЭ.

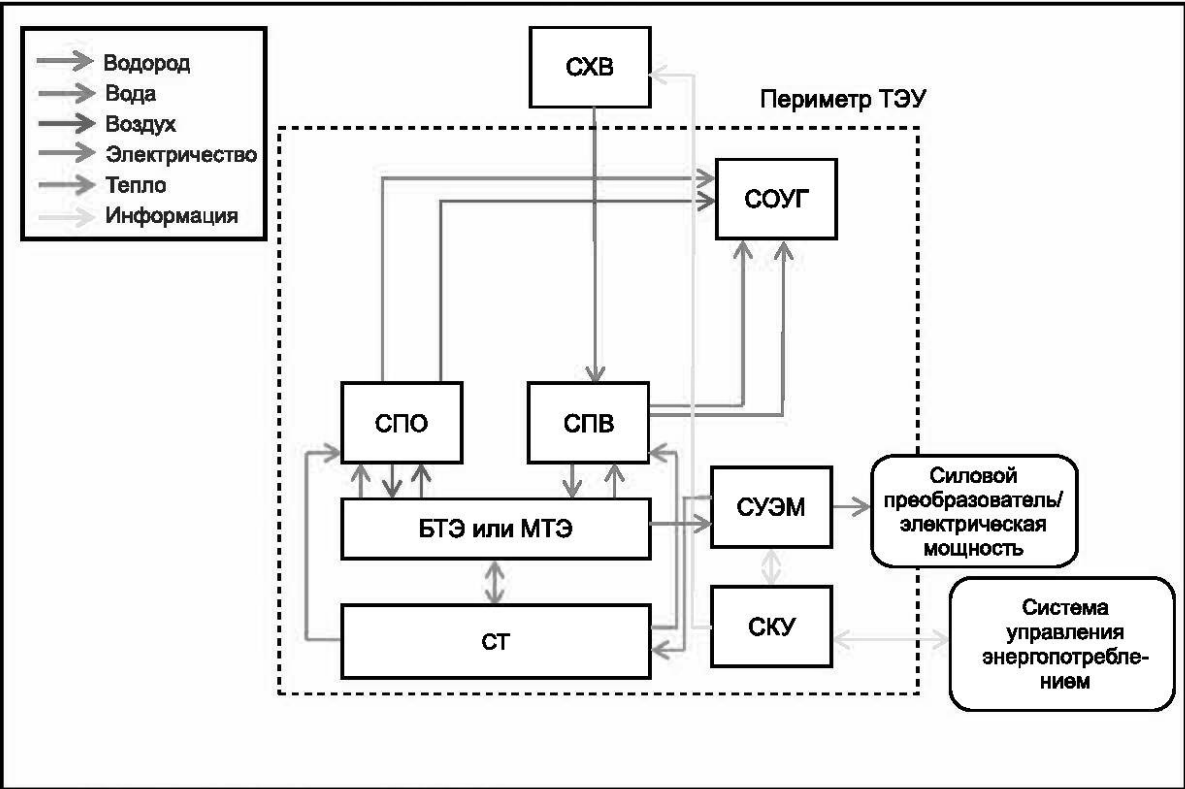


Рисунок 1 — Пример состава ТЭУ

Требования к СХВ приведены в ПНСТ 1015—2025.

4.1.2 В технической документации на ТЭУ должны быть установлены следующие параметры:

- а) номинальная мощность ТЭУ;
- б) минимальная мощность ТЭУ;
- в) максимальный КПД ТЭУ и мощность, при которой он достигается;
- г) КПД на номинальной мощности;
- д) диапазон изменения напряжения с указанием максимального и минимального значений;
- е) диапазон изменения силы тока с указанием максимального и минимального значений;
- ж) время набора мощности;
- и) время сброса мощности;
- к) тип и состав теплоносителя СТ;
- л) массовый расход водорода (в кг/ч или г/с) при работе на номинальной и минимальной мощности ТЭУ;
- м) максимальное и минимальное рабочее давление водорода;
- н) климатические условия эксплуатации;
- п) назначенный срок службы (ресурс).

4.1.3 Типичные режимы работы должны соответствовать показанным на рисунке 2.

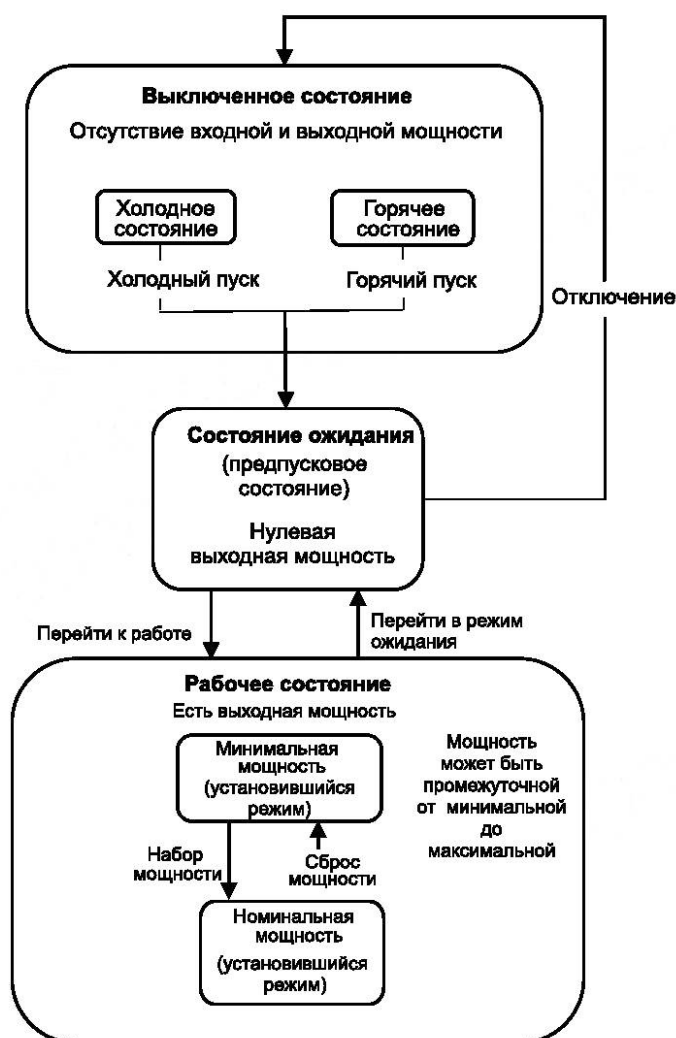


Рисунок 2 — Типичная диаграмма состояний для ТЭУ

4.2 Эксплуатационные требования

4.2.1 Все компоненты ТЭУ должны быть рассчитаны на массовый расход водорода, соответствующий номинальной мощности [см. 4.1.2, перечисление 1)].

4.2.2 Составные части ТЭУ могут быть смонтированы в кузове, в подвагонном пространстве и на крыше подвижного состава.

ТЭУ должна сохранять работоспособность и функционировать при максимально и минимально допустимых значениях температуры поверхности корпуса и температуры воздуха внутри ТЭУ, определяемых на этапе технического задания на подвижной состав. При монтаже на крыше необходимо учитывать влияние солнечного излучения согласно ГОСТ 15150.

4.3 Требования к конструкции

4.3.1 Каждый из компонентов ТЭУ, относящихся к КСУ, должен иметь крепления для его подъема, если его масса превышает 20 кг.

4.3.2 Конструкция ТЭУ должна предусматривать технические решения для минимизации повторного втягивания теплого воздуха с выхода СТ на ее вход и минимизировать возможность смешивания газов между теплым воздухом, идущим от СТ, и входом подачи окислителя.

4.3.3 Конструкция ТЭУ должна предусматривать технические решения, препятствующие (минимизирующие) образование льда на элементах ТЭУ во время эксплуатации в зимний период в местах, где лед может оказать существенное влияние на ее работоспособность. Эффективность применения технических решений, являющихся элементами конструкции, подтверждается при подконтрольной эксплуатации.

4.3.4 Элементы конструкций ТЭУ, рассчитанные на взаимодействие с водородом, должны изготавливаться из материалов, устойчивых к водородному охрупчиванию и неподверженных ускоренному усталостному разрушению под воздействием водорода.

4.3.5 Конструкция ТЭУ должна обеспечивать безопасную и надежную эксплуатацию при совершении человеком возможной ошибки в процессе управления или обслуживания (ремонте), для этого рекомендуется при проектировании применять методы человеко-ориентированного проектирования по ГОСТ Р МЭК 62508.

4.4 Требования стойкости к механическим и климатическим факторам внешней среды

4.4.1 Расположение ТЭУ на водородном подвижном составе и климатическое исполнение ТЭУ по ГОСТ 15150 должны быть установлены в технической документации на ТЭУ.

4.4.2 ТЭУ в целом и все ее компоненты должны быть работоспособны во всем диапазоне температур эксплуатации для климатического исполнения, установленного для данной ТЭУ, в соответствии с ГОСТ 15150—69 (пункт 2.8). Допускается ограничение времени функционирования и/или применение специальных мер для обеспечения функционирования в диапазонах температур от рабочих до предельных рабочих.

4.4.3 Условия эксплуатации электрооборудования ТЭУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 33798.1—2016 (раздел 7).

4.4.4 Категория коррозионной активности атмосферы должна соответствовать ГОСТ 9.107—2023 (таблица 1).

4.4.5 Металлические корпуса и кожухи электрооборудования компонентов ТЭУ должны быть заземлены по ГОСТ 12.1.030.

4.4.6 Степень защиты от пыли и влаги указывается согласно ГОСТ 14254 и определяется требованиями к условиям эксплуатации подвижного состава.

4.4.7 Конструкция ТЭУ должна быть рассчитана на обеспечение надежной работы в условиях эксплуатации при воздействии механических факторов внешней среды в части вибрации и ударных нагрузок, определенных группой М25 по ГОСТ 30631—99 (подраздел 4.3, таблица 2). Узлы крепления ТЭУ к конструкциям подвижного состава должны быть рассчитаны на воздействие продольного ускорения не менее 5g.

4.5 Требования к системам энергоустановки на основе топливных элементов

4.5.1 Требования к системе подачи водорода

4.5.1.1 ТЭУ должна соответствовать характеристикам СХВ в части диапазона давления, температуры и расхода.

4.5.1.2 Узлы СПВ должны обеспечивать возможность соединения/разъединения без снятия каких-либо других компонентов.

4.5.1.3 СПВ должна выдерживать допустимое рабочее давление, которое превышает МРД минимум в 1,4 раза, без ее повреждений.

4.5.1.4 Должно быть установлено устройство сброса давления для предотвращения риска возникновения избыточного давления, превышающего допустимое рабочее давление, которое может возникнуть в СХВ. Это устройство сброса давления должно быть установлено либо на входе в ТЭУ, либо в СХВ за регулятором давления.

Если между СХВ и ТЭУ устанавливают запорный клапан, устройство сброса давления следует располагать между СХВ и запорным клапаном.

4.5.2 Требования к системе подачи окислителя

4.5.2.1 СПО должна выдерживать допустимое рабочее давление, которое превышает МРД минимум в 1,4 раза, без ее повреждений.

4.5.2.2 Для защиты СПО от пыли, песка и солей в окружающем воздухе должен быть установлен воздушный фильтр. Степень очистки определяется разработчиком ТЭУ.

4.5.3 Требования к системе терморегулирования

4.5.3.1 При наличии в СТ насосной установки в контуре СТ должно быть установлено устройство фильтрации для предотвращения риска повреждения оборудования СТ вследствие скопления частиц.

4.5.3.2 В контуре СТ БТЭ должны быть установлены деионизатор охлаждающей жидкости и датчик электропроводности.

4.5.3.3 Используемые металлические и неметаллические материалы СТ должны отвечать требованиям по коррозионной стойкости при контакте с теплоносителем при рабочей температуре. Кроме того, материалы, используемые в контурах БТЭ и электрооборудования, не должны при контакте с теплоносителем образовывать ионы, повышающие электропроводность теплоносителя — в частности, не допускается использование меди и медных сплавов.

4.5.3.4 СТ должна выдерживать превышение давления в 1,3 раза выше МРД при максимальной или минимальной рабочей температуре эксплуатации, в зависимости от того, какая из них более неблагоприятна (или в 1,5 раза выше МРД при температуре окружающей среды) согласно ГОСТ Р 56188.2—2023 (подраздел 5.6), кроме случаев, когда СТ рассчитана на предотвращение превышения давления.

4.5.3.5 В состав СТ должен входить расширительный бак, рассчитанный на тепловое расширение жидкости теплоносителя.

4.5.3.6 Расширительный бак должен располагаться в самой высокой точке контура охлаждения.

4.5.3.7 Каждый бак должен быть снабжен устройством сброса давления для защиты емкости в соответствии с допустимым рабочим давлением контура СТ.

4.5.3.8 Конструкция должна предусматривать заправку, слив жидкости из контура охлаждения и его развоздушивание (продувку) в максимально облегчающем обслуживании исполнении. Места, в которых могли бы образовываться воздушные карманы, должны быть конструктивно исключены расположением точек слива и развоздушивания.

4.5.3.9 Контур терморегулирования БТЭ и вспомогательного оборудования ТЭУ должны быть раздельными.

4.5.4 Требования к системе отвода уходящих газов

4.5.4.1 Должна быть предусмотрена защита от льда и обмерзания в точках слива отработавшей воды и вывода отработанных газов во избежание блокировки и повреждений оборудования.

4.5.4.2 Технические условия, касающиеся выброса водорода, приведены в 8.5.

4.5.5 Требования к системе управления электроэнергией и мощностью

4.5.5.1 Конструкция СУЭМ не должна допускать образования конденсата.

4.5.5.2 Основные характеристики электропитания должны соответствовать требованиям ГОСТ Р МЭК 62928—2021 (подраздел 6.4).

4.5.5.3 Для проведения технического обслуживания ТЭУ автоматические выключатели, предохранители и переключатели должны быть расположены централизованно на доступной панели.

4.5.6 Требования к системе контроля и управления

4.5.6.1 СКУ должна включать порт связи для целей бортовой диагностики.

4.5.6.2 СКУ должна иметь функцию оперативной передачи информации от датчиков, приборов в другие системы управления и визуализации информации (в первую очередь в кабину подвижного состава). Подробный перечень данных, формат и протокол связи определяются на этапе разработки технического задания.

5 Требования к устройствам компонентов энергоустановки на основе топливных элементов

5.1 Требования к электромагнитной совместимости электрооборудования — по ГОСТ 33436.3-2.

5.2 Все электрические соединения ТЭУ следует проектировать так, чтобы исключать вероятность подачи обратной полярности (например, за счет защиты от ошибок, вызванных человеческим фактором: кодировки разъемов, маркировки и т.п.).

5.3 Оборудование следует проектировать в соответствии с ГОСТ 33322.

5.4 Все электрические соединения ТЭУ следует проектировать так, чтобы исключать возможность возникновения искры.

5.5 Должно быть установлено защитное отключающее устройство, способное отключить максимальный рабочий ток ТЭУ.

5.6 Коммутационное оборудование ТЭУ должно обеспечивать связь с другими микропроцессорными устройствами, установленными на водородном подвижном составе, для обеспечения управления и контроля работы ТЭУ.

5.7 Системные средства взаимодействия микропроцессорных устройств проектируют согласно сетевой модели OSI/ISO по ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1 с учетом требований ГОСТ 34014.

5.8 Безопасность связи и целостность передаваемых данных должна обеспечиваться:

- а) физическими средствами;
- б) программным обеспечением.

6 Требования надежности

6.1 При задании требований к надежности ТЭУ рекомендуется использовать следующие показатели:

- средняя наработка на отказ;
- средний параметр потока отказов;
- вероятность безотказной работы ТЭУ за рабочий цикл;
- среднее время до восстановления;
- назначенный срок службы или назначенный ресурс.

При необходимости может быть использована другая номенклатура показателей, обоснованная по ГОСТ 27.003 и установленная в технической документации ТЭУ.

Допускается указывать назначенный ресурс и назначенный срок службы, если решение о прекращении эксплуатации должно быть принято в зависимости от того, что наступит раньше.

6.2 Значения показателей по 6.1 должны быть указаны в технической документации ТЭУ.

6.3 Конструкция ТЭУ должна быть обслуживаемой и ремонтпригодной, при этом должен обеспечиваться принцип модульности с возможностью замены компонентов, вышедших из строя или подлежащих ремонту, на новые (отремонтированные).

6.4 Регламент технического обслуживания и ремонта ТЭУ должен быть установлен в технической документации ТЭУ. Периодичность обслуживания и ремонта ТЭУ должна быть кратной системе технического обслуживания и ремонта водородного тягового подвижного состава.

6.5 Соответствие компонентов ТЭУ требованиям надежности подтверждают расчетными или расчетно-экспериментальными методами по ГОСТ 27.301 и ГОСТ Р 27.301.

6.6 Критерии отказа и предельного состояния ТЭУ должны быть указаны в технической документации на нее.

6.7 Назначенный срок службы (назначенный ресурс) компонентов ТЭУ должен быть установлен в технической документации в часах работы (километрах пробега) водородного подвижного состава.

7 Требования безопасности

7.1 Применяемые для изготовления ТЭУ в целом материалы должны оказывать минимальное вредное воздействие на окружающую среду, предпочтительно использование материалов, пригодных для вторичной переработки по окончании срока службы ТЭУ.

Правила обращения с материалами при утилизации должны быть включены в техническую документацию ТЭУ, включая описание методов утилизации отходов.

7.2 Во время эксплуатации внутри ТЭУ должно быть исключено скопление водорода вследствие утечки.

7.3 Любое конструктивное решение, включающее электрические, электронные и/или программируемые электронные функции, должно пройти специальную количественную оценку риска и соответствовать требуемому уровню функциональной безопасности. Архитектуру программного обеспечения, связанного с безопасностью, проектируют и проверяют в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62279.

7.4 Концентрация водорода вблизи ТЭУ (внешняя утечка) при нормальной эксплуатации не должна превышать в среднем 1 % по объему, что соответствует 25 % нижнего концентрационного предела распространения пламени.

7.5 Концентрация водорода в газовой смеси, выпускаемой СОУГ в окружающую среду, при нормальной эксплуатации не должна превышать в среднем 3 % по объему в течение любого 3-секундного интервала и ни в какой момент времени не должна превышать 4 %.

7.6 Отработанные газы, в которых может содержаться водород, не должны быть направлены к источникам искрения и/или поверхностям, температура которых превышает температуру самовоспламенения водорода.

7.7 Контроль загазованности отсека ТЭУ во время ее работы — непрерывно посредством устройств обнаружения наличия водорода в окружающей среде, способных передать значение концентрации водорода системе управления.

7.8 Защита от поражения электрическим током должна отвечать требованиям ГОСТ 33322.

7.9 В случае внешнего или внутреннего пожара в ТЭУ система защиты ТЭУ должна закрыть клапан подачи водорода или передать в СХВ команду на закрытие клапана подачи водорода, чтобы избежать возгорания водородного топлива.

7.10 Показатели пожарной опасности материалов, с которыми контактирует персонал, — по ГОСТ 12.1.044. Класс опасности материалов и вещества должен быть не ниже четвертого по ГОСТ 12.1.007. Меры предосторожности против риска поражения персонала электрическим током от оборудования при контакте — по ГОСТ 33322.

7.11 Перед проведением любых операций по техническому обслуживанию СПВ, МТЭ и СОУГ водород, находящийся внутри соответствующей системы ТЭУ, должен быть удален с помощью процесса продувки для исключения присутствия остатков водорода.

7.12 Должны быть предусмотрены средства для автоматического отключения ТЭУ или ее переход в безопасное состояние при отказах согласно ГОСТ Р 56188.3.100—2023 (подраздел 5.8).

7.13 Помещения (отсеки), в которых размещается ТЭУ или ее компоненты, должны быть классифицированы на предмет взрывоопасности. Классификация взрывоопасных зон должна отвечать требованиям ст. 19 [1]. При наличии взрывоопасных зон узлы электрического оборудования и установка в этой зоне должны соответствовать требованиям ГОСТ IEC 60079-14.

8 Маркировка

8.1 На визуально доступной части корпуса (отсека, контейнера) ТЭУ, при расположении в едином корпусе, должны быть размещены следующие знаки безопасности в соответствии с ГОСТ 12.4.026:

а) предупреждающий знак:

1) W08 — опасность поражения электрическим током;

б) запрещающий знак:

1) P02 — запрещается пользоваться открытым огнем и курить.

8.2 Внутри корпуса ТЭУ должны быть размещены следующие знаки безопасности в соответствии с ГОСТ 12.4.026:

а) предупреждающие знаки:

1) W08 — опасность поражения электрическим током;

б) запрещающий знак:

1) P02 — запрещается пользоваться открытым огнем и курить.

8.3 Каждое устройство, которое может быть использовано отдельно, должно быть оборудовано заводской табличкой с указанием приведенных ниже сведений:

- наименование изготовителя;
- обозначение изделия;
- наименование изделия;

- серийный номер (заводской);
- масса (сухая и в экипированном состоянии);
- для электротехнического оборудования — паспортные параметры электроэнергии на выходе, такие как номинальное напряжение, максимальный длительный ток и мощность на выходе ТЭУ;
- для газового оборудования — параметры используемого топлива, номинальное рабочее давление и минимальное/максимальное рабочее давление.

Расположение заводской таблички должно обеспечивать удобство ее осмотра и очистки в ходе технического обслуживания после окончательной установки ТЭУ по месту ее постоянной эксплуатации.

Маркировка должна оставаться видимой в течение всего срока службы, а табличка должна быть прочно закреплена на ТЭУ.

8.4 На каждом КСУ должна быть маркировка, содержащая следующую информацию:

- наименование изготовителя;
- обозначение изделия;
- наименование изделия;
- серийный номер (заводской);
- общая масса (если более 20 кг).

9 Транспортирование и хранение

9.1 Перед транспортированием и/или хранением ТЭУ следует отсоединить от СХВ, а водород должен быть удален в соответствии с 8.11, а также должны быть выполнены операции согласно руководству по эксплуатации ТЭУ.

9.2 Компоненты ТЭУ должны:

а) иметь возможность безопасного перемещения и транспортирования и, при необходимости, обеспечиваться специальными средствами для перемещения с помощью кранов или аналогичного оборудования;

б) быть упакованным или сконструированным таким образом, чтобы их можно было безопасно и без повреждений хранить (например, иметь достаточную устойчивость, специальные опоры).

10 Методы испытаний и контроля

10.1 Наличие обозначения, размеров и показателей компонентов ТЭУ (см. 4.1.1, 4.1.2) в технической документации проверяют визуальным контролем в порядке выполнения ее анализа.

10.2 Испытание на перепад давления в МТЭ проводят в соответствии с ГОСТ Р 56188.2—2023 (подраздел 5.10).

10.3 Испытания на утечку водорода проводят в соответствии с ГОСТ Р 56188.2—2023 (подраздел 5.3).

10.4 Испытания СТ на допустимое рабочее давление проводят в соответствии с ГОСТ Р 56188.2—2023 (подраздел 5.6).

10.5 Испытание на безопасность проводят путем моделирования ситуации, чтобы гарантировать, что вся цепочка безопасности от обнаружения опасности до безопасного состояния полностью функционирует.

10.6 Испытание на внешнюю утечку (см. 7.4) проводят в соответствии с ГОСТ ИЕС 62282-4-101—2017 (подраздел 5.5).

10.7 Концентрация водорода в отработанных газах, измеряемая на выходе ТЭУ (см. 7.5), должна замеряться при различных режимах работы ТЭУ. Рабочую часть датчика водорода размещают на оси потока отработанных газов на расстоянии не более 100 мм от точки выпуска отработанных газов снаружи транспортного средства.

10.8 Испытания на виброустойчивость, вибропрочность, ударную прочность и воздействия одиночных ударов выполняют в соответствии с ГОСТ 33787.

Допускается испытание на удар и вибрацию согласно ГОСТ 33787 на уровне компонентов и численное моделирование, выполненное на уровне ТЭУ, в соответствии с ГОСТ 33787.

Если ТЭУ в период испытаний не будет работать, то магистраль подачи водорода должна быть отключена, чтобы избежать возможных утечек.

10.9 Испытания защиты компонентов ТЭУ и электрических соединительных устройств выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 14254.

10.10 Испытание на электромагнитную совместимость для ТЭУ номинальной мощностью до 50 кВт следует проводить отдельно, в соответствии с ГОСТ 33436.3-2 (при приемочных испытаниях первого опытного образца ТЭУ, периодических и типовых испытаниях ТЭУ).

Для ТЭУ номинальной мощностью свыше 50 кВт испытание следует проводить после установки ТЭУ на подвижной состав и в соответствии с ГОСТ 33436.3-1 (при приемочных испытаниях первого опытного образца и при периодических и типовых испытаниях подвижного состава).

10.11 Пример обработки полученных данных при проведении испытаний (см. 10.13, 10.14) представлен в приложении А.

10.12 Испытание на допустимое рабочее давление

10.12.1 Испытание проводят в соответствии с требованиями, установленными в 4.5.1.3, 4.5.1.4.

10.12.2 Если устройство сброса давления от избыточного давления установлено на ТЭУ, критерии давления следует скорректировать так, чтобы избежать срабатывания устройства сброса давления во время испытания.

10.12.3 После воздействия давлением на компоненты СПВ не должно быть никаких утечек, признаков разрыва, трещин, деформации или других физических повреждений.

10.13 Испытания на установившемся режиме

10.13.1 Перед испытанием ТЭУ должна проработать более 30 мин при номинальной мощности, указанной изготовителем. Если испытания на установившихся режимах работы проводятся непрерывно, то нет необходимости в том, чтобы ТЭУ работали на номинальной мощности, указанной изготовителем, более 30 мин между повторными испытаниями.

10.13.2 В установившемся режиме измеряют выходное напряжение и силу тока ТЭУ, входное напряжение и силу тока ТЭУ, температуру, давление и массовый расход водорода, температуру, давление и влажность окружающей среды, температуру и объем отработавшей воды. Во время испытания должны регистрироваться параметры подсистем ТЭУ, указанные в таблице 1. Допускается регистрировать дополнительные параметры в ходе испытаний, установленные в технической документации ТЭУ. Максимальный интервал опроса датчиков должен составлять 1 с.

Т а б л и ц а 1 — Параметры подсистем ТЭУ для регистрации

Подсистема	Параметр
БТЭ	Сила тока. Напряжение
СТ	Температура теплоносителя на входе. Температура теплоносителя на выходе. Расход теплоносителя
СПО	Расход воздуха. Давление воздуха на входе в МТЭ

10.13.3 Испытания проводят при следующих значениях мощности:

- минимальная мощность (если применимо);
- номинальная мощность;
- максимальная мощность (если применимо);
- мощность, соответствующая максимальному КПД.

10.13.4 Испытания на каждой мощности проводят в течение 2 ч. Если допустимая продолжительность работы при максимальной мощности составляет менее 2 ч, то испытание следует проводить в течение времени, указанного изготовителем для максимальной мощности.

10.13.5 Если допустимая продолжительность работы при минимальной мощности составляет менее 2 ч, то испытание следует проводить при наименьшей мощности, при которой ТЭУ может стабильно работать в течение двух и более часов и установленной в технической документации ТЭУ.

10.13.6 В ходе испытания должны быть измерены температуры на доступных поверхностях, термочувствительных компонентов и материалов, а экстраполяция при максимальной температуре окружающей среды должна соответствовать ГОСТ IEC 62282-4-101—2017 (таблица 3).

10.14 Испытания в переходных режимах работы

10.14.1 Испытания проводят для следующих переходных режимов:

- переход из холодного состояния в рабочее состояние;
- переход из горячего состояния в рабочее состояние;
- набор мощности после холодного пуска;
- набор мощности после горячего пуска;
- сброс мощности;
- переход в режим ожидания и отключение ТЭУ.

10.14.2 В ходе испытания фиксируют параметры согласно 10.13.2. Скорость опроса датчиков — не более 100 мс.

10.14.3 Фиксируют время начала и завершения переходного режима.

10.15 Испытания на соответствие кривой поляризации

10.15.1 Перед началом испытания ТЭУ должна быть в горячем состоянии.

10.15.2 Режим работы ТЭУ изменяют в соответствии с таблицей 2.

Т а б л и ц а 2 — Испытание на соответствие кривой поляризации

Порядковый номер режима	Мощность на выходе	Время работы на данном режиме, с
1	Минимальная мощность	60
2	10 % от номинальной мощности	120
3	20 % от номинальной мощности	120
4	30 % от номинальной мощности	120
5	40 % от номинальной мощности	120
6	50 % от номинальной мощности	120
7	60 % от номинальной мощности	120
8	70 % от номинальной мощности	120
9	80 % от номинальной мощности	120
10	90 % от номинальной мощности	120
11	Номинальная мощность	120
Примечание — Если время работы при минимальной мощности составляет менее 60 с, то режим минимальной мощности должен длиться в течение времени, указанного изготовителем.		

10.15.3 В ходе испытания фиксируют параметры согласно 10.13.2.

10.15.4 Кривую поляризации представляют в виде зависимости выходного напряжения ТЭУ от силы тока.

10.16 Климатические испытания

10.16.1 Климатические испытания допускается проводить в натурных условиях, а также в климатической камере, которая воспроизводит условия окружающей среды в соответствии с требованиями испытания.

10.16.2 В начале испытания на воздействие низких температур ТЭУ должна находиться в холодном состоянии. Если МТЭ недостаточно увлажнен, то ТЭУ должна работать на номинальной мощности не менее 30 мин, после чего должна быть переведена в холодное состояние.

10.16.3 В начале испытания на воздействие высоких температур ТЭУ должна находиться в горячем состоянии.

10.16.4 В начале испытания ТЭУ находится в выключенном состоянии. После включения режимы ТЭУ меняют в соответствии с режимами, указанными в таблице 2, после чего ТЭУ должна работать на номинальной мощности не менее 1 ч.

10.16.5 В ходе испытания фиксируют параметры согласно 10.13.2.

10.17 Излучение акустического шума

10.17.1 Уровень шума, создаваемый ТЭУ, должен быть измерен во время испытания на соответствие кривой поляризации в соответствии с 10.15.

Дополнительный режим работы должен быть согласован между пользователем и изготовителем для измерения максимального значения уровня шума.

10.17.2 Испытание по замеру акустического шума следует проводить в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3744 и ГОСТ Р ИСО 3746.

10.17.3 Для измерения уровня звуковой мощности по интенсивности звука проводят испытание в соответствии с ГОСТ 30457.

Приложение А
(справочное)

Обработка полученных данных при проведении испытаний

А.1 Обработка результатов испытаний на установившемся режиме

А.1.1 Мощность на выходе

Среднюю мощность на выходе $\overline{N_{\text{вых}}}$, кВт, рассчитывают по формуле

$$\overline{N_{\text{вых}}} = \frac{\int I_{\text{вых}} \cdot U_{\text{вых}} dt}{\Delta t} = \frac{\int N_{\text{вых}} dt}{\Delta t} = \frac{E_{\text{вых}}}{\Delta t}, \quad (\text{А.1})$$

где $I_{\text{вых}}$ — сила тока на выходе ТЭУ в период испытаний, А;
 $U_{\text{вых}}$ — напряжение на выходе ТЭУ в период испытаний, кВ;
 Δt — продолжительность испытания, с;
 $N_{\text{вых}}$ — мощность на выходе в период испытаний, кВт;
 $E_{\text{вых}}$ — энергия на выходе в период испытаний, кДж.

А.1.2 Мощность на входе

Общую мощность на входе ТЭУ $\overline{N_{\text{вх}}}$, кВт, рассчитывают по формуле

$$\overline{N_{\text{вх}}} = \frac{\sum \int N_{\text{вх}} dt}{\Delta t} = \frac{\sum E_{\text{вх}}}{\Delta t}, \quad (\text{А.2})$$

где $N_{\text{вх}}$ — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период испытаний, кВт;
 Δt — продолжительность испытания, с;
 $E_{\text{вх}}$ — потребляемая энергия каждого источника питания в период испытаний, кДж;
 для постоянного тока $N_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} \cdot U_{\text{вх}}$;
 для переменного однофазного тока $N_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} \cdot U_{\text{вх}} \cdot \varphi$;
 для переменного трехфазного тока $N_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} \cdot U_{\text{вх}} \cdot \varphi \cdot \sqrt{3}$,
 где $I_{\text{вх}}$ — входная сила тока для каждого источника питания в период испытаний, А;
 $U_{\text{вх}}$ — входное напряжение для каждого источника питания в период испытаний, кВ;
 φ — коэффициент мощности.

А.1.3 Полезная мощность и мощность собственных нужд

Вычисленная полезная мощность определяется как мощность на выходе минус мощность на входе, при условии, что мощность на входе и мощность на выходе находятся в одном и том же положении в цепи. Среднюю полезную мощность ТЭУ $\overline{N_{\text{е}}}$, кВт, рассчитывают по формуле

$$\overline{N_{\text{е}}} = \overline{N_{\text{вых}}} - \overline{N_{\text{вх}}}, \quad (\text{А.3})$$

где $\overline{N_{\text{вых}}}$ — средняя мощность на выходе ТЭУ, кВт;
 $\overline{N_{\text{вх}}}$ — средняя мощность на входе ТЭУ, кВт.

Методы коррекции полезной мощности для различных конфигураций электрической системы должны соответствовать приложению Б.

Потребление собственных нужд необходимо для поддержания работы ТЭУ и требуется во время запуска и выключения. Среднюю полную мощность $\overline{N_{\text{п}}}$, кВт, вычисляют по формуле

$$\overline{N_{\text{п}}} = \sum I_{\text{БТЭ}} \cdot U_{\text{БТЭ}}, \quad (\text{А.4})$$

где $I_{\text{БТЭ}}$ — сила тока БТЭ для каждого БТЭ в период испытаний, А;
 $U_{\text{БТЭ}}$ — напряжение БТЭ для каждого БТЭ в период испытаний, кВ.

Потребление собственных нужд $\overline{N_{CH}}$, кВт, вычисляют по формуле

$$\overline{N_{CH}} = \overline{N_n} - \overline{N_{вых}} + \overline{N_{вх}}, \quad (A.5)$$

где N_n — средняя полная мощность, кВт;

$\overline{N_{вых}}$ — средняя мощность на выходе ТЭУ, кВт;

$\overline{N_{вх}}$ — средняя мощность на входе ТЭУ, кВт.

A.1.4 Потребление водорода и электрический КПД

Потребление водорода Q_H , кг, определяют по формуле

$$Q_H = q_{СМР} = \int q_{МР} dt, \quad (A.6)$$

где $q_{СМР}$ — суммарный массовый расход топлива за время испытания, кг;

$q_{МР}$ — массовый расход топлива в условиях испытания, кг/с.

Электрический КПД ТЭУ $\eta_{ТЭУ}$, %, определяют по формуле

$$\eta_{ТЭУ} = \frac{\widetilde{N_n} \cdot \Delta t}{Q_H \cdot H_{uH_2}} \cdot 100 \%, \quad (A.7)$$

где $\widetilde{N_n}$ — скорректированная средняя полезная мощность, кВт;

Δt — продолжительность испытания, с;

Q_H — потребление водорода, кг;

H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг.

A.1.5 Отработавшая вода

После установки устройства для сбора отработавшей воды запускают ТЭУ. Измеряют следующие параметры:

- общее количество отработавшей воды (необходимо фиксировать продолжительность работы), г;
- температуру отработавшей воды, °С;
- кислотность среды, рН.

A.1.6 Колебания выходного напряжения

Если ТЭУ не оснащена силовым преобразователем, колебание выходного напряжения S_U , %, вычисляют по формуле

$$S_U = \frac{(U_{\max} - U_{\min})}{(U_{\max} + U_{\min})} \cdot 100 \%, \quad (A.8)$$

где $U_{\max}$ — максимальное выходное напряжение для ТЭУ при заданной выходной мощности в установившемся режиме, В;

$U_{\min}$ — минимальное выходное напряжение для ТЭУ при заданной выходной мощности в установившемся режиме, В.

A.2 Обработка результатов испытаний в переходном режиме

A.2.1 Запуск и переход в режим работы

На рисунке А.1 представлен пример испытания на время запуска и перехода в режим работы.

Время запуска Δt_3 , с рассчитывают по формуле

$$\Delta t_3 = t_{3.31} - t_{н.3}, \quad (A.9)$$

где $t_{3.31}$ — время завершения запуска, с;

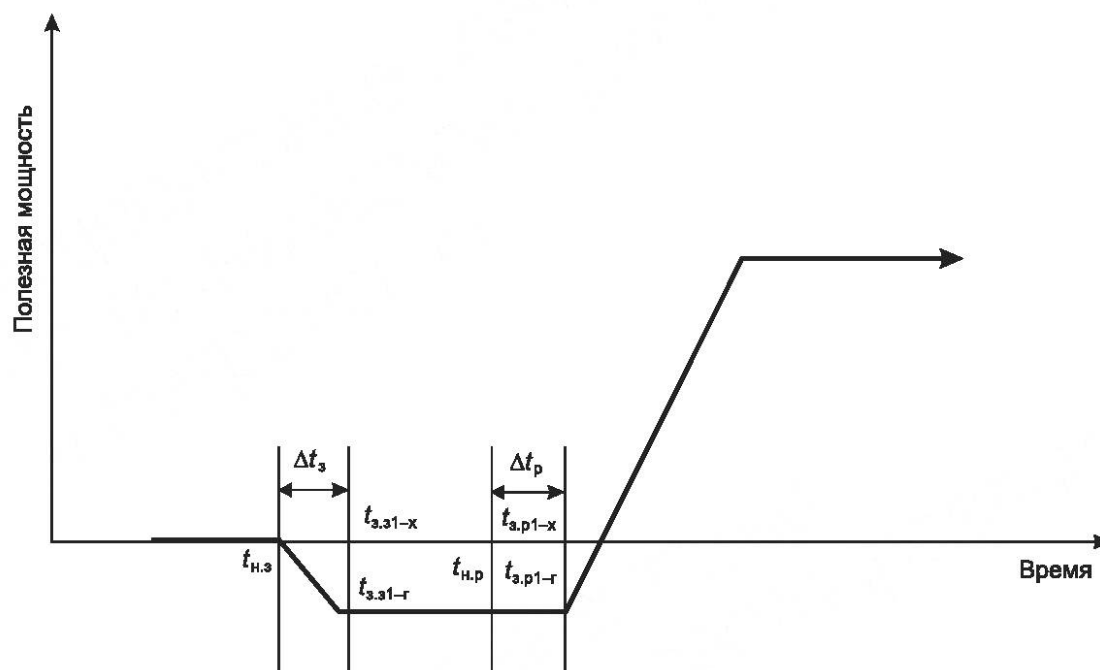
$t_{н.3}$ — время начала запуска, с.

Время перехода в рабочее состояние Δt_p , с рассчитывают по формуле

$$\Delta t_p = t_{3.p1} - t_{н.р}, \quad (\text{A.10})$$

где $t_{3.p1}$ — время завершения перехода в рабочее состояние, с.

$t_{н.р}$ — время начала перехода в рабочее состояние, с;



$t_{3.з1-х}$ — время завершения запуска для холодного пуска; $t_{3.з1-г}$ — время завершения запуска для горячего пуска;
 $\Delta t_з$ — время запуска; $t_{н.з}$ — время начала запуска; $t_{3.p1-х}$ — время завершения перехода в режим работы для холодного пуска;
 $t_{3.p1-г}$ — время завершения перехода в рабочее состояние для горячего пуска; Δt_p — время перехода в рабочее состояние;
 $t_{н.р}$ — время начала перехода в рабочее состояние

Рисунок А.1 — Пример испытания на время запуска и перехода в режим работы

П р и м е ч а н и я

- 1 Время начала запуска — время, когда подается сигнал запуска.
- 2 Завершение времени запуска — время, когда ТЭУ переходят в режим ожидания.
- 3 Время начало перехода в рабочее состояние — время, когда подается сигнал нагрузки.
- 4 Время завершения перехода в рабочее состояние — время, когда ТЭУ переходят в рабочее состояние.

Энергию топлива, потребляемую во время запуска и перехода в рабочее состояние, рассчитывают с помощью расхода водорода, измеренного в течение времени запуска и перехода в рабочее состояние. Энергию топлива, потребляемую во время запуска, $H_з$, кДж, рассчитывают по формуле

$$H_з = H_{uH_2} \cdot Q_{H-з}, \quad (\text{A.11})$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;

$Q_{H-з}$ — расход водорода, измеренный в течение запуска, кг.

Энергию топлива, потребляемую во время перехода в рабочее состояние, H_p , кДж, рассчитывают по формуле

$$H_p = H_{uH_2} \cdot Q_{H-p}, \quad (\text{A.12})$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;

Q_{H-p} — расход водорода, измеренный в течение перехода в рабочее состояние, кг.

Подводимую энергию, потребляемую во время запуска, E_3 , кДж, рассчитывают по формуле

$$E_3 = \Sigma (E_{\text{вх-3.31}} - E_{\text{вх-н.3}}) = \Sigma \left(\int_{t_{\text{н.3}}}^{t_{\text{3.31}}} N_{\text{вх}} dt \right), \quad (\text{A.13})$$

где $E_{\text{вх-3.31}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{\text{3.31}}$, кДж;

$E_{\text{вх-н.3}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{\text{н.3}}$, кДж;

$t_{\text{н.3}}$ — время начала запуска, с;

$t_{\text{3.31}}$ — время завершения запуска, с;

$N_{\text{вх}}$ — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период запуска, кВт.

Подводимую энергию, потребляемую во время перехода в рабочее состояние, E_p , кДж, рассчитывают по формуле

$$E_p = \Sigma (E_{\text{вх-3.p1}} - E_{\text{вх-н.p}}) = \Sigma \left(\int_{t_{\text{н.p}}}^{t_{\text{3.p1}}} N_{\text{вх}} dt \right), \quad (\text{A.14})$$

где $E_{\text{вх-3.p1}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{\text{3.p1}}$, кДж;

$E_{\text{вх-н.p}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{\text{н.p}}$, кДж;

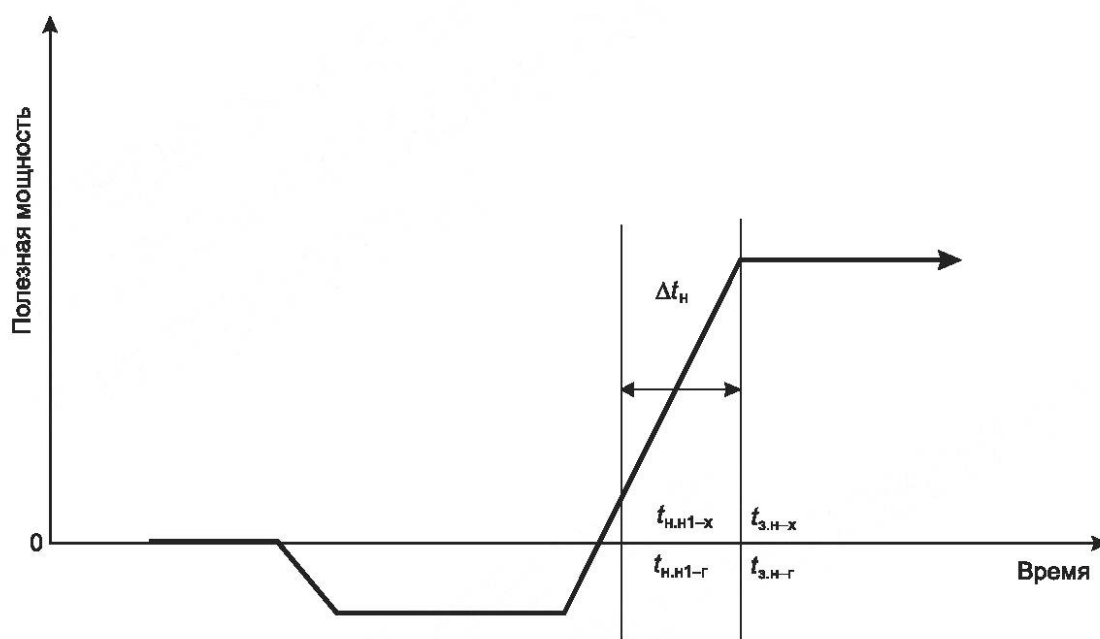
$t_{\text{н.p}}$ — время начала перехода в рабочее состояние, с;

$t_{\text{3.p1}}$ — время завершения перехода в рабочее состояние, с;

$N_{\text{вх}}$ — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период перехода в рабочее состояние, кВт.

А.2.2 Набор мощности

Пример испытания на время набора мощности представлен на рисунке А.2.



$t_{\text{н.н1-х}}$ — время начала набора мощности для холодного пуска; $t_{\text{н.н1-г}}$ — время начала набора мощности для горячего пуска;
 $t_{\text{з.н-х}}$ — время завершения набора мощности для холодного пуска; $t_{\text{з.н-г}}$ — время завершения набора мощности для горячего пуска; $\Delta t_{\text{н}}$ — время завершения набора мощности

Рисунок А.2 — Пример испытания на время набора мощности

Примечания

1 Начало набора мощности — время, когда достигается мощность в режиме ожидания.

2 Завершение набора мощности — время, когда достигается номинальная мощность.

Время набора мощности Δt_n , с, определяют по формуле

$$\Delta t_n = t_{3,n} - t_{n,n1}, \quad (\text{A.15})$$

где $t_{3,n}$ — время завершения набора мощности, с;

$t_{n,n1}$ — время начала набора мощности, с.

Энергию топлива, потребляемую во время набора мощности, рассчитывают с помощью расхода водорода, измеренного в течение времени запуска и перехода в рабочее состояние. Энергию топлива, потребляемую во время набора мощности H_n , кДж, рассчитывают по формуле

$$H_n = H_{uH_2} \cdot Q_{n-n}, \quad (\text{A.16})$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;

Q_{n-n} — расход водорода, измеренный в течение набора мощности, кг.

Подводимую энергию, потребляемую во время набора мощности, E_n , кДж рассчитывают по формуле

$$E_n = \Sigma(E_{\text{вх-3,n}} - E_{\text{вх-n,n1}}) = \Sigma \left(\int_{t_{n,n1}}^{t_{3,n}} N_{\text{вх}} dt \right), \quad (\text{A.17})$$

где $E_{\text{вх-3,n}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{3,n}$, кДж;

$E_{\text{вх-n,n1}}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{n,n1}$, кДж;

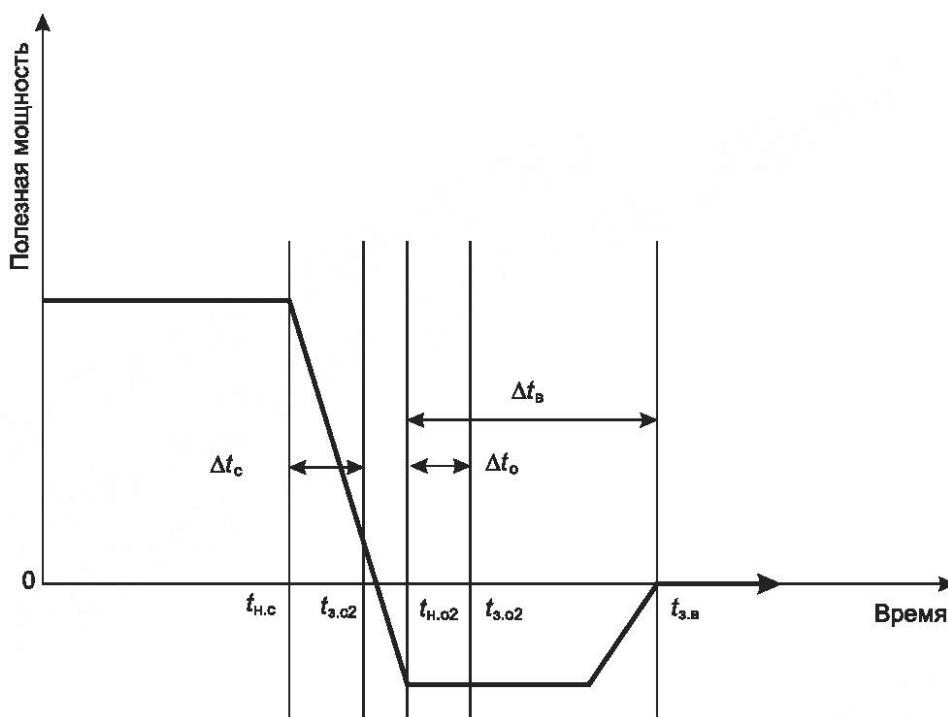
$t_{n,n1}$ — время начала набора мощности, с;

$t_{3,n}$ — время завершения набора мощности, с;

$N_{\text{вх}}$ — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период набора мощности, кВт.

А.2.3 Сброс мощности, переход в режим ожидания и отключение

Пример испытания на время сброса мощности, перехода в режим ожидания и выключения представлен на рисунке А.3.



Δt_c — время сброса мощности; $t_{н.с}$ — время начала сброса мощности; $t_{з.с2}$ — время завершения сброса мощности; Δt_o — время перехода в режим ожидания; $t_{н.о2}$ — время начала перехода в режим ожидания и выключения; $t_{з.о2}$ — время завершения перехода в режим ожидания; Δt_b — время выключения; $t_{з.в}$ — время завершения выключения

Рисунок А.3 — Пример испытания на время сброса мощности, перехода в режим ожидания и выключения

Примечания

- 1 Время начала сброса мощности — время, когда подается сигнал на сброс нагрузки.
- 2 Время завершения сброса мощности — время, когда достигается минимальная мощность.
- 3 Время начала перехода в режим ожидания и выключения — время, когда ТЭУ выходит из рабочего состояния.
- 4 Время завершения перехода в режим ожидания — время, когда ТЭУ переходит в режим ожидания.
- 5 Время завершения отключения — время, когда ТЭУ переходит в выключенное состояние.

Время сброса мощности Δt_c , с рассчитывают по формуле

$$\Delta t_c = t_{з.с2} - t_{н.с}, \quad (\text{A.18})$$

где $t_{з.с2}$ — время завершения сброса мощности, с;
 $t_{н.с}$ — время начала сброса мощности, с.

Время перехода в режим ожидания Δt_o , с, рассчитывают по формуле

$$\Delta t_o = t_{н.о2} - t_{з.о2}, \quad (\text{A.19})$$

где $t_{н.о2}$ — время начала перехода в режим ожидания и выключения, с;
 $t_{з.о2}$ — время завершения перехода в режим ожидания, с.

Время выключения Δt_b , с, рассчитывают по формуле

$$\Delta t_b = t_{з.в} - t_{н.о2}, \quad (\text{A.20})$$

где $t_{з.в}$ — время завершения выключения, с;
 $t_{н.о2}$ — время начала перехода в режим ожидания и выключения, с.

Энергию топлива, потребляемую во время сброса мощности, перехода в режим ожидания и выключения, рассчитывают на основе измеренного интегрального расхода водорода, измеренного в течение времени сброса мощности, перехода в режим ожидания и выключения. Энергию топлива, потребляемую во время сброса мощности, H_c , кДж, рассчитывают по формуле

$$H_c = H_{uH_2} \cdot Q_{H-c}, \quad (A.21)$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;
 Q_{H-c} — расход водорода, измеренный в течение сброса мощности, кг.

Энергию топлива, потребляемую во время перехода в режим ожидания, H_o , кДж, рассчитывают по формуле

$$H_o = H_{uH_2} \cdot Q_{H-o}, \quad (A.22)$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;
 Q_{H-o} — расход водорода, измеренный в течение перехода в режим ожидания, кг.

Энергию топлива, потребляемую во время выключения, H_b , кДж, рассчитывают по формуле

$$H_b = H_{uH_2} \cdot Q_{H-b}, \quad (A.23)$$

где H_{uH_2} — низшая теплотворная способность водорода, равная 120 860 кДж/кг;
 Q_{H-b} — расход водорода, измеренный в течение выключения, кг.

Подводимую энергию, потребляемую во время сброса мощности, E_c , кДж рассчитывают по формуле

$$E_c = \Sigma(E_{Bx-3.c2} - E_{Bx-H.c}) = \Sigma \left(\int_{t_{H.c}}^{t_{3.c2}} N_{Bx} dt \right), \quad (A.24)$$

где $E_{Bx-3.c2}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{3.c2}$, кДж;
 $E_{Bx-H.c}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{H.c}$, кДж;
 $t_{H.c}$ — время начала сброса мощности, с;
 $t_{3.c2}$ — время завершения сброса мощности, с;
 N_{Bx} — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период сброса мощности, кВт.

Подводимую энергию, потребляемую во время перехода в режим ожидания, E_o , кДж, рассчитывают по формуле

$$E_o = \Sigma(E_{Bx-3.o2} - E_{Bx-H.o2}) = \Sigma \left(\int_{t_{H.o2}}^{t_{3.o2}} N_{Bx} dt \right), \quad (A.25)$$

где $E_{Bx-3.o2}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{3.o2}$, кДж;
 $E_{Bx-H.o2}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{H.o2}$, кДж;
 $t_{H.o2}$ — время начала перехода в режим ожидания и выключения, с;
 $t_{3.o2}$ — время завершения перехода в режим ожидания, с;
 N_{Bx} — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период перехода в режим ожидания, кВт.

Подводимую энергию, потребляемую во время выключения, E_b , кДж, рассчитывают по формуле

$$E_b = \Sigma(E_{Bx-3.b} - E_{Bx-H.o2}) = \Sigma \left(\int_{t_{H.o2}}^{t_{3.b2}} N_{Bx} dt \right), \quad (A.26)$$

где $E_{Bx-3.b}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{3.b}$, кДж;
 $E_{Bx-H.o2}$ — подводимая энергия от каждого источника питания на время $t_{H.o2}$, кДж;
 $t_{H.o2}$ — время начала перехода в режим ожидания и выключения, с;
 $t_{3.b}$ — время завершения выключения, с;
 N_{Bx} — мощность, потребляемая от каждого источника питания в период набора мощности, кВт.

Приложение Б
(справочное)

Методы коррекции полезной мощности

Б.1 Общие положения

Метод коррекции полезной мощности применяют для расчета КПД. Цель заключается в корректировке полезной мощности в зависимости от конфигурации электрической системы. Полезная мощность представляет собой разницу между мощностью на выходе и мощностью на входе, при условии, что выходная и входная мощности находятся в одном и том же месте цепи. Формула расчета полезной мощности и параметры должны быть включены в протокол испытаний.

Б.2 ТЭУ без силового преобразователя

Б.2.1 Конфигурация электрической системы 1

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.1, то средняя полезная мощность ТЭУ $\overline{N_e}$, кВт, должна быть скорректирована по формуле

$$\overline{N_e} = \overline{N_{\text{вых}}} - \overline{N_{\text{вх}}}, \quad (\text{Б.1})$$

где $\overline{N_{\text{вых}}}$ — средняя мощность на выходе, кВт;
 $\overline{N_{\text{вх}}}$ — общая средняя мощность на входе, кВт.

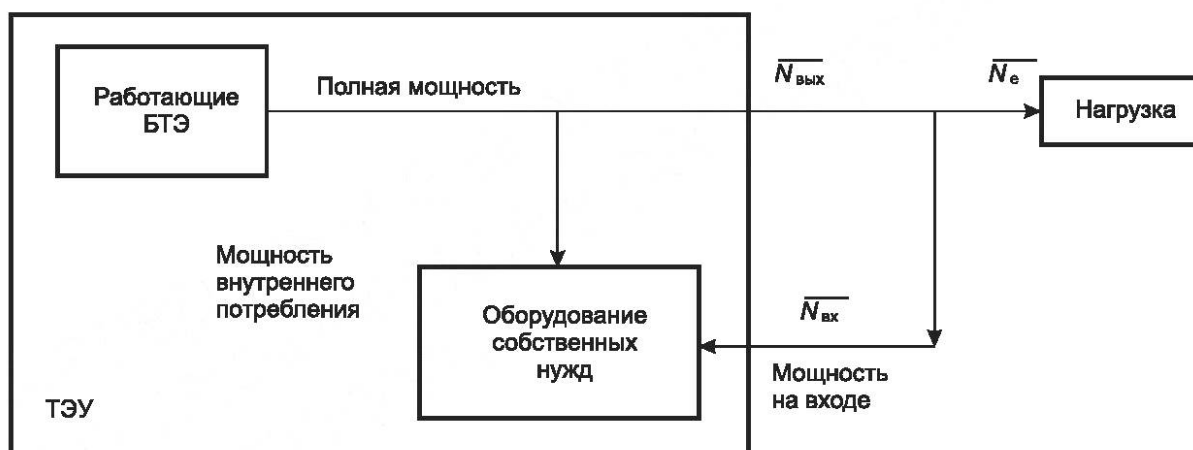


Рисунок Б.1 — Конфигурация электрической системы 1 ТЭУ без силового преобразователя

Б.2.2 Конфигурация электрической системы 2

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.2, то средняя полезная мощность ТЭУ $\widetilde{N_e}$, кВт, должна быть скорректирована по формуле

$$\widetilde{N_e} = \overline{N_{\text{вых}}} - \widetilde{N_{\text{вх}}}, \quad (\text{Б.2})$$

где $\overline{N_{\text{вых}}}$ — средняя мощность на выходе, кВт;
 $\widetilde{N_{\text{вх}}}$ — скорректированная средняя мощность на входе, кВт, вычисляемая по формуле

$$\widetilde{N_{\text{вх}}} = \frac{\overline{N_{\text{вх}}}}{\eta_{\text{СП1}}}, \quad (\text{Б.3})$$

где $\overline{N_{\text{вх}}}$ — общая средняя мощность на входе, кВт;
 $\eta_{\text{СП1}}$ — КПД силового преобразователя.

Значение КПД силового преобразователя принимают согласно документации его разработчика (изготовителя) или определяют согласно ГОСТ 33323.

Допускается при проектировании (расчете) принимать условное значение КПД с последующим подтверждением.

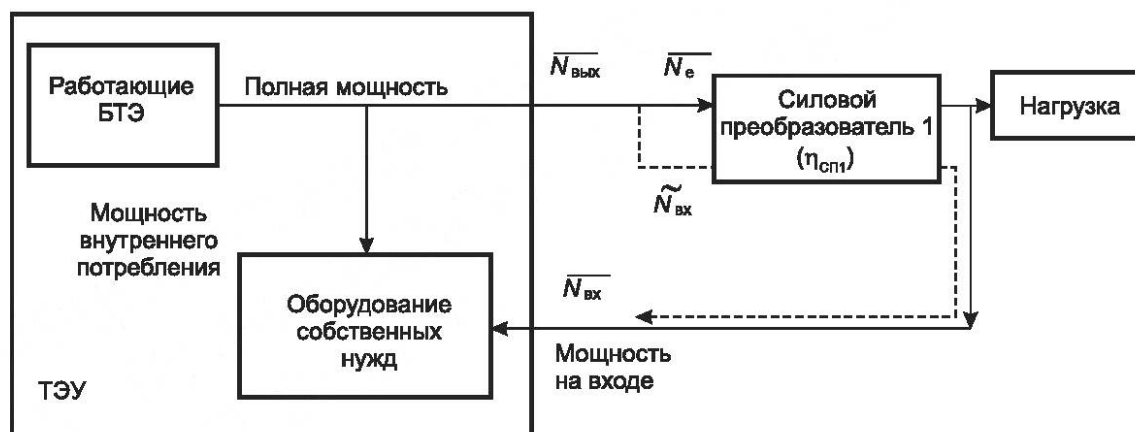


Рисунок Б.2 — Конфигурация электрической системы 2 ТЭУ без силового преобразователя

Б.2.3 Конфигурация электрической системы 3

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.3, то средняя полезная мощность ТЭУ $\tilde{N}_e$, кВт должна быть скорректирована по формуле (Б.2).

Скорректированную среднюю мощность на входе $\tilde{N}_{вх}$, кВт, вычисляют по формуле (Б.3).

Значение КПД силового преобразователя принимают согласно документации его разработчика (изготовителя) или определяют согласно ГОСТ 33323.

Допускается при проектировании (расчете) принимать условное значение КПД с последующим подтверждением.

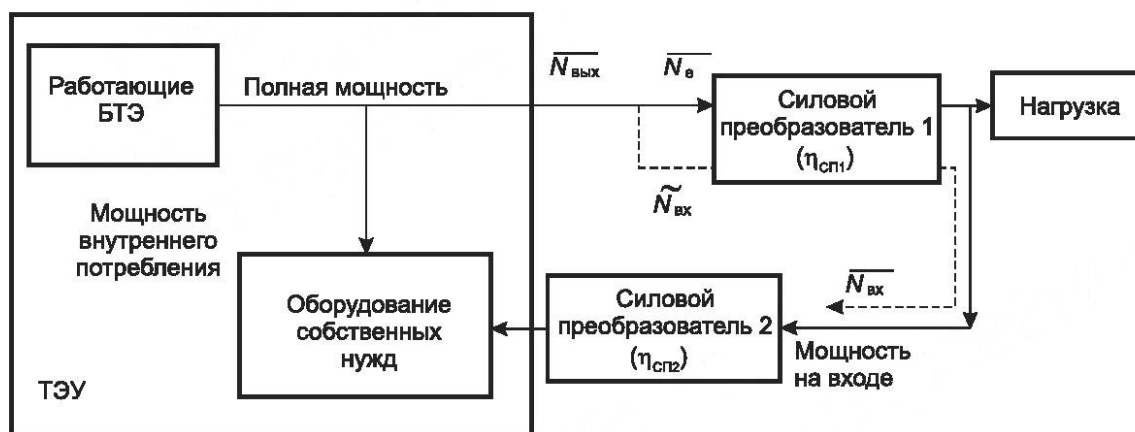


Рисунок Б.3 — Конфигурация электрической системы 3 ТЭУ без силового преобразователя

Б.2.4 Конфигурация электрической системы 4

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.4, то средняя полезная мощность ТЭУ $\tilde{N}_e$, кВт, должна быть скорректирована по формуле (Б.2).

Скорректированную среднюю мощность на входе $\widetilde{N}_{\text{вх}}$, кВт, вычисляют по формуле

$$\widetilde{N}_{\text{вх}} = \frac{\overline{N}_{\text{вх}}}{\eta_{\text{СП1}} \cdot \eta_{\text{СП2}}}, \quad (\text{Б.4})$$

где $\overline{N}_{\text{вх}}$ — общая средняя мощность на входе, кВт;

$\eta_{\text{СП1}}$ — КПД силового преобразователя 1;

$\eta_{\text{СП2}}$ — КПД силового преобразователя 2.

Значение КПД силового преобразователя принимают согласно документации его разработчика (изготовителя) или определяют согласно ГОСТ 33323.

Допускается при проектировании (расчете) принимать условное значение КПД с последующим подтверждением.

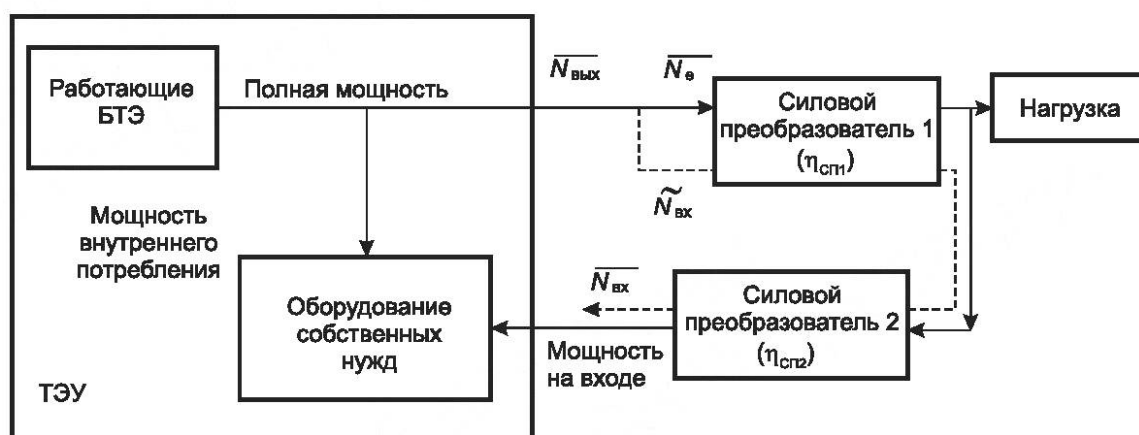


Рисунок Б.4 — Конфигурация электрической системы 4 ТЭУ без силового преобразователя

Б.3 ТЭУ с силовым преобразователем

Б.3.1 Конфигурация электрической системы 1

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.5, то средняя полезная мощность ТЭУ $\widetilde{N}_{\text{е}}$, кВт, должна быть скорректирована по формуле (Б.1).

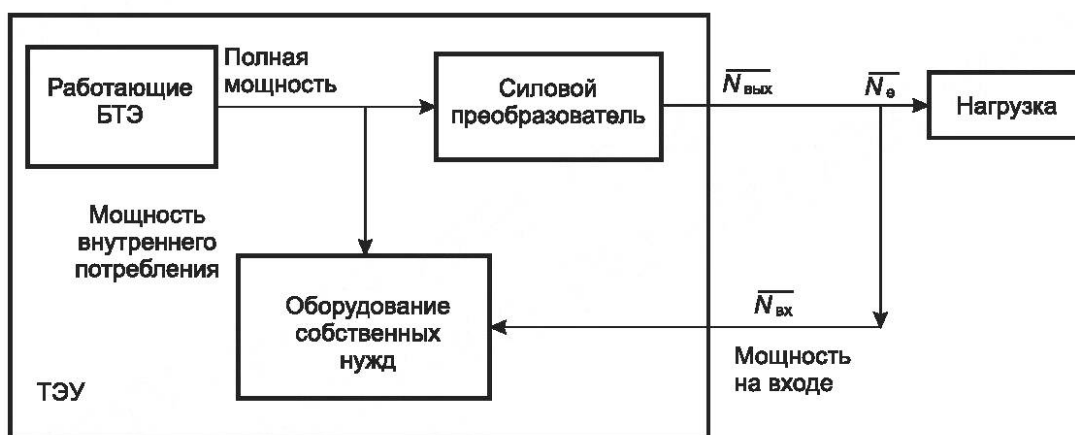


Рисунок Б.5 — Конфигурация электрической системы 1 ТЭУ с силовым преобразователем

Б.3.2 Конфигурация электрической системы 2

Если конфигурация электрической системы ТЭУ соответствует рисунку Б.6, то средняя полезная мощность ТЭУ $\overline{N_e}$, кВт должна быть скорректирована по формуле (Б.1).

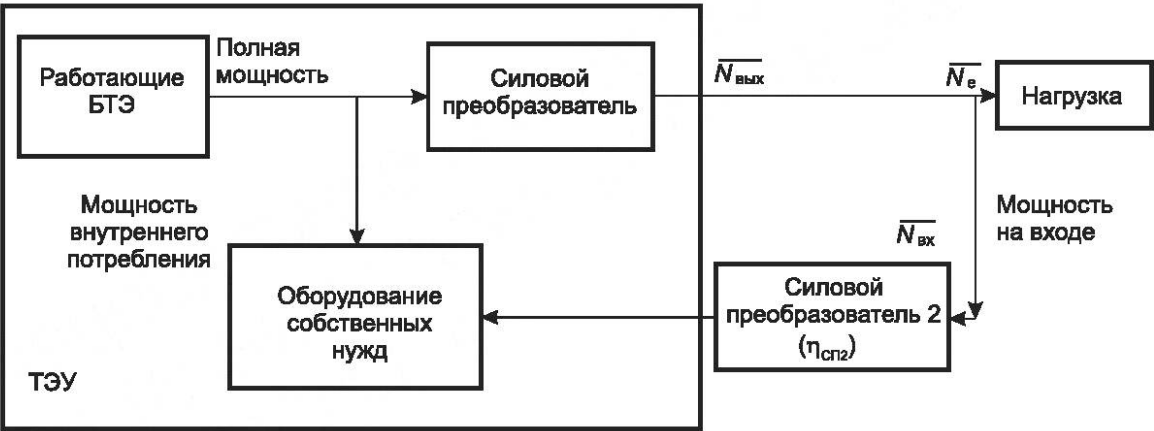


Рисунок Б.6 — Конфигурация электрической системы 2 ТЭУ с силовым преобразователем

Библиография

- [1] Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ

УДК 629.4.018:658.562.47:006.354

ОКС 45.060.10

Ключевые слова: тяговый подвижной состав железнодорожный, энергоустановка, водородные топливные элементы, методы контроля

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 18.09.2025. Подписано в печать 02.10.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,16.

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.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru