ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58092.2.200— 2023/ IEC TR 62933-2-200: 2021

Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ)

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВОК И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Рекомендации по применению систем накопления электрической энергии на зарядных станциях с солнечными батареями для электромобилей

[IEC TR 62933-2-200:2021, Electrical energy storage (EES) systems — Part 2-200: Unit parameters and testing methods — Case study of electrical energy storage (EES) systems located in EV charging station with PV, IDT]

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Национальной ассоциацией производителей источников тока «РУСБАТ» (Ассоциация «РУСБАТ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии документа, указанного в пункте 4, и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 044 «Аккумуляторы и батареи»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2023 г. № 786-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC TR 62933-2-200:2021 «Системы накопления электрической энергии (EES). Часть 2-200. Параметры установок и методы испытаний. Пример систем накопления электрической энергии (EES), расположенных на зарядной станции электромобилей с фотоэлектрическими модулями» [IEC TR 62933-2-200:2021 «Electrical energy storage (EES) systems — Part 2-200: Unit parameters and testing methods — Case study of electrical energy storage (EES) systems located in EV charging station with PV», IDT].

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочного международного стандарта соответствующий ему национальный стандарт, сведения о котором приведены в дополнительном приложении ДА.

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

5 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

© IEC, 2021
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 1
4 СНЭЭ, работающие совместно с ЭЗС с генерацией фотоэлектрической энергии 2
5 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока 4
6 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока 10
7 Проект профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока 15
8 Проект профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока 21
9 Рекомендации по режимам работы СНЭЭ, в составе гибридных ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ 25
Приложение А (справочное) Примеры рабочих циклов СНЭЭ, расположенных на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ . . . 27
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта национальному стандарту 40
Библиография 41

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ)

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВОК И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Рекомендации по применению систем накопления электрической энергии на зарядных станциях с солнечными батареями для электромобилей

Electric energy storage (EES) systems. Unit parameters and testing methods.
Recommendations for the use of electrical energy storage systems in solar charging stations for electric vehicles

Дата введения — 2023—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы накопления электрической энергии (СНЭЭ), предназначенные для работы в составе электрических зарядных станций (ЭЗС) электромобилей (ЭМ) с фотоэлектрической (ФЭ) генерацией электроэнергии (ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ) с уровнем напряжения не более 20 кВ. СНЭЭ в таком гибридном применении предназначены для обеспечения снижения требований к подведенным мощностям электрической сети за счет возможности использования электрической энергии, аккумулированной в СНЭЭ в интервалы времени пикового потребления с последующим восполнением необходимого запаса энергии СНЭЭ во время простоя ЭЗС. Это особенно важно для станций быстрой зарядки (т. е. высокой мощности) в условиях ограничений по выделенной мощности и категории энергоснабжения и для повышения экономической выгоды работы ЭЗС за счет возможности использования суточного арбитража цен.

Стандарт устанавливает требования к выбору рабочего цикла ЭЗС конкретного направления для дальнейшего выбора стратегии функционирования СНЭЭ.

Настоящий стандарт содержит:

- информацию о применяемых ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ;
- анализ работы СНЭЭ в типичных вариантах проектов;
- обобщение и рекомендации по выбору режимов работы СНЭЭ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированной ссылки применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированной — последнее издание (включая все изменения)]:

IEC 62933-1, Electrical energy storage (EES) systems — Part 1: Vocabulary [Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Часть 1. Словарь]

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по МЭК 62933-1.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- Электропедия МЭК: доступна на gost.e-ecolog.ru ;
- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна на gost.e-ecolog.ru .

Издание официальное

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

БИБ — блок измерения батареи;
БИГБ — блок измерения группы батарей;
ВИ — время использования;
ОЭЭМ — оборудование электропитания электромобилей;
ППЭ — подсистема преобразования энергии;
СЗ — степень заряженности;
СНЭЭ — система накопления электрической энергии;
СУГБ — система управления группой батарей;
СУЭ — система управления энергией;
ТПСН — точка присоединения СНЭЭ к сети;
ФЭ — фотоэлектрический;
ЭвС — электромобиль в сеть (режим работы);
ЭМ — электромобиль;
АС — переменный ток;
CAN[1)] — локальная сеть контроллеров (controller area network);
DC — постоянный ток (direct current).

4 СНЭЭ, работающие совместно с ЭЗС с генерацией фотоэлектрической энергии

4.1 Общие положения

Массовое применение ЭМ определяется доступностью и удобством использования ЭЗС, в связи с чем инфраструктура зарядки ЭМ в последние годы быстро развивается.

Интеграция в ЭЗС возобновляемых источников энергии способствует дальнейшему увеличению использования чистой (не зависящей от ископаемых видов топлива) энергии при одновременном снижении затрат на энергию ЭЗС, поступающую от распределительных электрических сетей. Ограничивающим фактором является необходимость сравнительно больших площадей, требуемых для генерации фотоэлектрической энергии, которыми ЭЗС, как правило, не обладают. ФЭ-панели могут быть установлены на крыше ЭЗС или интегрированы в верхнюю часть зарядной или близрасположенной инфраструктуры, что дает значительные преимущества перед ветряными турбинами. Однако как мощность генерации ФЭ-устройств, так и нагрузка заряда ЭМ имеет стохастический характер с большой изменчивостью показателей, что может оказать негативное влияние на электрическую сеть, особенно в периоды повышенного спроса. Применение СНЭЭ, интегрированной в инфраструктуру ЭЗС, позволяет решить многие технические задачи, такие как сглаживание мощности нагрузки заряда ЭМ, нивелирование стохастического характера генерации ФЭ-энергии, снизить требования по подведенным электрическим мощностям и необходимым параметрам трансформаторных подстанций, использовать подход арбитража цен по суточному графику и участвовать в согласованных случаях в оказании системных услуг, что повышает экономическую эффективность функционирования ЭЗС.

В связи с этим подход гибридного использования СНЭЭ в составе ЭЗС получил широкое распространение в мире.

4.2 Сценарии применения

Если гибридная ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ предназначена для работы в автономном режиме вне сети, то ФЭ генерирующая система обеспечивает первичную энергию, а СНЭЭ служит для аккумулирования полученной электроэнергии и обеспечивает заряд ЭМ в требуемое время. В связи с тем, что в данном варианте применения ФЭ генерирующая система является единственным источником получения энергии извне, ключевыми параметрами являются количество генерируемой ею энергии и возможность сохранения ее до использования для заряда ЭМ, что обеспечивается возможностями СНЭЭ по аккумулированию электрической энергии, т. е. ее энергоемкостью.

[1)] *Стандартизированный протокол интерфейса промышленной сети, ориентированный, прежде всего, на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков.*

Более эффективным по сравнению с автономным и более распространенным вариантом работы ЭЗС является ее режим работы в подключенном к сети состоянии. Потребности владельцев ЭМ в заряде всегда обеспечиваются, даже если установленная мощность СНЭЭ и ФЭ недостаточна. Такие ЭЗС широко используют непосредственно в домах жителей, на парковках, в зонах обслуживания автомагистралей и в других местах с высоким транспортным потоком.

На ЭЗС, подключенных к сети, СНЭЭ могут работать в различных режимах, таких как отслеживание эквивалентной нагрузки[1)], снижение пиковой нагрузки, сглаживание мощности, арбитраж цен на электроэнергию и оказание ряда системных услуг, а не просто балансировка ФЭ-генерации и нагрузки заряда ЭМ, как в автономных ЭЗС.

В результате практического применения большого количества ЭЗС по всему миру выделены четыре типичных сценария применения подключенных к сети ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ с точки зрения электрической структуры, а именно бытовые ЭЗС с общей шиной постоянного тока (DC), бытовые ЭЗС с общей шиной переменного тока (AC), профессиональные ЭЗС с общей шиной постоянного тока и профессиональные ЭЗС с общей шиной переменного тока.

Основной целью бытовых ЭЗС является предоставление услуг зарядки для обычных пользователей ЭМ и получение экономических доходов владельцами ЭЗС. Бытовая ЭЗС представляет собой независимый энергопотребляющий объект и с точки зрения электрической сети ее следует рассматривать как общую нагрузку, для которой, как правило, запрещена обратная связь по мощности с электрической сетью. В настоящем стандарте рассмотрены два практических варианта — в разделе 5 и разделе 6 соответственно. В разделе 5 рассмотрена ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока. СНЭЭ на этой ЭЗС выполняет функции отслеживания эквивалентной нагрузки и арбитража цен на электроэнергию. ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, рассмотренная в разделе 6, представляет собой ЭЗС на базе общей шины переменного тока, и СНЭЭ на этой ЭЗС в основном работает в режиме сглаживания мощности, снижения пиковых нагрузок и арбитража цен на электроэнергию.

К профессиональным ЭЗС, как правило, относят ЭЗС, расположенные рядом с торговыми центрами, офисными зданиями, студенческими городками, которые могут не только осуществлять заряд ЭМ, но и обеспечивать электропитание других нагрузок. В разделе 7 рассмотрена ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока, где СНЭЭ играет комплексную роль в отслеживании эквивалентной нагрузки, арбитраже цен на электроэнергию и реагировании на спрос. Она также выполняет подачу электроэнергии в близлежащий торговый центр в периоды пиковых цен. В разделе 8 рассмотрен проект профессиональной ЭЗС на базе общей шины переменного тока и разработанные для нее режимы работы.

4.3 Архитектура коммуникационной системы

На рисунке 1 показан пример типичной архитектуры коммуникационной системы ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, подключенной к сети. Система управления энергией (СУЭ) батарей разделена на три уровня: система управления группой батарей (СУГБ), блок измерения группы батарей (БИГБ) и блок измерения батареи (БИБ). Обмен информацией между верхними и нижними системами управления/измерительными блоками осуществляется по протоколу CAN. Только самый высокий уровень СУГБ взаимодействует с подсистемой преобразования мощности (ППЭ) через RS 485. ФЭ-панели подключают к контроллеру ФЭ через коммутирующее устройство. Для унификации все компоненты ЭЗС взаимодействуют через CAN. Контроллер ФЭ, ППЭ и оборудование электропитания ЭМ (ОЭЭМ) подключены к системе управления энергией ЭЗС (ЭЗС-СУЭ). ЭЗС-СУЭ может быть объектом диспетчерского управления в соответствии с МЭК 60870-5-104.

Допускается использование других открытых и совместимых протоколов. Например, в качестве альтернативных протоколов между ЭМ и ОЭЭМ могут использоваться МЭК 61851 (все части), ИСО 15118 (все части), CHAdeMO 2.0 и IEEE 2030.5. Для обеспечения высокого уровня безопасности от несанкционированных команд или перехвата данных рекомендуемым вариантом связи между ЭЗС-СУЭ и группой ЭМ, батарейной системой и ФЭ-системой является организация связи по МЭК 61850 (все части).

[1)] *Определение «эквивалентная нагрузка — это разница между нагрузкой заряда ЭМ и мощностью генерации ФЭ» дано в 5.2.2.1.*

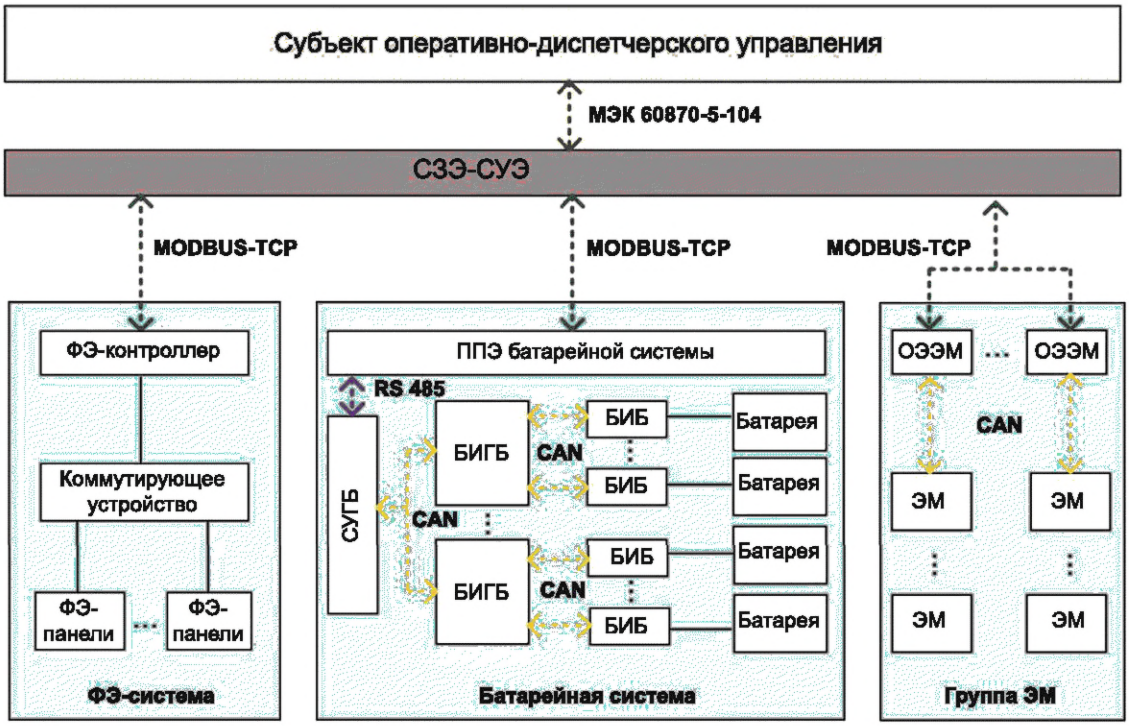


Рисунок 1 — Пример архитектуры коммуникационной системы ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ

4.4 Анализ рабочего цикла

Рабочий цикл — это профиль ступеней заряда-разряда, который отражает требования, предъявляемые к СНЭЭ с конкретной функцией применения. Рабочий цикл для СНЭЭ на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ ориентирован на выявление характерных этапов и их последовательности в работе ЭЗС-ФЭ, чтобы сравнивать, какая СНЭЭ, работающая в заданном цикле, обеспечивает наиболее эффективное функционирование ЭЗС.

Поскольку нагрузка заряда ЭМ ЭЗС и генерация ФЭ-энергии являются случайными и существуют периоды пика и спада, необходимо установить 24-часовой рабочий цикл для работы СНЭЭ, ориентированный на обеспечение энергией ЭЗС.

Для установления рабочего цикла СНЭЭ на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, как правило, используют следующую процедуру;

- шаг 1: ЭЗС классифицируют в соответствии с собранными данными, которые включают данные ФЭ, данные СНЭЭ, данные ТПСН и данные о нагрузке;
- шаг 2: данные ФЭ, СНЭЭ, ТПСН и нагрузки обрабатывают отдельно, что в общем случае включает заполнение недостающих данных и установление одинаковых интервалов выборки для четырех типов данных;
- шаг 3: анализируют режимы работы СНЭЭ на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ и выявляют соответствующий профиль работы СНЭЭ в соответствии с различными режимами работы ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ. Для различных режимов работы используют различные методы расчета соответствующих профилей работы СНЭЭ;
- шаг 4: синтезируют профили работы за 24 ч для каждого режима работы и формируют типичный рабочий цикл СНЭЭ.

5 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

5.1 Обзор тематического проекта

Энергия, как вырабатываемая ФЭ-панелями, так и потребляемая для заряда ЭМ, находится в виде электричества постоянного тока, как и поступающая от батареи. Чтобы уменьшить потери энергии, связанные с промежуточными преобразованиями, многие ЭЗС создают как системы постоянного тока. На рисунке 2 показан пример принципиальной схемы бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ.

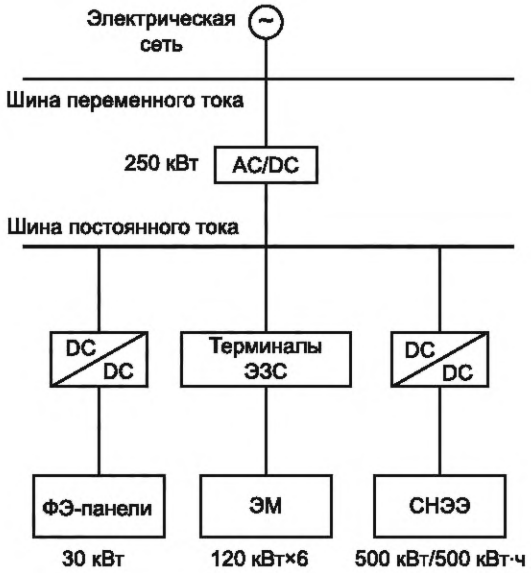


Рисунок 2 — Пример принципиальной схемы бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

Пример — Приведенная на рисунке 2 принципиальная схема основана на конкретном проекте, реализованном в Китае. ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ оснащена шиной постоянного тока для подключения основного оборудования ЭЗС, включая ФЭ-панели мощностью 30 кВт, СНЭЭ мощностью/энергоемкостью 500 кВт/500 кВт · ч и 6 терминалов быстрой зарядки постоянного тока. Максимальная мощность каждого терминала составляет 120 кВт. ЭЗС подключена к шине переменного тока с использованием выпрямителя, с помощью которого она может получать электроэнергию из внешней электрической сети. ЭЗС не разрешено подавать питание во внешнюю электросеть, и выпрямитель является однонаправленным преобразователем. С точки зрения электросети данная ЭЗС — это просто общая электрическая нагрузка.

Основная цель установки СНЭЭ на ЭЗС, приведенной в примере, — обеспечить спрос на быструю зарядку без увеличения нагрузки ЭЗС на внешнюю электросеть. В отсутствие СНЭЭ, когда выходная мощность ФЭ-генерации равна нулю, предел мощности ЭЗС для заряда ЭМ ограничен мощностью преобразователя AC/DC, подключенного к сети, и составляет 250 кВт. При использовании СНЭЭ ЭЗС может обеспечить потребность в зарядке ЭМ мощностью до 750 кВт. На практике, чтобы продлить срок службы батарей, максимальную мощность СНЭЭ устанавливают на уровне 250 кВт (50 % от максимальной нормированной мощности) при нормальных условиях эксплуатации. В чрезвычайной ситуации, когда нагрузка заряда ЭМ превышает общую мощность ФЭ-панелей, СНЭЭ и внешней электрической сети, СНЭЭ разрешено работать в диапазоне мощности от 250 до 500 кВт.

5.2 Работа и управление системой

5.2.1 Анализ рабочих данных

На рисунке 3 приведен пример данных о генерации и потреблении электроэнергии по времени суток в обычный день, которые положены в основу проекта, пример которого приведен в 5.1. ФЭ-панели вырабатывают электроэнергию в основном с 7:00 до 18:00. Услуга зарядки ЭМ доступна 24 ч в сутки. На рисунке 4 показана цена ВИ и тарифы на услуги зарядки ЭМ за этот день.

5.2.2 Анализ режима работы

5.2.2.1 Общие положения

СНЭЭ способна аккумулировать электроэнергию из внешней электросети в периоды низких цен и выдавать ее при повышении цен. В связи с тем, что нагрузка заряда ЭМ неизвестна (станция в примере 5.1 не оснащена системой прогнозирования зарядной нагрузки), запас энергии в СНЭЭ должен быть относительно большим, чтобы избежать состояния, когда СЗ СНЭЭ падает ниже допустимого минимума, если одновременно заряжают несколько ЭМ. В этом проекте минимальная СЗ СНЭЭ установлена на 32 % для непредвиденной ситуации зарядки. Когда наступают периоды пиковых цен, гарантируется, что в батареях уже накоплено достаточное количество электроэнергии (95 % от нормированной энергоемкости СНЭЭ в этом проекте).

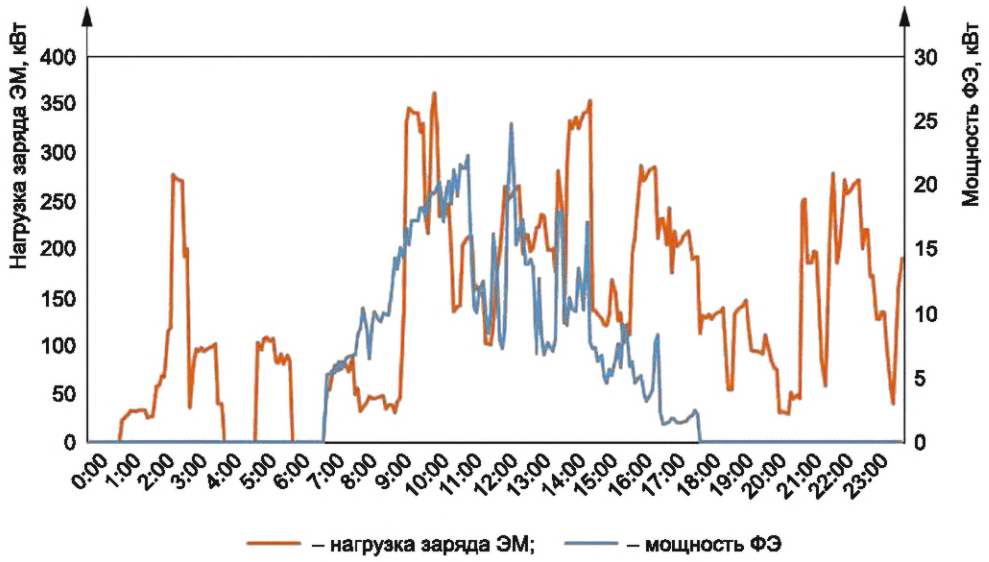


Рисунок 3 — Пример нагрузки заряда ЭМ и мощности ФЭ бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

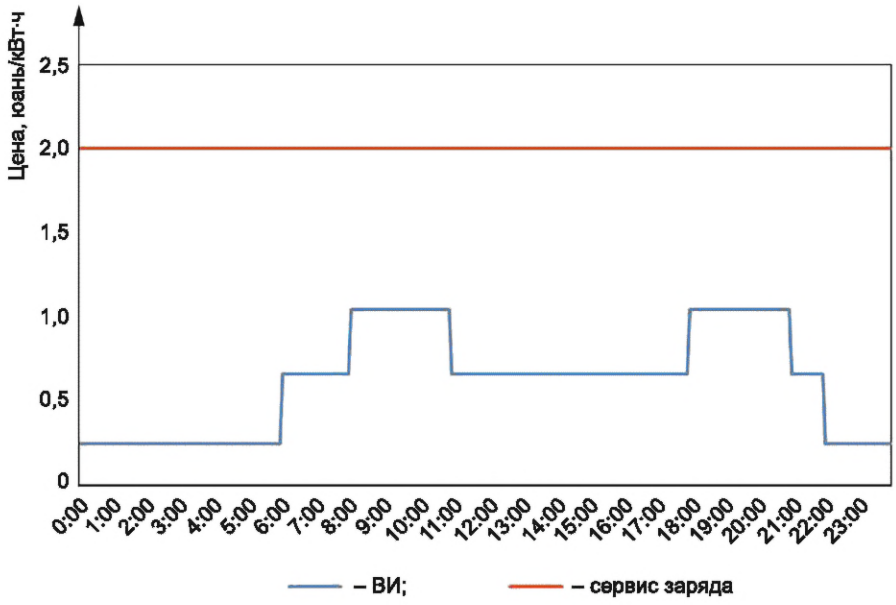


Рисунок 4 — Пример цены на услуги ВИ и зарядки бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

Функции СНЭЭ на этой ЭЗС — отслеживание эквивалентной нагрузки заряда ЭМ и арбитража цен на электроэнергию. Эквивалентная нагрузка — это разница между нагрузкой заряда ЭМ и мощностью генерации ФЭ. В периоды низких и средних цен потребность в мощности эквивалентной нагрузки для заряда ЭМ обеспечивается за счет внешней электросети, и если она превысит мощность преобразователя AC/DC, подключенного к сети, СНЭЭ должна компенсировать недостаток за счет аккумулированной электроэнергии. В периоды высоких цен обеспечение эквивалентной нагрузки заряда ЭМ — задача СНЭЭ. Если мощности СНЭЭ недостаточно, то нагрузка заряда ЭМ дополнительно обеспечивается внешней электросетью.

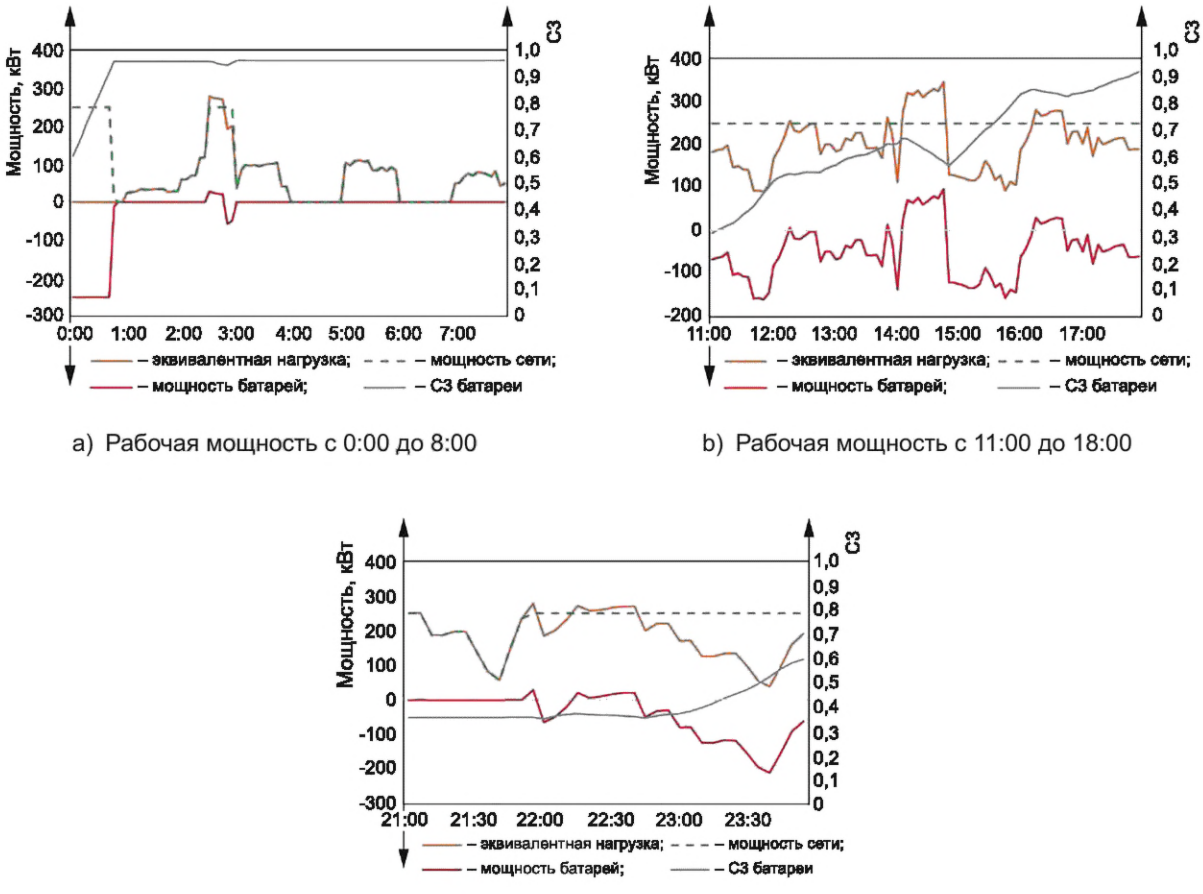
5.2.2.2 Режим арбитража цен ВИ

Режим арбитража цен ВИ в основном используют в периоды низких и средних цен, т. е. с 0:00 до 8:00, с 11:00 до 18:00 и с 21:00 до 24:00 (рисунок 4). Эквивалентная нагрузка равна разнице нагрузки, требуемой для заряда ЭМ и мощности генерации ФЭ. Мощность, обмениваемую СНЭЭ, считают по-

ложительной при ее разряде и отрицательной — при заряде. Мощность сети считают положительной, если ЭЗС получает питание от внешней электросети.

В периоды низких цен СНЭЭ в основном находится в состоянии зарядки, а эквивалентная нагрузка заряда ЭМ обеспечивается за счет внешней электрической сети. Если эквивалентная нагрузка составляет менее 250 кВт, то она полностью обеспечивается внешней электросетью. Если СЗ СНЭЭ не достигла 95 %, то СНЭЭ находится в состоянии зарядки. Мощность заряда СНЭЭ равна 250 кВт (предел мощности преобразователя AC/DC, подключенного к электрической сети) минус эквивалентная нагрузка. Когда потребляемая эквивалентная нагрузка превышает 250 кВт, например с 2:30 до 2:45 [рисунок 5a)] или с 14:05 до 14:45 [рисунок 5b)], избыточная нагрузка заряда ЭМ обеспечивает СНЭЭ, при этом она находится в режиме разрядки.

СНЭЭ находится в режиме ожидания с 21:00 до 22:00 [как показано на рисунке 5c)]. В этом режиме СНЭЭ не заряжается, а разряжается, если нагрузка заряда ЭМ превышает предел 250 кВт. Основанием такого алгоритма является возможность достижения большей экономии при переносе зарядки СНЭЭ на более поздний период низких цен (с 22:00 до 6:00 следующего дня), чем при зарядке в период средних цен (с 21:00 до 22:00). Однако в другие периоды средней цены, например с 11:00 до 18:00, СНЭЭ должна заряжаться при подготовке к разрядке в более поздний период дня с высокими ценами.



a) Рабочая мощность с 0:00 до 8:00

b) Рабочая мощность с 11:00 до 18:00

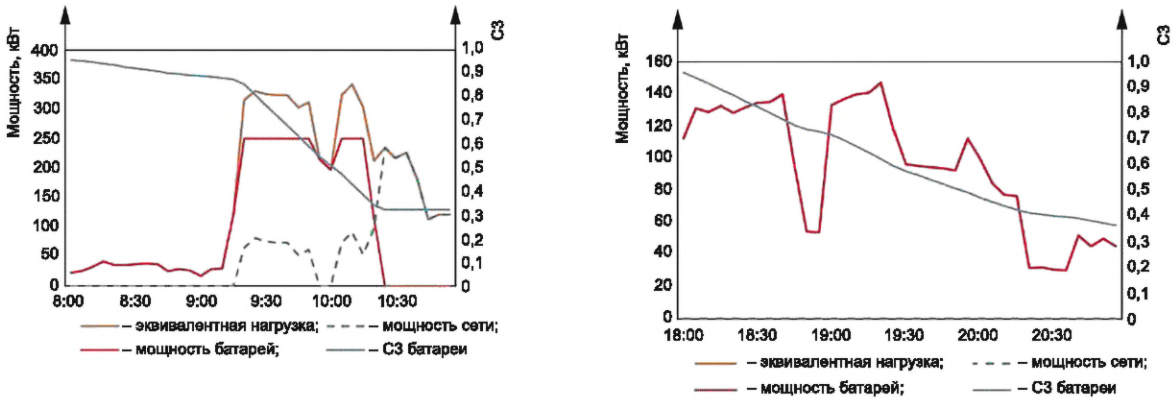
c) Рабочая мощность с 21:00 до 24:00

Рисунок 5 — Пример обмена мощностью в периоды низких и средних цен для бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

5.2.2.3 Режим отслеживания эквивалентной нагрузки

В периоды высоких цен СНЭЭ работает в режиме отслеживания эквивалентной нагрузки, как показано на рисунке 6. На рисунке 6a) показана рабочая мощность с 8:00 до 11:00, а на рисунке 6b) показана рабочая мощность с 18:00 до 21:00. Нагрузку заряда ЭМ сначала обеспечивает СНЭЭ. В целях

продления срока службы батарей разрядная мощность СНЭЭ ограничена 250 кВт. Часть потребности в зарядной мощности, превышающая это значение, обеспечивается внешней электрической сетью, как показано на рисунке 6а), например, между 9:20 и 9:50. Если нагрузка заряда ЭМ велика и превышает 500 кВт, то СНЭЭ будет подавать недостающую мощность в течение определенного периода времени (в данном случае такой ситуации не произошло) до снижения ее СЗ до нижнего предела (значение в примере — 32 %), при достижения которой СНЭЭ перестает разряжаться, и эквивалентная нагрузка заряда ЭМ обеспечивается внешней электросетью, например, между 10:25 и 11:00.



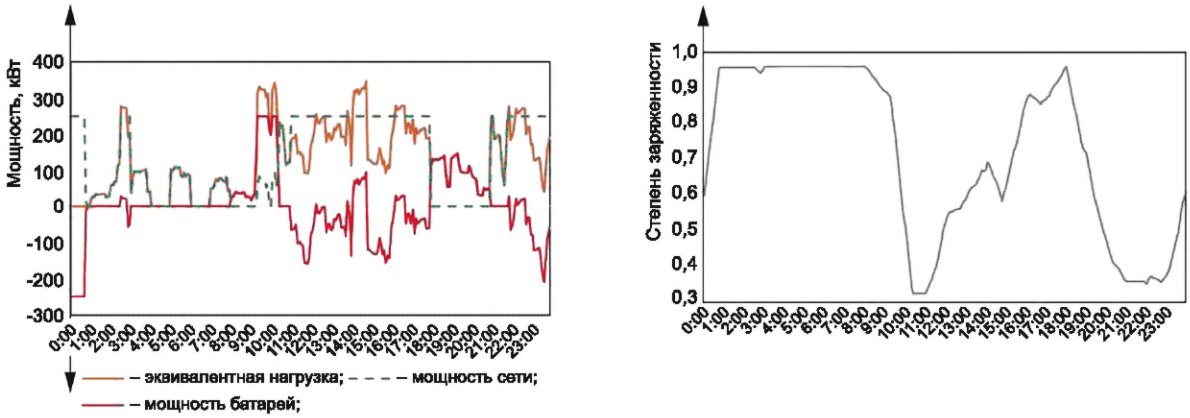
a) Рабочая мощность с 8:00 до 11:00

b) Рабочая мощность с 18:00 до 21:00

Рисунок 6 — Пример рабочей мощности в периоды высоких цен для бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

5.3 Обобщение полученных результатов

Результирующий рабочий цикл СНЭЭ, примененной в примере, приведенном в 5.1, представляет собой синтез рабочих профилей для каждого из двух вышеуказанных режимов, как показано на рисунке 7. Пиковая зарядная нагрузка снижается из-за ограничения мощности преобразователя, подключенного к электрической сети. СНЭЭ на ЭЗС обеспечивает избыточный спрос на зарядку. В целом, можно видеть, что СНЭЭ прошла два больших процесса заряда и разряда за суточный рабочий цикл (рисунок 7b). Распределение мощности рабочего цикла СНЭЭ по времени приведено в таблице 1.



a) Комплексная мощность

b) СЗ СНЭЭ

Рисунок 7 — Пример рабочего цикла СНЭЭ для бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

Таблица 1 — Разделение по времени режимов работы СНЭЭ в случае бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

Режимы	Период	Цель	Примечания
Арбитраж по рыночной цене ВИ	0:00~8:00	СНЭЭ находится в режиме зарядки до тех пор, пока СЗ не достигнет верхнего предела 95 %, чтобы подготовиться к разрядке в утренний пиковый период	Когда эквивалентная нагрузка превышает предел входной мощности внешней электрической сети 250 кВт, СНЭЭ обеспечивает питание избыточной нагрузки. Когда СЗ СНЭЭ достигает 95 %, режим зарядки прекращается. Максимальная мощность заряда СНЭЭ установлена на уровне 250 кВт
	11:00~18:00	СНЭЭ находится в режиме зарядки до тех пор, пока СЗ не достигнет верхнего предела 95 %, чтобы подготовиться к разрядке в вечерний пиковый период	
	21:00~22:00	СНЭЭ находится в режиме ожидания для последующей зарядки в период низких цен	
	22:00~24:00	СНЭЭ находится в режиме зарядки до тех пор, пока СЗ не достигнет верхнего предела 95 %, чтобы подготовиться к разрядке в утренний пиковый период	
Отслеживание эквивалентной нагрузки	8:00~11:00	СНЭЭ находится в режиме разрядки для отслеживания эквивалентной нагрузки	Максимальная мощность разряда СНЭЭ установлена на уровне 250 кВт. Когда мощность эквивалентной нагрузки превышает 250 кВт, избыточная нагрузка обеспечивается внешней электросетью
	18:00~21:00		Когда СЗ СНЭЭ достигает 32 %, режим разрядки прекращается

В практическом проекте, пример которого приведен в 5.1, СНЭЭ запрограммирована на заряд до 95 % СЗ, чтобы подготовиться к разрядке в периоды высоких цен. Если используется прогнозирование нагрузки, то уровень СЗ будет оптимизирован. Например, СЗ СНЭЭ падает до 35 % после 21:00, но все еще превышает установленный минимальный порог в 32 %. Если бы зарядная нагрузка на оставшуюся часть дня была известна заранее, то системе СНЭЭ не пришлось бы заряжаться до 95 % СЗ в периоды средней цены.

На рисунке 8 показан суточный поток электроэнергии ЭЗС (значение в момент времени t означает общее количество электроэнергии с момента времени t до момента времени $t + 1$). Левая ось показывает расход электроэнергии электрической сети, ФЭ-генерацию и нагрузку заряда ЭМ за каждый час, правая ось — электроэнергию, аккумулированную в СНЭЭ. Данные рисунка показывают, что коэффициент использования зарядных терминалов (отношение мощности заряда к максимальной мощности зарядных терминалов) является значительным, достигая в среднем 20 %/ч. Однако генерируемая мощность ФЭ-системы, установленной на этой ЭЗС, относительно недостаточна и составляет всего 30 кВт. Ожидается, что при установке большего количества ФЭ-панелей будут получены лучшие экономические выгоды.

Данные о рабочем цикле СНЭЭ на этой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ приведены в А.2.

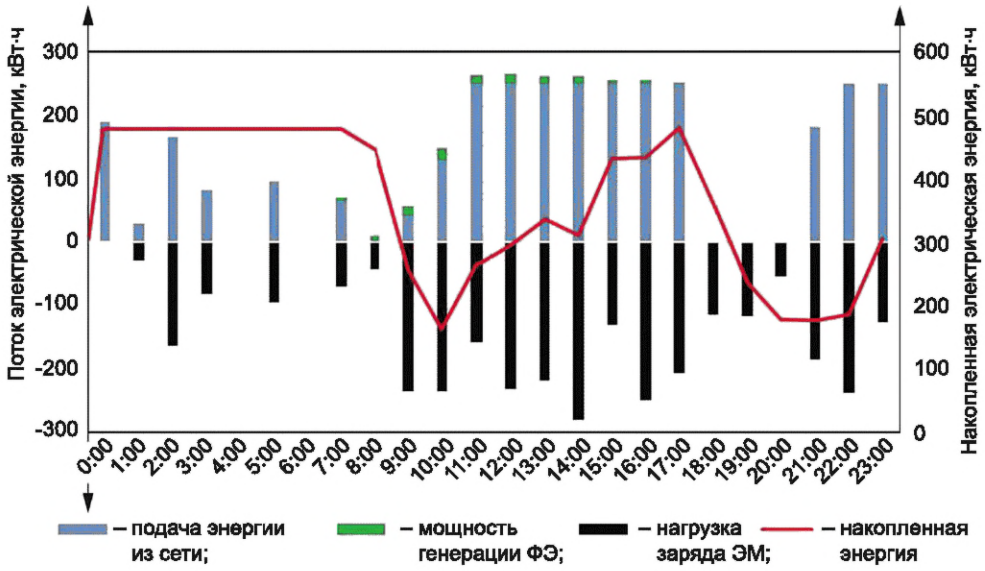


Рисунок 8 — Пример дневного потока электроэнергии для бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

6 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока

6.1 Обзор тематического проекта

Профили генерации ФЭ и электрической нагрузки заряда ЭМ имеют изменчивый характер. Мощные быстрые зарядки, сконцентрированные на ЭЗС, как правило, приводят к появлению скачков потребляемой от электрической сети мощности, что приведет к необходимости увеличения присоединенной мощности и повышению инвестиций в трансформаторную подстанцию, а также к высокой потребности в энергии для заряда. СНЭЭ способна формировать профили мощности путем сглаживания мощности эквивалентной нагрузки или уменьшения пикового потребления.

Пример — Приведенная на рисунке 9 принципиальная схема основана на конкретном проекте, реализованном в Шанхае, Китай. ЭЗС включает 292 ФЭ-модуля, которые занимают площадь 530 м^2. Общая установленная мощность ФЭ-модулей составляет 82 кВт. Мощность/энергоемкость СНЭЭ составляет 150 кВт/150 кВт · ч. Для обеспечения заряда ЭМ имеется 14 зарядных терминалов переменного тока, при этом нормированная мощность каждого зарядного терминала составляет 3,5 кВт, и четыре зарядных терминала ЭвС, при этом нормированная мощность каждого зарядного терминала составляет 30 кВт. Все устройства, входящие в состав ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, подключены к электрической сети через шину переменного тока. Поток энергии по шине переменного тока является двунаправленным. Если есть избыточная мощность, генерируемая ФЭ-панелями, то ее допускается подавать обратно во внешнюю электрическую сеть.

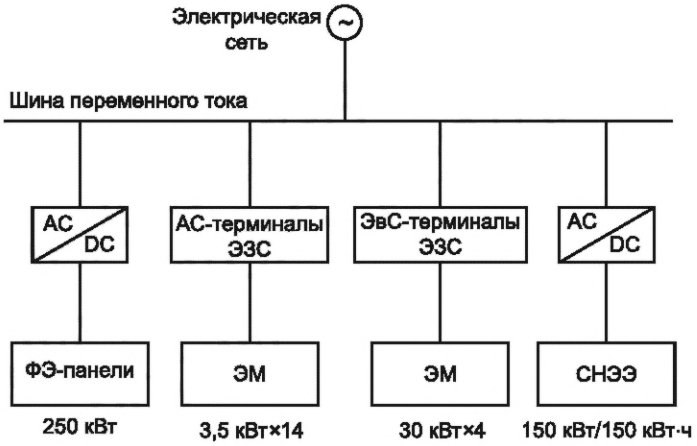


Рисунок 9 — Пример принципиальной схемы бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока

ФЭ-генерация используется для обеспечения энергии, получаемой из возобновляемых источников. СНЭЭ используется для аккумулирования электрической энергии в часы низкого спроса и обеспечения энергии для быстрой зарядки в часы пик, что эффективно уменьшает разницу между пиковой нагрузкой и периодом низкого спроса, смягчает влияние быстрой зарядки на электрическую сеть и повышает эффективность работы ЭЗС.

К СНЭЭ для ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ предъявляют следующие требования к выполняемым функциям:

1) сглаживание мощности: буферизация внезапного изменения мощности быстрой зарядки для ЭМ, смягчение воздействия зарядной нагрузки на распределительную сеть и сглаживание генерируемой ФЭ-мощности;

2) формирование нагрузки: отдача электрической энергии в период пиковой нагрузки и аккумулирование электрической энергии в период низкого спроса нагрузки, уменьшая разницу между периодами повышенного и пониженного спроса; обеспечивая потребности в пиковой нагрузке, превышающей разрешенную мощность распределительной сети, что позволяет отложить модернизацию ЭЗС и электрической сети при увеличении обеспечиваемой ею нагрузки;

3) арбитраж цен ВИ: СНЭЭ заряжается в период низких цен и разряжается в период высоких пиковых цен для получения экономической выгоды от ценового арбитража.

6.2 Работа и управление системой

6.2.1 Анализ рабочих данных

На рисунке 10 приведен пример данных о генерации и потреблении электроэнергии по времени суток в обычный день, которые положены в основу проекта, пример которого приведен в 6.1. Интервал выборки данных составляет 1 мин. В приведенном примере максимальная суточная мощность нагрузки заряда ЭМ составляет около 150 кВт. Время зарядки в основном распределяется с 9:00 до 1:00 следующего дня, и потребляемая при этом мощность сильно колеблется. Прерывистые и резкопеременные характеристики зарядной нагрузки и мощности, генерируемой ФЭ, обобщаются в один профиль (т. е. эквивалентную нагрузку) для дальнейшего анализа.

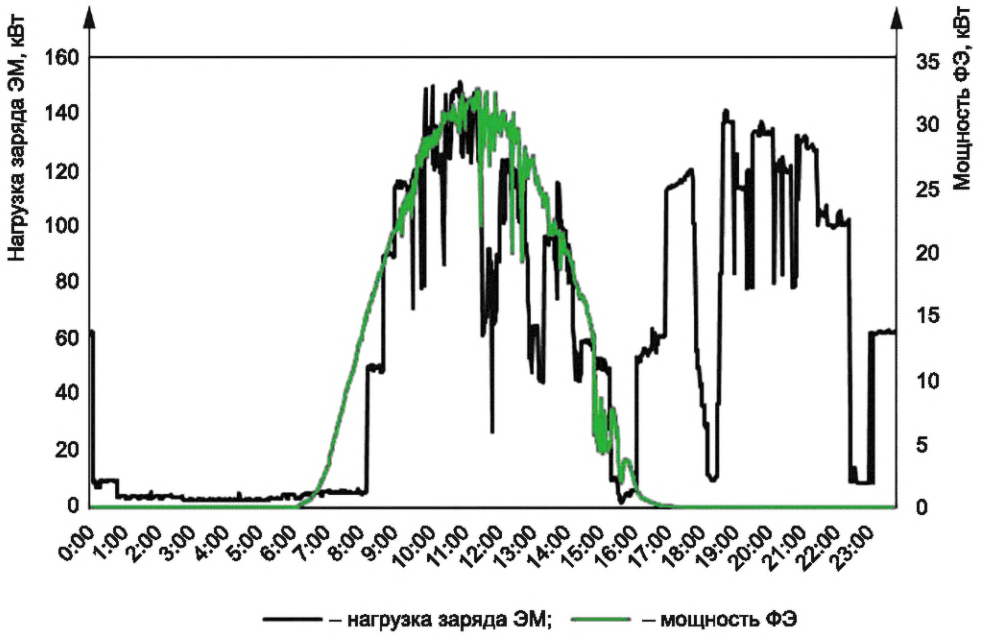


Рисунок 10 — Пример нагрузки ЭМ и мощности ФЭ для бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

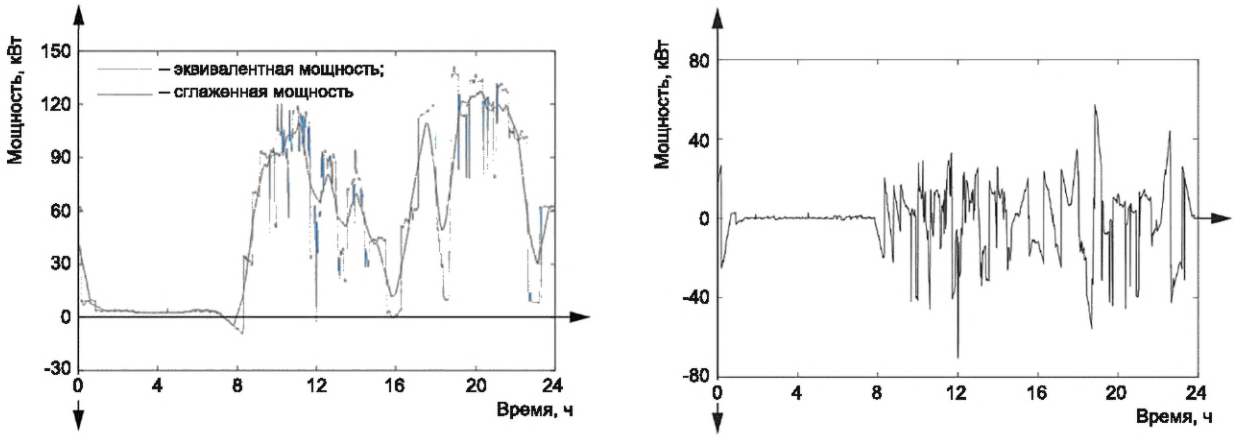
6.2.2 Анализ режима работы

6.2.2.1 Общие положения

Поскольку нагрузка заряда ЭМ непостоянна в течение 24 ч, работа СНЭЭ разделена на три режима работы, которые включают режим сглаживания мощности, режим срезания пиков и режим арбитража цен ВИ.

6.2.2.2 Режим сглаживания мощности

Режим сглаживания мощности в основном использует метод скользящего среднего для сглаживания мощности в ТПСН и описывает характеристику мощности заряда-разряда СНЭЭ. Пример кривых мощности, полученных при применении только режима сглаживания мощности в течение 24 ч, показаны на рисунке 11. На рисунке 11a) показаны эквивалентная мощность и сглаженная мощность, а на рисунке 11b) показана мощность СНЭЭ.



a) Эквивалентная мощность и сглаженная мощность

b) Мощность СНЭЭ

Рисунок 11 — Пример рабочей мощности в режиме сглаживания мощности для бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

Мощность СНЭЭ положительна в режиме разрядки и отрицательна в режиме зарядки. Мощность заряда-разряда СНЭЭ между 1:00 и 8:00 не сильно меняется и имеет тенденцию к постоянному подзаряду. Из-за избытка ФЭ-энергии в дневное время СНЭЭ достигает пика зарядки примерно в 12:00.

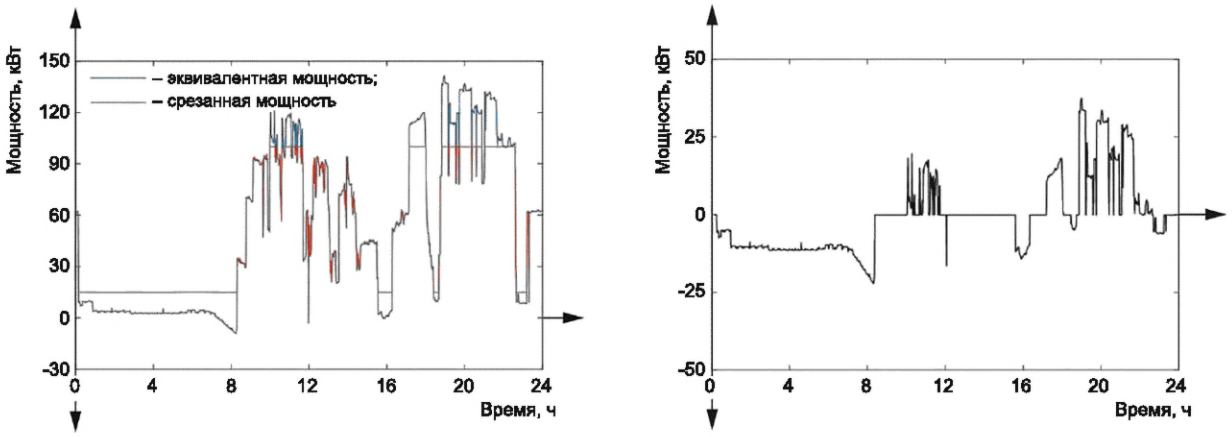
6.2.2.3 Режим срезания пиков

В режиме срезания пиков верхняя и нижняя предельная мощность электрической сети устанавливаются на 75 % и 10 % от общей мощности трансформаторной подстанции, что составляет 112,5 кВт и 15 кВт соответственно. Стратегия работы заключается в том, что СНЭЭ должна непрерывно увеличивать мощность разряда или уменьшать мощность заряда до тех пор, пока мощность на ТПСН не стабилизируется ниже 112,5 кВт, и должна увеличивать мощность заряда или уменьшать мощность разряда до тех пор, пока мощность на ТПСН не стабилизируется выше 15 кВт. График, полученный при применении в течение 24 ч только режима срезания пиков, показан на рисунке 12. На рисунке 12a) показаны эквивалентная мощность и сглаженная мощность, а на рисунке 12b) показана мощность СНЭЭ.

СНЭЭ в основном заряжается с 1:00 до 8:00, разряжается с 10:00 до 12:00 и с 17:00 до 22:00. В течение оставшегося периода времени происходят прерывистые процессы зарядки и разрядки в зависимости от изменения нагрузки.

6.2.2.4 Режим арбитража цен ВИ

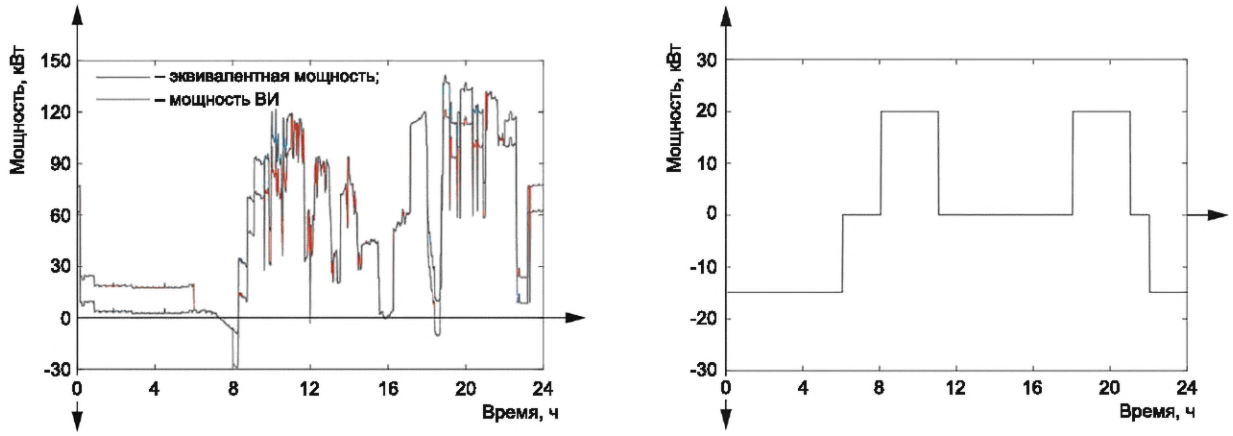
В режиме арбитража цен ВИ применяется стратегия «один заряд и два разряда», которая заключается в заряде СНЭЭ в периоды низких цен с 22:00 до 6:00 и разряде в периоды высоких цен с 8:00 до 11:00 и с 18:00 до 21:00 (на основе цен для примера, приведенного в 6.1). Мощность заряда и разряда СНЭЭ постоянна. Значение, полученное путем применения в течение 24 ч только режима арбитража цен ВИ, показано на рисунке 13. На рисунке 13a) показаны эквивалентная мощность и мощность, реализованная в результате арбитража цен ВИ, а на рисунке 13b) показана мощность СНЭЭ.



a) Эквивалентная мощность и срезанная мощность

b) Мощность СНЭЭ

Рисунок 12 — Пример рабочей мощности в режиме срезания пиков бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока



a) Эквивалентная мощность и мощность ВИ

b) Мощность СНЭЭ

Рисунок 13 — Пример рабочей мощности в режиме арбитража цен ВИ бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

СНЭЭ может увеличить нагрузку в период низкого спроса ночью, но тогда будет прерывистая нагрузка в период пиковых цене на электроэнергию. Разряд в установленное время еще больше снизит нагрузку, возникающую в периоды высоких цен, что не способствует стабильности сети. СНЭЭ в данном случае реализует ценовой арбитраж при одновременном снижении стабильности мощности сети.

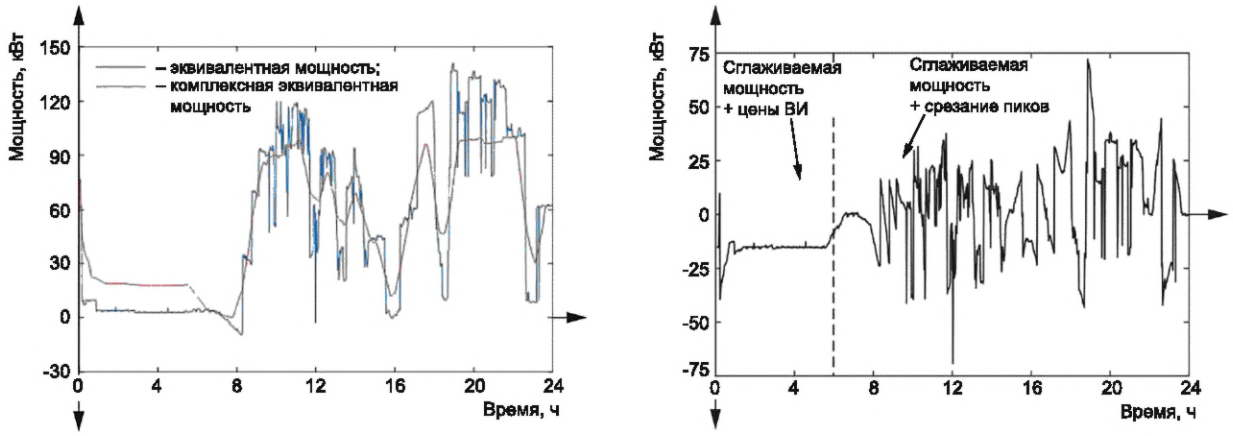
6.3 Обобщение полученных результатов

Для координации нескольких режимов СНЭЭ используют разделение рабочего цикла по времени, как показано в таблице 2 на основании характеристик эквивалентной нагрузки в разные периоды времени.

Таблица 2 — Пример разделения по времени режимов работы СНЭЭ бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

Режимы	Периоды	Цели
Сглаживание мощности	0:00~24:00	Сглаживание колебаний мощности эквивалентной нагрузки в течение суток
Срезание пиков	6:00~24:00	Уменьшение разницы между пиком нагрузки и периодом ее спада
Арбитраж цен ВИ	0:00~6:00	Аккумулирование энергии в СНЭЭ по низкой цене

В соответствии с разделением, пример которого приведен в таблице 2, получают рабочий цикл, который показан на рисунке 14. На рисунке 14a) показан пример эквивалентной мощности и комплексной эквивалентной мощности, основанной на режимах сглаживания мощности, срезания пиков и арбитража цен ВИ СНЭЭ. На рисунке 14b) показана мощность СНЭЭ. Видно, что в рассматриваемом примере сглаживание мощности является основным режимом СНЭЭ. После этого СНЭЭ должна определить, превышает ли сглаженная мощность предельную мощность, и дополнительно провести срезание пиков, если у нее присутствует запас до предельной мощности. Заряд СНЭЭ для последующего использования проводится в периоды низких цен



a) Эквивалентная и комплексная мощность

b) Мощность СНЭЭ

Рисунок 14 — Пример рабочего цикла СНЭЭ бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

На рисунке 15 показан суточный поток электроэнергии ЭЗС. Коэффициент использования зарядных терминалов достигает в среднем 35 %/ч. Однако большая часть электроэнергии для заряда ЭМ при этом поступает из сети. Основными функциями СНЭЭ в рассматриваемом примере являются сглаживание мощности и срезание пиков.

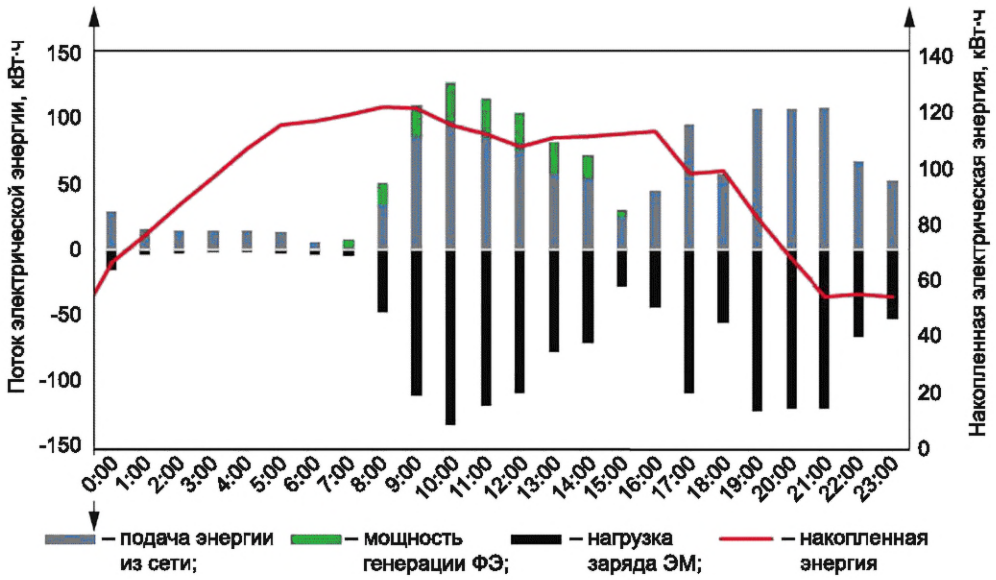


Рисунок 15 — Пример дневного потока электроэнергии бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока

Данные о рабочем цикле СНЭЭ на этой ЭЗС приведены в таблице А.2.

7 Проект профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

7.1 Обзор тематического проекта

Пример принципиальной схемы профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока приведен на рисунке 16.

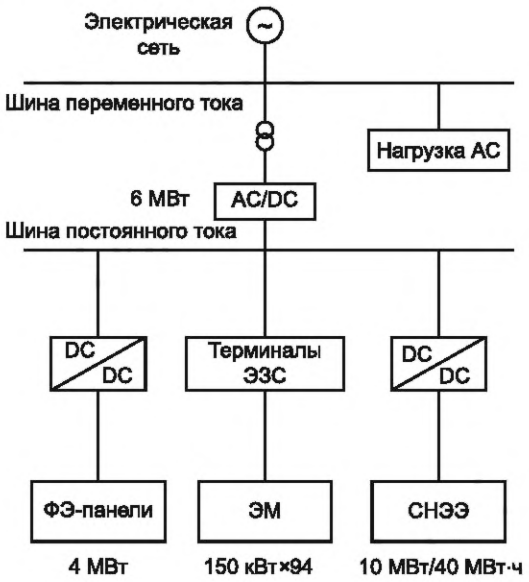


Рисунок 16 — Пример принципиальной схемы профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

Пример — Приведенная на рисунке 16 принципиальная схема основана на конкретном проекте, реализованном в Пекине, Китай. ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ оснащена шиной постоянного тока для подключения основного оборудования ЭЗС, включая ФЭ-панели мощностью 4 МВт, СНЭЭ на основе литий-ионных батарей мощностью/энергоемкостью 10 МВт/40 МВт · ч и 47 терминалов быстрой зарядки постоянного тока. Каждый терминал представляет собой интегрированное оборудование с двумя коннекторами зарядки, максимальная мощность которого составляет 150 кВт. ЭЗС подключена к шине переменного тока с использованием преобразователя AC/DC, с помощью которого она может получать электроэнергию из внешних сетей или обеспечивать энергией близлежащий торговый центр.

В отличие от двух приведенных выше примеров в этом проекте имеется локальная внешняя нагрузка переменного тока (торговый центр рядом с ЭЗС), а установленная мощность ФЭ-систем относительно велика. ЭЗС в рассматриваемом примере разрешено обеспечивать электропитание для обеспечения потребностей внешних местных нагрузок. Таким образом, ЭЗС является не только потребителем, но и поставщиком услуг по энергоснабжению.

В рассматриваемом примере участвуют четыре независимых заинтересованных стороны: ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, распределительная электрическая сеть, торговый центр и пользователи ЭМ.

Как потребитель электрической энергии, ЭЗС оплачивает счета за электроэнергию электрической сети на основе текущей цены на электроэнергию в каждом платежном цикле. Энергия, генерируемая ФЭ, полностью (на 100 %) потребляется локально по шине переменного и постоянного тока, и ее не разрешено подавать обратно в вышестоящую электрическую сеть. С другой стороны, подобная ЭЗС относится к субъектам электроэнергетики, осуществляющим энергосбытовую деятельность[1)], независимым от электросети и конечных пользователей. С помощью СНЭЭ ЭЗС может покупать электроэнергию по низким ценам и продавать ее пользователям по высоким ценам для арбитража. Таким образом, работа

[1)] *Осуществление энергосбытовой деятельности осуществляется на основании Федерального закона от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», иных федеральных законов и нормативно-правовых актов Российской Федерации, нормативно-правовых актов Минэнерго России.*

СНЭЭ является ключевым фактором реализации преимуществ гибридной ЭЗС. В зависимости от различных условий работы СНЭЭ имеет следующие три режима работы:

1) отслеживание эквивалентной нагрузки;
2) арбитраж цен ВИ;
3) реагирование на спрос.

7.2 Работа и управление системой

7.2.1 Анализ рабочих данных

На рисунке 17 приведен пример данных о генерации и потреблении электроэнергии по времени суток в обычный день, которые положены в основу проекта, пример которого приведен в 7.1. ФЭ-панели вырабатывают электроэнергию в основном с 7:00 до 17:00. Услуга зарядки ЭМ доступна 24 ч/сут. Владелец торгового центра (нагрузка переменного тока) покупает электроэнергию у ЭЗС во время пиковых нагрузок. На рисунке 18 показана цена ВИ и тарифы на услуги зарядки ЭМ за этот день.

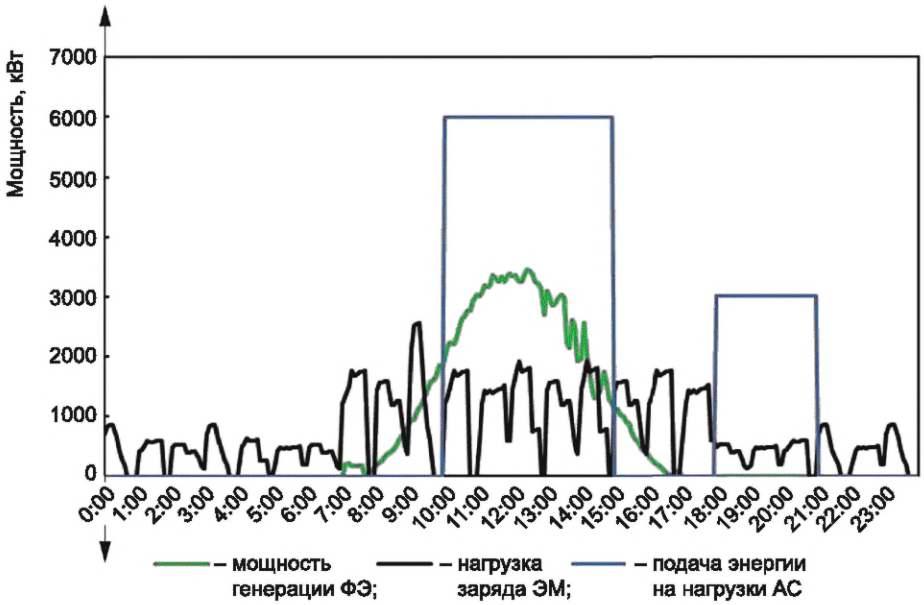


Рисунок 17 — Пример мощности, генерируемой ФЭ, нагрузки заряда ЭМ и мощности, подаваемой на внешнюю нагрузку профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

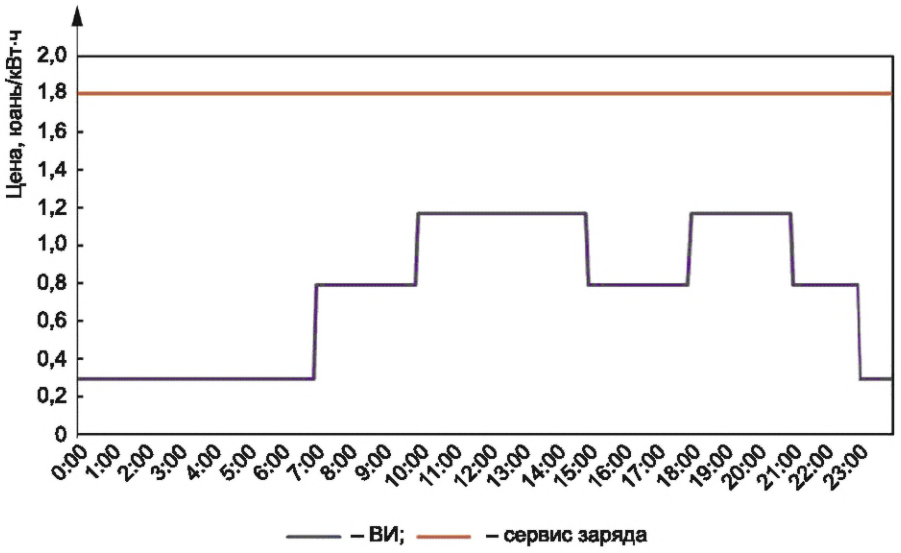


Рисунок 18 — Цены на ВИ и услуги зарядки ЭМ профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

СНЭЭ является гибкой по алгоритму работы и управляемой благодаря двунаправленным свойствам источника питания и нагрузки и является ключевым фактором максимизации преимуществ ЭЗС. Для смягчения воздействия на электрическую сеть случайного характера генерации ФЭ и мощности, требуемой для заряда ЭМ и уменьшения разницы нагрузки в периоды пикового и пониженного спроса, требуется обоснованно выбрать рабочий цикл СНЭЭ.

7.2.2 Анализ режима работы

7.2.2.1 Общие положения

Типичные режимы работы СНЭЭ на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ, пример которой приведен в 7.1, включают отслеживание эквивалентной нагрузки, арбитраж цен на электроэнергию и реагирование на спрос. В разделе 5 применен метод анализа разделения режима работы по времени. В частности, СНЭЭ, описанная в разделе 5, работает в разных режимах в разное время суток. В настоящем разделе применен подход, согласно которому каждый режим работы СНЭЭ длится одни сутки, а конечный суточный рабочий цикл представляет собой суперпозицию оптимальных кривых мощности для трех ее режимов работы.

7.2.2.2 Режим отслеживания эквивалентной нагрузки

Как мощность генерации ФЭ-устройств, так и нагрузка заряда ЭМ имеет стохастический характер с большой изменчивостью, при этом зарядка ЭМ может произойти в любое время суток. В 7.2.2 эквивалентная нагрузка по-прежнему определяется как разница между нагрузкой, требуемой для заряда ЭМ, и мощностью генерации ФЭ. Поскольку нормированная мощность СНЭЭ на шине постоянного тока достаточно велика (в рассматриваемом примере — 10 МВт), благодаря использованию режима отслеживания эквивалентной нагрузки СНЭЭ полностью нивелирует изменчивость генерации энергии ФЭ и потребность в зарядке ЭМ, как показано на рисунке 19, что устраняет колебания мощности и уменьшает воздействие колебаний высоких мощностей на электрическую сеть. Когда нагрузка заряда ЭМ превышает мощность генерации ФЭ, СНЭЭ работает в режиме разрядки. И наоборот, если мощность, генерируемая ФЭ, превышает потребность в зарядке ЭМ, избыточная электроэнергия для последующей отдачи будет аккумулироваться в СНЭЭ.



Рисунок 19 — Пример рабочей мощности в режиме отслеживания эквивалентной нагрузки для профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

7.2.2.3 Режим арбитража цен ВИ

Возможность использования изменений цены в зависимости от ВИ создает благоприятные условия для увеличения экономических доходов ЭЗС с СНЭЭ (рисунок 20). В периоды низкого потребления электроэнергии и низких цен на нее СНЭЭ аккумулирует энергию из внешней электрической сети по наиболее низкой цене. Когда цена на электроэнергию достигает пика, СНЭЭ может отдать энергию в

близлежащий торговый центр для получения высокой экономической отдачи. Мощность заряда и разряда СНЭЭ ограничена мощностью преобразователя AC/DC, которая составляет в приведенном в 7.1 примере 6 МВт. Когда СЗ СНЭЭ достигнет своего верхнего (СЗ 90 %) или нижнего (СЗ 10 %) предела, ее заряд или разряд будет остановлен. В данной ЭЗС, поскольку с 7:00 до 10:00 происходит заряд некоторого количества ЭМ, СЗ СНЭЭ уменьшается с 90 %, что запускает процесс ее заряда в этот период времени. Количество энергии, отдаваемой в периоды пикового времени, основано на анализе временны́х данных о нагрузке торгового центра и энергоемкости СНЭЭ. Как правило, станция будет ежедневно продавать торговому центру около 39 МВт · ч электроэнергии.

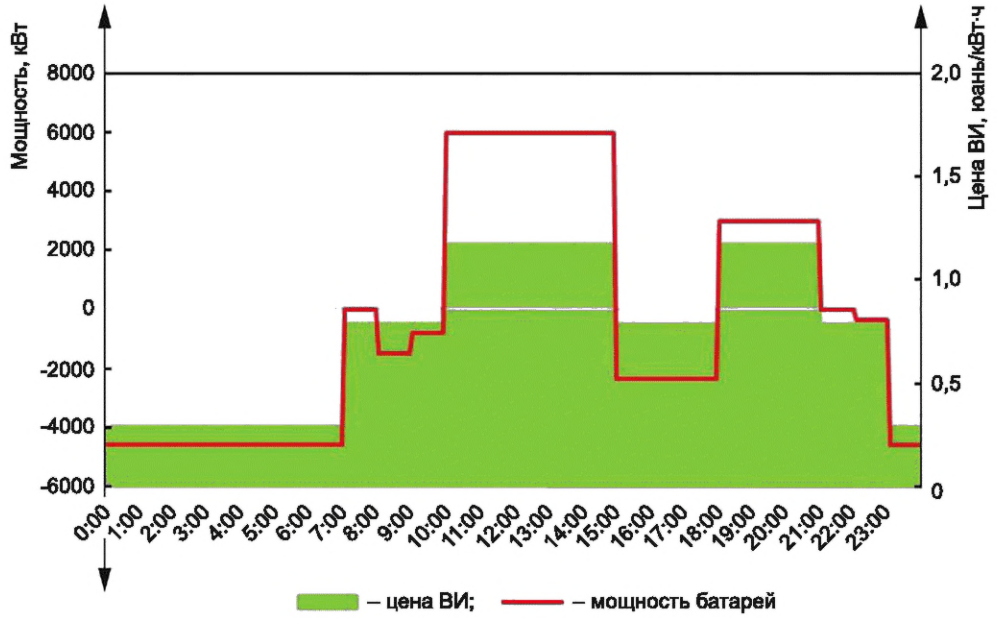


Рисунок 20 — Пример рабочей мощности в режиме арбитража цен ВИ профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

Еще одной функцией работы в режиме арбитража цен ВИ является поддержание баланса энергии, аккумулированной в батареях. Батарея будет отдавать (например, частично для отслеживания нагрузки ЭМ) столько энергии, сколько она поглощает (например, частично для усиления ФЭ-генерации) в течение суток. Восстановление баланса энергии устраняется в режиме арбитража ВИ с учетом экономических выгод за разные периоды времени с разной ценой ВИ.

7.2.2.4 Режим реагирования на спрос

С помощью управляемой СНЭЭ ЭЗС может принимать участие в отклике на спрос, публикуемом сетевыми операторами, и гибко выполнять график подачи/потребления электроэнергии. При участии в этом процессе пользователям, которые потребляют электроэнергию с 2:00 до 6:00, энергосбытовая организация, как правило, предложит дополнительные субсидии (стоимость электроэнергии, потребленной в течение этого времени, оплачивается по ставке ниже, чем цена ВИ). В связи с этим ЭЗС составляет дополнительный план зарядки с 2:00 до 6:00, как показано на рисунке 21. Для поддержания баланса энергии следует также скорректировать график работы СНЭЭ в течение других периодов времени. Совокупная мощность батарей СНЭЭ, участвующих как в арбитраже цен ВИ, так и в реагировании на спрос, показана на рисунке 22.

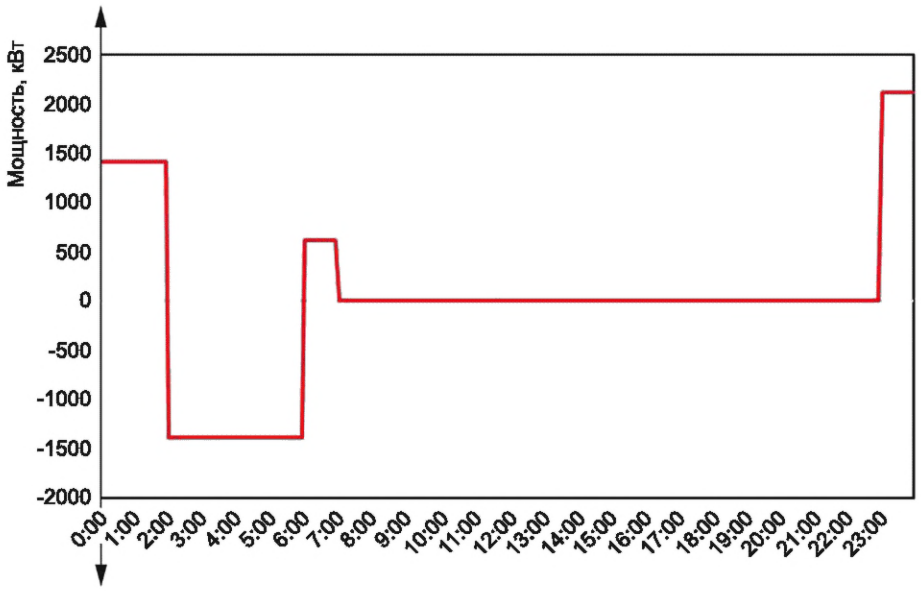


Рисунок 21 — Рабочая мощность в режиме реагирования на спрос для варианта профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

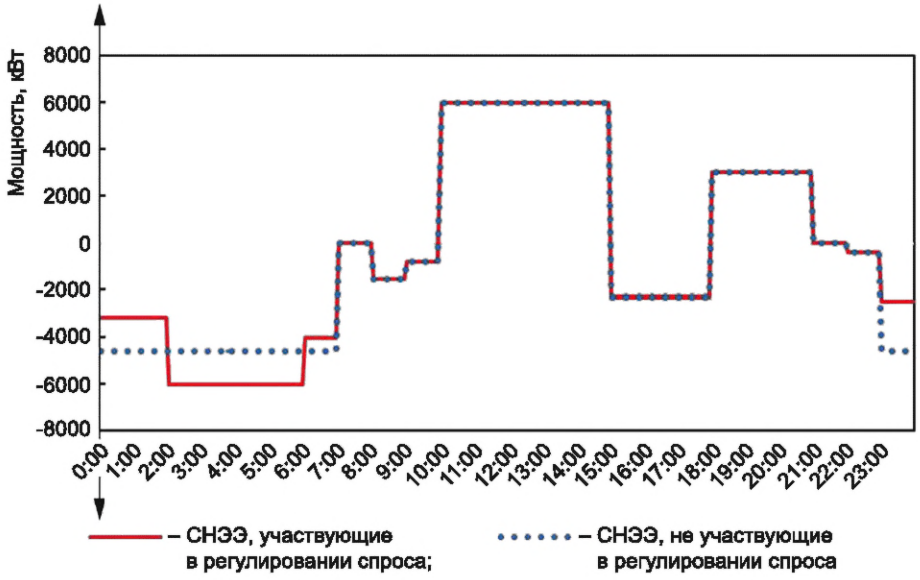


Рисунок 22 — Пример рабочей мощности, задействованной в арбитраже цен ВИ и реагировании на спрос профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

7.3 Обобщение полученных результатов

Единственный режим не может в полной мере обеспечить максимальные преимущества гибридной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ. Фактические условия работы СНЭЭ в такой ЭЗС представляют собой суперпозицию трех вышеуказанных режимов, как показано на рисунке 23.

На рисунке 24 приведен суточный поток электроэнергии ЭЗС для рассматриваемого примера, на котором можно увидеть выполнение функции СНЭЭ сдвига мощности во времени. Количество аккумулированной в СНЭЭ электрической энергии в конце суток возвращается к уровню в начале суток для подготовки к рабочему циклу следующих суток. В рассматриваемом примере ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ введена в эксплуатацию недавно и ее зарядная нагрузка не очень велика. Средний коэффициент использования

зарядных терминалов в 24 ч составляет около 5,4 %. Большая часть мощности вырабатывается для питания нагрузки переменного тока в расположенном рядом торговом центре. По мере того, как ЭМ становятся все более популярными, ожидается, что в будущем доходы от предоставления услуг зарядки будут расти.

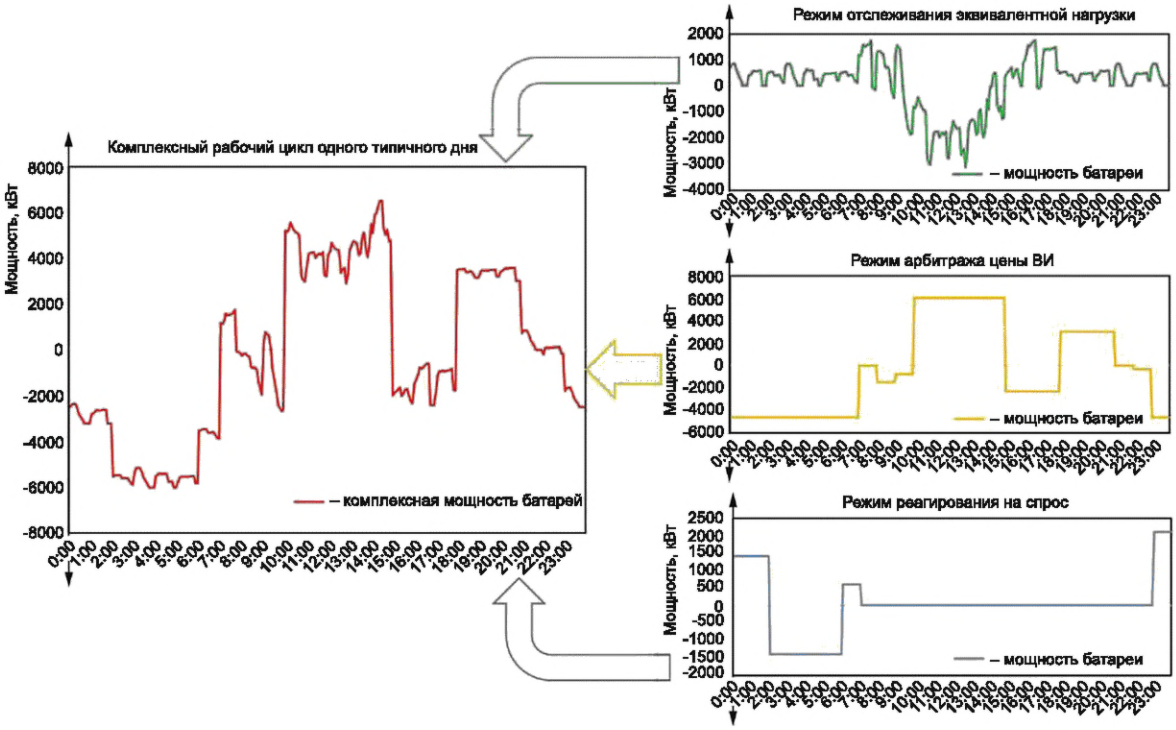


Рисунок 23 — Пример рабочего цикла СНЭЭ профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

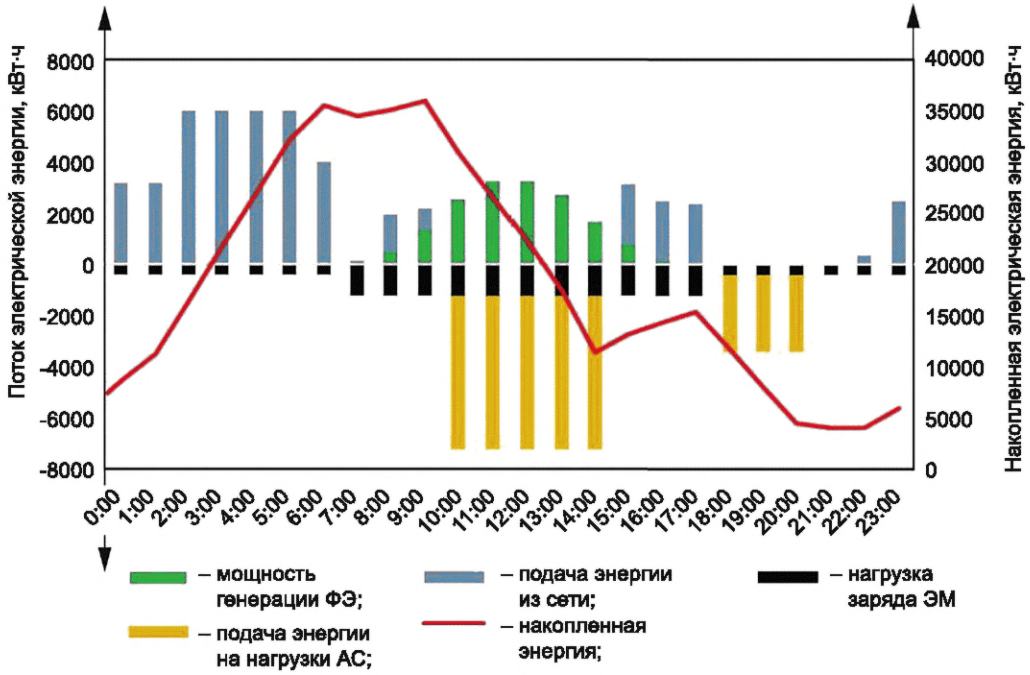


Рисунок 24 — Пример суточного потока электроэнергии профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока

Данные о рабочем цикле СНЭЭ для рассматриваемой ЭЗС представлены в таблице А.3.

8 Проект профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока

8.1 Обзор тематического проекта

По мере развития инфраструктуры зарядки ЭМ возрастает важность исследования взаимодействия между владельцами ЭМ и ОЭЭМ ЭЗС, использующей возобновляемые источники энергии и СНЭЭ в целях оптимизации снижения нагрузки при заряде ЭМ и понимания воздействия на электрическую сеть.

Пример — Приведенная на рисунке 25 принципиальная схема основана на конкретном проекте, реализованном в Национальной лаборатории Ок-Риджа (ORNL), Теннесси, США. Были установлены 125 ЭЗС с использованием солнечной энергии, разделенные на 15 площадок. На каждой площадке размещены несколько ОЭЭМ, группа ФЭ и СНЭЭ, которые независимо подключены к электрической сети. Мощность солнечной генерации каждого ОЭЭМ составляет около 2 кВт. Так, на территории одной из площадок, созданной исключительно для сотрудников и посетителей ORNL, которые могут приобретать электроэнергию из внешней сети или наоборот обеспечивать ее питанием от своих ЭМ, установлено 25 ОЭЭМ, ФЭ-панели мощностью 47 кВт и СНЭЭ энергоемкостью 60 кВт · ч. Между системой СНЭЭ и электрической сетью установлено двунаправленное соединение с помощью инвертора/зарядного устройства мощностью 5 кВт.

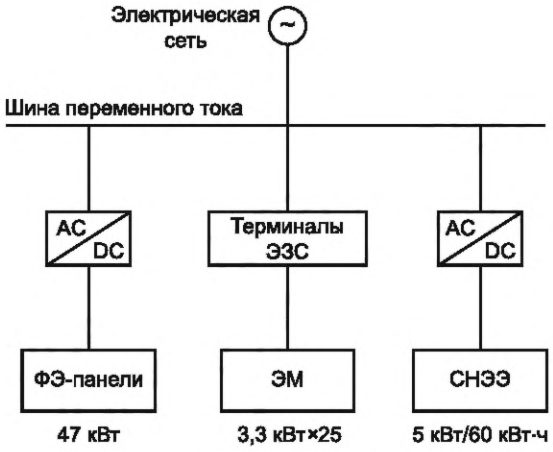


Рисунок 25 — Пример принципиальной схемы профессиональной ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока

8.2 Работа и управление системой

8.2.1 Анализ рабочих данных

На рисунке 26 приведены данные о генерации и потреблении электроэнергии по времени суток в обычный день, которые положены в основу проекта, пример которого приведен в 8.1. ФЭ-панели вырабатывают электроэнергию в основном с 9:00 до 20:00. Поскольку эта частная ЭЗС предоставляет услуги зарядки исключительно для сотрудников и посетителей ORNL, зарядка ЭМ в основном происходит с 7:00 до 14:00. Интервал выборки данных составляет 15 мин.

8.2.2 Анализ режима работы

8.2.2.1 Общие положения

Для СНЭЭ, пример которой приведен в 8.1, доступны три стратегии работы. Стратегия работы 1 имеет фиксированное время зарядки и разрядки СНЭЭ независимо от мощности генерации ФЭ и нагрузки заряда ЭМ. Во время работы СНЭЭ работает на максимальной мощности (5 кВт). Режим зарядки в стратегии работы 2 такой же, как и в 1. Однако стратегия работы 2 в режиме разрядки определяется на основе ограничения мощности СНЭЭ и количества ЭМ. Стратегия работы 3 основана на заряде и разряде СНЭЭ с разной мощностью в зависимости от разницы между мощностью, генерируемой ФЭ, и нагрузкой заряда ЭМ. Использование избыточной ФЭ-мощности для заряда СНЭЭ в течение дня может существенно сократить время ее зарядки ночью.

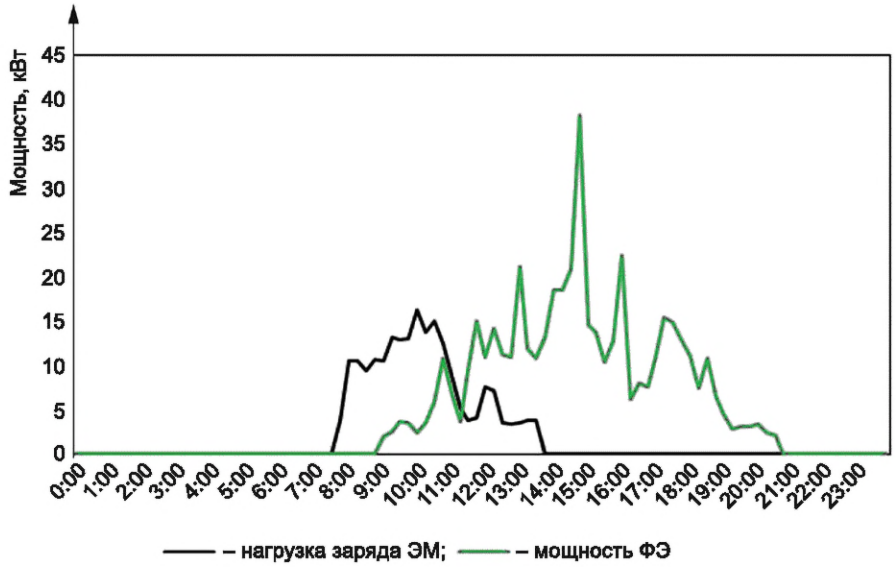


Рисунок 26 — Пример нагрузки заряда ЭМ и мощности ФЭ профессиональной ЭЗС на базе общей шины переменного тока

8.2.2.2 Стратегия работы 1

Стратегия работы 1 СНЭЭ заключается в том, чтобы заранее установить время работы и мощность СНЭЭ. В частности, время начала ее зарядки и время окончания зарядки выбраны как 20:00 и 6:00 соответственно из-за того, что они не являются пиковыми часами. Периоды разрядки устанавливают с 7:00 до 13:00 одного дня на основе временно́й статистики использования. СНЭЭ работает на максимальной мощности (5 кВт) во время работы, независимо от заряда и разряда.

На рисунке 27 приведены результаты работы в рамках первой стратегии. «Режим» на рисунке обозначает рабочее состояние батарей. Режим, равный 1, означает разряд СНЭЭ, а режим, равный –1, означает заряд СНЭЭ. В этой стратегии СНЭЭ заряжается и разряжается один раз в день и в основном работает в режиме арбитража цен ВИ. После 12:00 СНЭЭ все еще разряжается в электрическую сеть, даже если в этом нет необходимости.

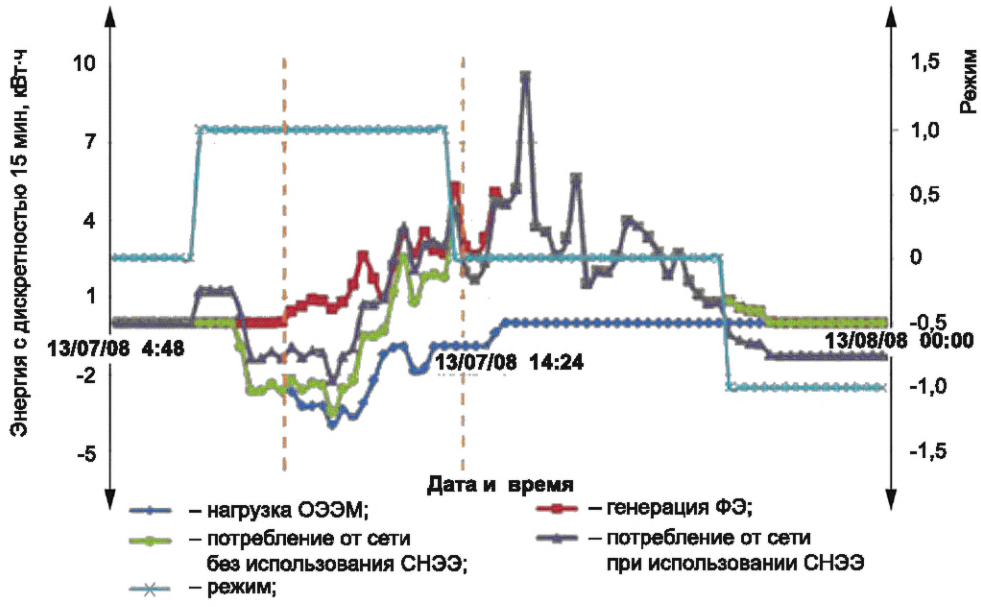


Рисунок 27 — Результаты моделирования для стратегии работы 1 профессиональной ЭЗС на базе общей шины переменного тока

8.2.2.3 Стратегия работы 2

В этой стратегии работы для заряда ЭМ используется мощность, генерируемая ФЭ, если она доступна. Если требуется больше энергии, то СНЭЭ будет подавать часть энергии в соответствии со встроенным алгоритмом, а оставшаяся мощность будет обеспечиваться электрической сетью.

На рисунке 28 показаны результаты работы в рамках второй стратегии. Как и при стратегии работы 1, события зарядки СНЭЭ стратегии работы 2 по-прежнему соответствуют фиксированным периодам и мощностям заряда. Разряд СНЭЭ происходит, когда мощность генерации ФЭ меньше, чем нагрузка заряда ЭМ, а разрядная мощность СНЭЭ определяется на основе предельной мощности СНЭЭ и количества заряжаемых ЭМ. В соответствии с этой стратегией СНЭЭ работает в режиме арбитража цен ВИ и режиме отслеживания эквивалентной нагрузки.

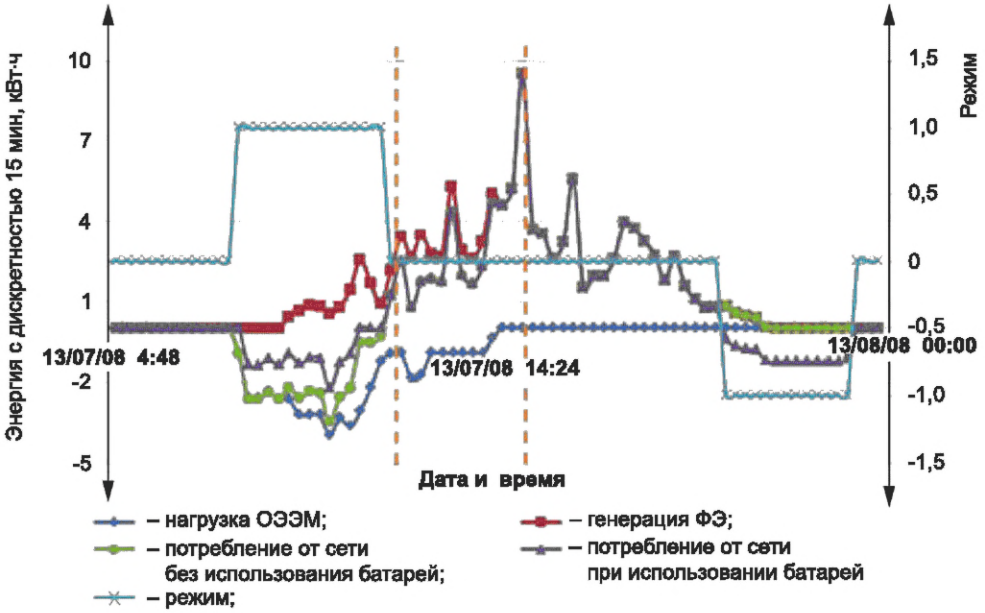


Рисунок 28 — Пример результатов моделирования для стратегии работы 2 профессиональной ЭЗС на базе общей шины переменного тока

8.2.2.4 Стратегия работы 3

По сравнению с описанной выше стратегией работы 2, стратегия работы 3 улучшает потребление энергии собственной генерации ФЭ и более строго ограничивает мощность разряда СНЭЭ.

Если мощность генерации ФЭ превышает нагрузку заряда ЭМ, что, как правило, происходит между 8:00 и 20:00, то СНЭЭ разрешается заряжаться от ФЭ-генерации. Если мощности ФЭ недостаточно для обеспечения потребности в зарядке, то вводится сигмоидальная функция для определения разрядной мощности СНЭЭ. Сигмоидальная функция формулируется следующим образом:

$$P_f(i_d) = \left(\frac{2}{1 + e^{-\omega i_d}} - 1\right) \cdot (P_l), \quad (1)$$

$$i_d = P_d / 120, \quad (2)$$

где P_d — эквивалентная нагрузка, равная разнице мощности нагрузки заряда ЭМ и мощности генерации ФЭ;

i_d — ток эквивалентной нагрузки, который рассчитывается в соответствии с эквивалентной нагрузкой и постоянным напряжением (120 В в данном проекте);

P_l — предел мощности СНЭЭ;

P_f — мощность СНЭЭ;

ω — регулируемый параметр, который используется для регулировки крутизны сигмоидальной кривой и управления скоростью отклика СНЭЭ.

Сигмоидальная функция помогает предотвратить слишком быструю разрядку всей энергии, аккумулированной СНЭЭ, не оставляя энергии на более поздний период дня.

На рисунке 29 показаны результаты работы в рамках третьей стратегии. Видно, что СНЭЭ использует энергию, вырабатываемую ФЭ-панелями в дневное время, для заряда и способствует потреблению ФЭ-энергии на месте. Поскольку текущая нагрузка заряда ЭМ этой станции относительно невелика, избыточной ФЭ-мощности в течение дня достаточно для полного заряда СНЭЭ только за счет нее. Следовательно, СНЭЭ на рисунке 29 не работает ночью. Если в будущем нагрузка на зарядку ЭМ возрастет, то будет реализован заряд СНЭЭ ночью в периоды низких цен.

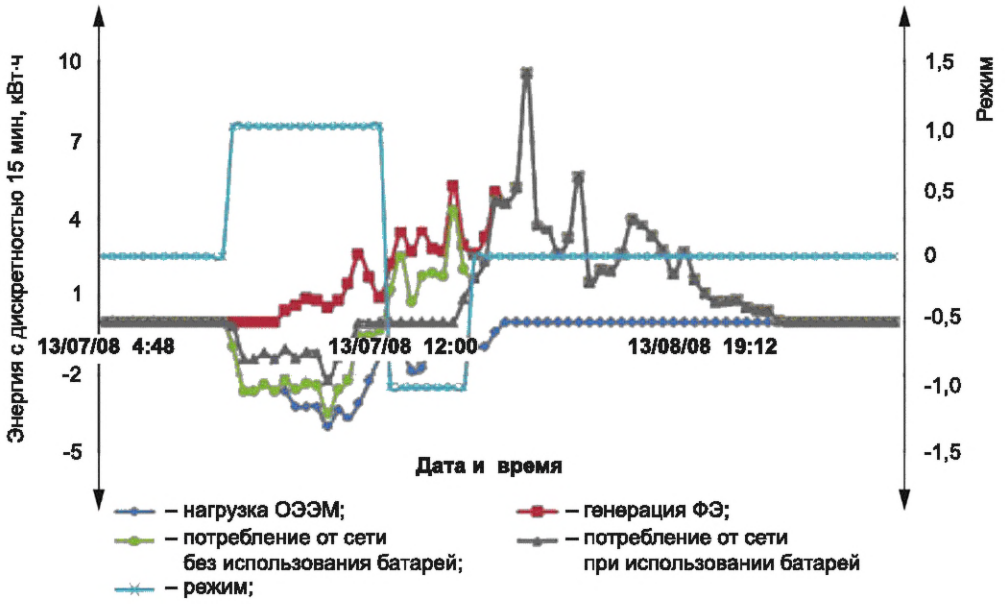


Рисунок 29 — Результаты моделирования для стратегии работы 3 профессиональной ЭЗС, основанной на общей шине переменного тока

8.3 Обобщение полученных результатов

Краткое описание трех стратегий работы показано на рисунке 30, из которого можно извлечь основные режимы работы СНЭЭ, которые реализуются при их применении.

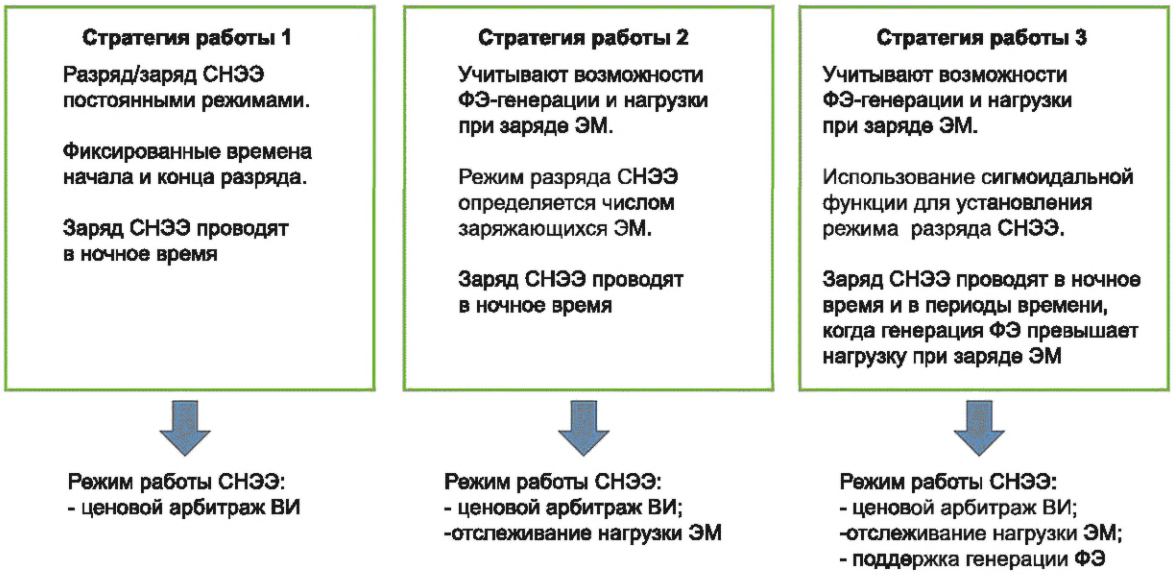


Рисунок 30 — Три стратегии работы и результирующие режимы работы СНЭЭ профессиональной ЭЗС на базе общей шины переменного тока

Сравнение рассмотренных трех стратегий работы ЭЗС на примере, приведенном в 8.1, позволяет заключить, что стратегия работы 3 имеет значительные преимущества в стимулировании потребления энергии, генерируемой ФЭ, снижении зависимости нагрузки заряда ЭМ от электрической сети и увеличении продолжительности разряда СНЭЭ. Дополнительные результаты третьей стратегии приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Разделение режимов работы СНЭЭ по времени для профессиональной ЭЗС на основе общей шины переменного тока

Режимы		Переключатели	Цели
Арбитраж цен ВИ		Время (20:00 ~ 6:00)	Аккумулирование энергии в СНЭЭ по низкой цене
Отслеживание эквивалентной нагрузки	Поддержание ФЭ-генерации	Эквивалентная нагрузка отрицательна	Зарядка для аккумулирования избыточной ФЭ-энергии
	Отслеживание нагрузки заряда ЭМ	Эквивалентная нагрузка положительна	Разрядка для снижения потребления от электросети

9 Рекомендации по режимам работы СНЭЭ, в составе гибридных ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ

Режим работы СНЭЭ на конкретной ЭЗС во многом зависит от энергоемкости СНЭЭ по сравнению с нагрузкой заряда ЭМ. С экономической точки зрения, основным режимом работы является арбитраж цен ВИ. Если установленная энергоемкость СНЭЭ относительно невелика, то она подходит для работы в режиме формирования профиля мощности, например сглаживания мощности генерации ФЭ и срезания пиков потребления мощности для заряда ЭМ. Достаточно большая установленная энергоемкость СНЭЭ позволяет ЭЗС работать в режиме отслеживания нагрузки и участвовать в некоторых дополнительных услугах, таких как реагирование на спрос.

С ростом распространенности ЭМ ожидается, что как бытовые ЭЗС, работающие независимо, так и профессиональные ЭЗС, которые имеют взаимодействия с другими хозяйствующими субъектами, достигнут значительного развития в будущем. Как показано в настоящем стандарте, единственный режим работы СНЭЭ не может в полной мере обеспечить максимальные преимущества ЭЗС. Типичный рабочий цикл СНЭЭ должен представлять собой комбинацию нескольких режимов работы. Оптимальное сочетание режимов работы СНЭЭ, как правило, зависит от сценариев применения, наиболее значимые из которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 — Рекомендуемые режимы работы СНЭЭ в различных сценариях установки ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ

Тип ЭЗС	Арбитраж цен по ВИ	Отслеживание эквивалентной нагрузки	Срезание пиков	Сглаживание мощности	Вспомогательная услуга
Бытовая ЭЗС с высокой долей мощности СНЭЭ по сравнению с нагрузкой заряда ЭМ и мощностью, генерируемой ФЭ	+	+	+		
Бытовая ЭЗС с низкой долей мощности СНЭЭ по сравнению с нагрузкой заряда ЭМ и мощностью, генерируемой ФЭ	+		+	+	
Профессиональные ЭЗС с высокой долей мощности СНЭЭ по сравнению с нагрузкой заряда ЭМ и мощностью, генерируемой ФЭ	+	+	+		+
Профессиональные ЭЗС с низкой долей мощности СНЭЭ по сравнению с нагрузкой заряда ЭМ и мощностью, генерируемой ФЭ	+	+			

Бытовые ЭЗС, как правило, ориентированы на обычных пользователей ЭМ. Для ЭЗС такого типа сокращение времени зарядки означает, что они могут обслуживать большее количество пользователей одновременно, получать большую прибыль и повышать комфорт пользователей. Таким образом, на бытовой ЭЗС терминалы быстрой зарядки являются основным средством зарядки. Арбитраж цен ВИ — это основной режим работы СНЭЭ на бытовой станции быстрой зарядки. Другие варианты режимов работы, например отслеживание эквивалентной нагрузки, сглаживание мощности и сокращение пиковых значений, в значительной степени зависят от установленной энергоемкости СНЭЭ.

Для профессиональных ЭЗС существует два основных подтипа. Один тип — профессиональные ЭЗС, оснащенные системами быстрой зарядки для обеспечения краткосрочных потребностей пользователей ЭМ в зарядке, например тех, которые построены рядом с торговыми центрами (пример в 7.1 настоящего стандарте). В такого рода ЭЗС СНЭЭ имеет наиболее гибкую комбинацию режимов работы. Отслеживание эквивалентной нагрузки, арбитраж цен ВИ, срезание пиков и реагирование на спрос — все это идеально подходит для этого применения. Другой тип — профессиональные ЭЗС, оснащенные только обычными/медленными зарядными устройствами, поскольку у клиентов, как правило, есть достаточно времени, чтобы дождаться заряда своих ЭМ (пример в 8.1 настоящего стандарта). Такие профессиональные ЭЗС, как правило, расположены рядом с институтскими городками, офисами, а СНЭЭ часто работают в режимах арбитража цен ВИ на услуги зарядки и отслеживания эквивалентной нагрузки.

Приведенные рекомендации являются лишь общим результатом рассмотрения режимов работы в каждом сценарии. На практике ситуация может быть иной, поскольку на нее могут повлиять местные правила или уровни нагрузки.

Приложение А
(справочное)

Примеры рабочих циклов СНЭЭ, расположенных на ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ

А.1 Общие положения

Рекомендуемые рабочие циклы СНЭЭ в проектах ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ приведены в таблицах А.1, А.2 и А.3. Положительное значение означает, что СНЭЭ находится в режиме разрядки, а отрицательное значение означает, что СНЭЭ находится в режиме зарядки. В таблице А.1 интервал выборки данных составляет 5 мин, а исходное значение мощности принимается равным 500 кВт[1)]. В таблице А.2 интервал выборки данных составляет 1 мин, а исходное значение мощности принимается равным 75 кВт. В таблице А.3 интервал выборки данных составляет 5 мин, а исходное значение мощности принимается равным 10 МВт.

А.2 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

Таблица А.1 — Мощность заряда-разряда СНЭЭ бытовой ЭЗС на базе общей шины постоянного тока (мощность нормирована на единицу)

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
0:00	–0,500 0	2:00	0,000 0	4:00	0,000 0	6:00	0,000 0	8:00	0,047 6
0:05	–0,500 0	2:05	0,000 0	4:05	0,000 0	6:05	0,000 0	8:05	0,050 4
0:10	–0,500 0	2:10	0,000 0	4:10	0,000 0	6:10	0,000 0	8:10	0,064 2
0:15	–0,500 0	2:15	0,000 0	4:15	0,000 0	6:15	0,000 0	8:15	0,082 9
0:20	–0,500 0	2:20	0,000 0	4:20	0,000 0	6:20	0,000 0	8:20	0,072 5
0:25	–0,500 0	2:25	0,000 0	4:25	0,000 0	6:25	0,000 0	8:25	0,071 6
0:30	–0,500 0	2:30	0,055 7	4:30	0,000 0	6:30	0,000 0	8:30	0,075 0
0:35	–0,500 0	2:35	0,047 6	4:35	0,000 0	6:35	0,000 0	8:35	0,076 5
0:40	–0,500 0	2:40	0,044 5	4:40	0,000 0	6:40	0,000 0	8:40	0,075 7
0:45	–0,026 3	2:45	0,040 2	4:45	0,000 0	6:45	0,000 0	8:45	0,050 7
0:50	0,000 0	2:50	–0,115 2	4:50	0,000 0	6:50	0,000 0	8:50	0,057 8
0:55	0,000 0	2:55	–0,099 5	4:55	0,000 0	6:55	0,000 0	8:55	0,053 2
1:00	0,000 0	3:00	0,000 0	5:00	0,000 0	7:00	0,000 0	9:00	0,034 4
1:05	0,000 0	3:05	0,000 0	5:05	0,000 0	7:05	0,000 0	9:05	0,058 2
1:10	0,000 0	3:10	0,000 0	5:10	0,000 0	7:10	0,000 0	9:10	0,060 6
1:15	0,000 0	3:15	0,000 0	5:15	0,000 0	7:15	0,000 0	9:15	0,239 4
1:20	0,000 0	3:20	0,000 0	5:20	0,000 0	7:20	0,000 0	9:20	0,500 0
1:25	0,000 0	3:25	0,000 0	5:25	0,000 0	7:25	0,000 0	9:25	0,500 0
1:30	0,000 0	3:30	0,000 0	5:30	0,000 0	7:30	0,000 0	9:30	0,500 0
1:35	0,000 0	3:35	0,000 0	5:35	0,000 0	7:35	0,000 0	9:35	0,500 0
1:40	0,000 0	3:40	0,000 0	5:40	0,000 0	7:40	0,000 0	9:40	0,500 0
1:45	0,000 0	3:45	0,000 0	5:45	0,000 0	7:45	0,000 0	9:45	0,500 0
1:50	0,000 0	3:50	0,000 0	5:50	0,000 0	7:50	0,000 0	9:50	0,500 0
1:55	0,000 0	3:55	0,000 0	5:55	0,000 0	7:55	0,000 0	9:55	0,429 6

[1)] *Исходное значение мощности приведено для оценки значимости проекта. В таблицах для удобства значения мощностей нормированы на эту величину.*

Окончание таблицы А.1

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
10:00	0,394 6	12:50	–0,098 6	15:40	–0,242 8	18:30	0,269 2	21:20	0,000 0
10:05	0,500 0	12:55	–0,097 6	15:45	–0,313 7	18:35	0,270 6	21:25	0,000 0
10:10	0,500 0	13:00	–0,131 7	15:50	–0,271 8	18:40	0,279 7	21:30	0,000 0
10:15	0,500 0	13:05	–0,124 4	15:55	–0,287 0	18:45	0,187 5	21:35	0,000 0
10:20	0,229 6	13:10	–0,068 2	16:00	–0,122 6	18:50	0,108 5	21:40	0,000 0
10:25	0,000 0	13:15	–0,079 9	16:05	–0,083 3	18:55	0,108 4	21:45	0,000 0
10:30	0,000 0	13:20	–0,044 3	16:10	–0,021 3	19:00	0,266 2	21:50	0,000 0
10:35	0,000 0	13:25	–0,042 9	16:15	0,061 6	19:05	0,273 6	21:55	0,057 0
10:40	0,000 0	13:30	–0,116 3	16:20	0,033 3	19:10	0,279 8	22:00	–0,129 4
10:45	0,000 0	13:35	–0,115 1	16:25	0,042 7	19:15	0,282 2	22:05	–0,095 3
10:50	0,000 0	13:40	–0,113 0	16:30	0,055 1	19:20	0,294 9	22:10	–0,035 9
10:55	0,000 0	13:45	–0,163 6	16:35	0,060 2	19:25	0,235 9	22:15	0,043 5
11:00	–0,132 8	13:50	0,028 2	16:40	0,055 8	19:30	0,192 5	22:20	0,014 1
11:05	–0,124 8	13:55	–0,049 7	16:45	–0,094 9	19:35	0,190 3	22:25	0,021 8
11:10	–0,120 0	14:00	–0,274 1	16:50	–0,042 0	19:40	0,188 1	22:30	0,034 1
11:15	–0,100 9	14:05	0,051 2	16:55	–0,039 0	19:45	0,187 5	22:35	0,040 0
11:20	–0,204 3	14:10	0,142 7	17:00	–0,095 4	19:50	0,184 8	22:40	0,042 9
11:25	–0,197 1	14:15	0,129 8	17:05	–0,017 9	19:55	0,224 7	22:45	–0,099 2
11:30	–0,213 3	14:20	0,152 4	17:10	–0,153 3	20:00	0,199 6	22:50	–0,060 4
11:35	–0,217 1	14:25	0,122 2	17:15	–0,065 7	20:05	0,167 9	22:55	–0,059 3
11:40	–0,314 8	14:30	0,141 4	17:20	–0,097 4	20:10	0,154 3	23:00	–0,158 4
11:45	–0,312 0	14:35	0,160 7	17:25	–0,088 9	20:15	0,152 8	23:05	–0,154 9
11:50	–0,317 9	14:40	0,150 5	17:30	–0,075 6	20:20	0,062 8	23:10	–0,244 9
11:55	–0,286 7	14:45	0,192 3	17:35	–0,069 1	20:25	0,064 6	23:15	–0,244 9
12:00	–0,163 3	14:50	–0,240 1	17:40	–0,066 5	20:30	0,061 0	23:20	–0,229 5
12:05	–0,121 0	14:55	–0,240 6	17:45	–0,123 2	20:35	0,060 3	23:25	–0,230 6
12:10	–0,061 7	15:00	–0,247 4	17:50	–0,121 5	20:40	0,104 4	23:30	–0,305 8
12:15	0,012 6	15:05	–0,256 6	17:55	–0,119 5	20:45	0,090 7	23:35	–0,385 7
12:20	–0,035 3	15:10	–0,264 2	18:00	0,225 0	20:50	0,099 8	23:40	–0,419 2
12:25	–0,040 4	15:15	–0,266 7	18:05	0,262 9	20:55	0,090 7	23:45	–0,298 2
12:30	–0,020 1	15:20	–0,246 3	18:10	0,257 1	21:00	0,000 0	23:50	–0,177 2
12:35	–0,003 6	15:25	–0,172 9	18:15	0,265 8	21:05	0,004 2	23:55	–0,118 7
12:40	–0,003 0	15:30	–0,203 9	18:20	0,256 6	21:10	0,000 0		
12:45	–0,143 6	15:35	–0,264 0	18:25	0,263 1	21:15	0,000 0		

А.3 Проект бытовой ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины переменного тока

Таблица А.2 — Мощность заряда-разряда СНЭЭ бытовой ЭЗС на базе общей шины переменного тока (мощность нормирована на единицу)

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
0:00	–0,200 0	0:33	–0,235 9	1:06	–0,216 7	1:39	–0,199 8	2:12	–0,206 6
0:01	–0,201 3	0:34	–0,217 6	1:07	–0,224 7	1:40	–0,199 7	2:13	–0,206 6
0:02	–0,198 4	0:35	–0,204 5	1:08	–0,223 4	1:41	–0,199 8	2:14	–0,198 5
0:03	–0,201 7	0:36	–0,187 3	1:09	–0,215 4	1:42	–0,198 4	2:15	–0,198 5
0:04	–0,124 6	0:37	–0,174 1	1:10	–0,214 0	1:43	–0,198 4	2:16	–0,198 5
0:05	–0,002 9	0:38	–0,172 8	1:11	–0,220 7	1:44	–0,198 3	2:17	–0,197 4
0:06	0,079 0	0:39	–0,171 5	1:12	–0,218 0	1:45	–0,198 4	2:18	–0,197 4
0:07	0,134 6	0:40	–0,170 4	1:13	–0,216 7	1:46	–0,198 4	2:19	–0,197 4
0:08	–0,525 3	0:41	–0,169 2	1:14	–0,210 1	1:47	–0,206 4	2:20	–0,197 3
0:09	–0,488 4	0:42	–0,167 8	1:15	–0,208 8	1:48	–0,199 7	2:21	–0,196 6
0:10	–0,462 7	0:43	–0,166 5	1:16	–0,207 5	1:49	–0,206 4	2:22	–0,196 4
0:11	–0,435 4	0:44	–0,165 6	1:17	–0,202 3	1:50	–0,206 4	2:23	–0,196 2
0:12	–0,413 0	0:45	–0,164 9	1:18	–0,200 9	1:51	–0,177 1	2:24	–0,195 9
0:13	–0,404 0	0:46	–0,164 1	1:19	–0,199 7	1:52	–0,206 4	2:25	–0,195 6
0:14	–0,418 0	0:47	–0,169 9	1:20	–0,198 3	1:53	–0,201 1	2:26	–0,195 3
0:15	–0,402 0	0:48	–0,169 2	1:21	–0,197 0	1:54	–0,201 1	2:27	–0,189 7
0:16	–0,391 4	0:49	–0,168 5	1:22	–0,197 5	1:55	–0,201 1	2:28	–0,189 4
0:17	–0,382 0	0:50	–0,162 4	1:23	–0,197 4	1:56	–0,201 2	2:29	–0,202 4
0:18	–0,373 9	0:51	–0,169 1	1:24	–0,197 4	1:57	–0,201 3	2:30	–0,202 1
0:19	–0,365 3	0:52	–0,242 5	1:25	–0,197 4	1:58	–0,197 4	2:31	–0,201 9
0:20	–0,358 8	0:53	–0,241 3	1:26	–0,205 3	1:59	–0,197 6	2:32	–0,201 7
0:21	–0,322 3	0:54	–0,234 7	1:27	–0,205 2	2:00	–0,197 6	2:33	–0,201 4
0:22	–0,316 9	0:55	–0,233 4	1:28	–0,198 5	2:01	–0,197 6	2:34	–0,201 2
0:23	–0,312 0	0:56	–0,228 1	1:29	–0,198 4	2:02	–0,197 6	2:35	–0,195 6
0:24	–0,307 2	0:57	–0,226 8	1:30	–0,206 4	2:03	–0,197 5	2:36	–0,195 4
0:25	–0,302 9	0:58	–0,225 6	1:31	–0,206 4	2:04	–0,197 4	2:37	–0,195 2
0:26	–0,297 3	0:59	–0,224 4	1:32	–0,206 4	2:05	–0,197 3	2:38	–0,194 9
0:27	–0,297 5	1:00	–0,223 1	1:33	–0,198 3	2:06	–0,197 3	2:39	–0,194 8
0:28	–0,291 7	1:01	–0,221 7	1:34	–0,198 3	2:07	–0,206 6	2:40	–0,194 6
0:29	–0,286 3	1:02	–0,220 4	1:35	–0,198 3	2:08	–0,198 6	2:41	–0,194 5
0:30	–0,268 1	1:03	–0,219 1	1:36	–0,198 3	2:09	–0,206 6	2:42	–0,194 3
0:31	–0,255 2	1:04	–0,217 9	1:37	–0,199 8	2:10	–0,206 6	2:43	–0,194 1
0:32	–0,248 9	1:05	–0,218 0	1:38	–0,199 8	2:11	–0,206 6	2:44	–0,193 9

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
2:45	–0,193 6	3:20	–0,2000	3:55	–0,201 0	4:30	–0,195 3	5:05	–0,197 7
2:46	–0,186 6	3:21	–0,200 0	3:56	–0,201 0	4:31	–0,195 4	5:06	–0,197 8
2:47	–0,190 3	3:22	–0,200 1	3:57	–0,200 9	4:32	–0,200 6	5:07	–0,203 2
2:48	–0,203 4	3:23	–0,200 2	3:58	–0,200 9	4:33	–0,200 6	5:08	–0,203 4
2:49	–0,203 3	3:24	–0,195 0	3:59	–0,201 0	4:34	–0,200 7	5:09	–0,203 4
2:50	–0,209 7	3:25	–0,201 7	4:00	–0,201 6	4:35	–0,200 8	5:10	–0,203 5
2:51	–0,209 4	3:26	–0,201 8	4:01	–0,201 7	4:36	–0,200 9	5:11	–0,203 5
2:52	–0,209 2	3:27	–0,201 8	4:02	–0,195 2	4:37	–0,201 1	5:12	–0,203 6
2:53	–0,208 9	3:28	–0,201 8	4:03	–0,203 2	4:38	–0,201 1	5:13	–0,203 7
2:54	–0,208 6	3:29	–0,201 8	4:04	–0,203 1	4:39	–0,201 1	5:14	–0,203 9
2:55	–0,208 4	3:30	–0,201 7	4:05	–0,203 1	4:40	–0,201 0	5:15	–0,204 0
2:56	–0,208 0	3:31	–0,201 6	4:06	–0,203 0	4:41	–0,195 5	5:16	–0,204 4
2:57	–0,207 6	3:32	–0,201 5	4:07	–0,202 9	4:42	–0,202 1	5:17	–0,204 7
2:58	–0,207 2	3:33	–0,201 5	4:08	–0,202 9	4:43	–0,202 1	5:18	–0,198 4
2:59	–0,207 1	3:34	–0,196 1	4:09	–0,203 0	4:44	–0,202 1	5:19	–0,198 7
3:00	–0,198 9	3:35	–0,196 0	4:10	–0,195 0	4:45	–0,202 1	5:20	–0,205 8
3:01	–0,198 7	3:36	–0,196 0	4:11	–0,195 0	4:46	–0,196 8	5:21	–0,202 2
3:02	–0,198 5	3:37	–0,196 0	4:12	–0,195 1	4:47	–0,196 8	5:22	–0,197 3
3:03	–0,198 3	3:38	–0,201 3	4:13	–0,201 7	4:48	–0,196 8	5:23	–0,193 8
3:04	–0,204 8	3:39	–0,201 2	4:14	–0,201 7	4:49	–0,196 9	5:24	–0,194 2
3:05	–0,198 0	3:40	–0,201 2	4:15	–0,201 7	4:50	–0,202 3	5:25	–0,194 3
3:06	–0,204 5	3:41	–0,201 3	4:16	–0,201 8	4:51	–0,202 2	5:26	–0,202 4
3:07	–0,204 3	3:42	–0,201 4	4:17	–0,201 9	4:52	–0,202 3	5:27	–0,202 6
3:08	–0,204 1	3:43	–0,196 2	4:18	–0,202 0	4:53	–0,202 5	5:28	–0,203 1
3:09	–0,203 8	3:44	–0,202 9	4:19	–0,202 1	4:54	–0,202 7	5:29	–0,203 4
3:10	–0,203 5	3:45	–0,202 9	4:20	–0,202 2	4:55	–0,203 0	5:30	–0,203 8
3:11	–0,203 3	3:46	–0,202 8	4:21	–0,195 5	4:56	–0,203 2	5:31	–0,200 9
3:12	–0,203 0	3:47	–0,202 8	4:22	–0,203 4	4:57	–0,203 3	5:32	–0,198 0
3:13	–0,202 7	3:48	–0,202 6	4:23	–0,203 3	4:58	–0,203 4	5:33	–0,195 0
3:14	–0,202 6	3:49	–0,202 5	4:24	–0,203 2	4:59	–0,197 5	5:34	–0,191 9
3:15	–0,202 3	3:50	–0,202 5	4:25	–0,203 2	5:00	–0,197 5	5:35	–0,188 9
3:16	–0,197 9	3:51	–0,195 8	4:26	–0,203 2	5:01	–0,202 8	5:36	–0,185 8
3:17	–0,197 5	3:52	–0,195 9	4:27	–0,203 2	5:02	–0,202 9	5:37	–0,177 5
3:18	–0,193 4	3:53	–0,195 8	4:28	–0,197 9	5:03	–0,197 6	5:38	–0,179 9
3:19	–0,193 3	3:54	–0,195 7	4:29	–0,165 9	5:04	–0,197 7	5:39	–0,176 6

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
5:40	–0,173 3	6:15	–0,060 3	6:50	0,012 8	7:25	–0,025 9	8:00	–0,178 0
5:41	–0,170 0	6:16	–0,056 8	6:51	0,007 0	7:26	–0,028 0	8:01	–0,196 0
5:42	–0,162 7	6:17	–0,053 2	6:52	0,008 0	7:27	–0,027 3	8:02	–0,207 4
5:43	–0,159 4	6:18	–0,041 7	6:53	0,009 0	7:28	–0,023 9	8:03	–0,215 0
5:44	–0,156 1	6:19	–0,038 1	6:54	0,011 4	7:29	–0,024 5	8:04	–0,230 0
5:45	–0,138 3	6:20	–0,034 6	6:55	–0,006 4	7:30	–0,023 9	8:05	–0,241 1
5:46	–0,133 6	6:21	–0,031 0	6:56	–0,005 3	7:31	–0,032 6	8:06	–0,252 6
5:47	–0,130 3	6:22	–0,015 5	6:57	0,009 0	7:32	–0,027 9	8:07	–0,259 5
5:48	–0,126 9	6:23	–0,013 1	6:58	0,010 0	7:33	–0,038 0	8:08	–0,270 6
5:49	–0,123 6	6:24	–0,009 8	6:59	0,010 9	7:34	–0,037 4	8:09	–0,278 0
5:50	–0,120 5	6:25	–0,006 6	7:00	0,007 9	7:35	–0,040 8	8:10	–0,289 5
5:51	–0,117 2	6:26	–0,002 9	7:01	0,008 6	7:36	–0,044 2	8:11	–0,296 2
5:52	–0,113 9	6:27	0,001 0	7:02	0,009 9	7:37	–0,039 6	8:12	–0,306 9
5:53	–0,110 7	6:28	0,004 7	7:03	0,006 6	7:38	–0,048 5	8:13	–0,317 6
5:54	–0,126 2	6:29	0,007 1	7:04	0,009 3	7:39	–0,047 8	8:14	–0,316 3
5:55	–0,123 0	6:30	0,007 4	7:05	0,006 2	7:40	–0,051 6	8:15	–0,301 7
5:56	–0,113 2	6:31	0,007 8	7:06	0,013 5	7:41	–0,054 0	8:16	–0,313 7
5:57	–0,098 2	6:32	0,013 6	7:07	0,010 2	7:42	–0,057 8	8:17	0,225 1
5:58	–0,095 1	6:33	0,014 0	7:08	0,011 0	7:43	–0,059 0	8:18	0,207 9
5:59	–0,092 0	6:34	0,007 8	7:09	0,007 6	7:44	–0,058 8	8:19	0,193 4
6:00	–0,084 9	6:35	0,008 2	7:10	–0,010 1	7:45	–0,054 8	8:20	0,177 6
6:01	–0,081 8	6:36	–0,011 4	7:11	–0,006 6	7:46	–0,058 7	8:21	0,139 2
6:02	–0,078 7	6:37	–0,005 7	7:12	–0,007 1	7:47	–0,058 9	8:22	0,122 1
6:03	–0,079 7	6:38	–0,005 5	7:13	–0,006 2	7:48	–0,074 5	8:23	0,130 3
6:04	–0,076 7	6:39	–0,005 5	7:14	–0,009 4	7:49	–0,086 3	8:24	0,110 2
6:05	–0,073 6	6:40	0,008 0	7:15	–0,013 8	7:50	–0,098 2	8:25	0,093 1
6:06	–0,070 5	6:41	0,004 5	7:16	–0,017 0	7:51	–0,106 0	8:26	0,053 6
6:07	–0,066 9	6:42	0,004 9	7:17	–0,016 1	7:52	–0,117 5	8:27	0,059 0
6:08	–0,083 6	6:43	0,005 3	7:18	–0,017 9	7:53	–0,124 9	8:28	0,012 6
6:09	–0,080 2	6:44	0,005 9	7:19	–0,013 1	7:54	–0,135 4	8:29	0,012 9
6:10	–0,076 8	6:45	0,006 4	7:20	–0,016 3	7:55	–0,144 5	8:30	–0,006 6
6:11	–0,073 7	6:46	0,007 1	7:21	–0,015 4	7:56	–0,148 3	8:31	–0,022 3
6:12	–0,070 4	6:47	0,007 7	7:22	–0,025 4	7:57	–0,163 6	8:32	–0,046 9
6:13	–0,067 1	6:48	0,008 6	7:23	–0,024 5	7:58	–0,175 3	8:33	–0,0562
6:14	–0,057 2	6:49	0,006 7	7:24	–0,025 0	7:59	–0,182 5	8:34	–0,081 6

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
8:35	–0,096 9	9:10	0,191 7	9:45	0,052 2	10:20	0,215 5	10:55	0,306 5
8:36	–0,108 2	9:11	0,190 4	9:46	0,041 2	10:21	0,044 6	10:56	0,306 2
8:37	–0,128 9	9:12	0,145 0	9:47	0,070 8	10:22	0,028 3	10:57	0,302 8
8:38	–0,150 0	9:13	0,130 5	9:48	0,081 6	10:23	0,008 1	10:58	0,297 8
8:39	–0,172 4	9:14	0,120 4	9:49	0,041 9	10:24	–0,006 6	10:59	0,293 8
8:40	–0,204 1	9:15	0,115 3	9:50	0,032 1	10:25	–0,026 8	11:00	0,269 9
8:41	–0,245 1	9:16	0,118 1	9:51	0,043 5	10:26	–0,069 9	11:01	0,295 1
8:42	–0,266 4	9:17	0,106 4	9:52	–0,512 8	10:27	–0,056 5	11:02	0,292 3
8:43	–0,289 8	9:18	0,100 8	9:53	–0,506 5	10:28	0,001 6	11:03	0,270 5
8:44	–0,301 2	9:19	0,095 1	9:54	–0,496 1	10:29	–0,018 4	11:04	–0,056 7
8:45	0,216 7	9:20	0,088 6	9:55	–0,505 6	10:30	–0,244 4	11:05	–0,068 7
8:46	0,194 5	9:21	0,074 2	9:56	–0,513 9	10:31	–0,339 7	11:06	–0,066 8
8:47	0,177 2	9:22	0,079 6	9:57	–0,525 9	10:32	–0,339 5	11:07	–0,067 2
8:48	0,164 4	9:23	0,078 7	9:58	0,223 1	10:33	–0,521 1	11:08	0,048 7
8:49	0,151 4	9:24	0,081 6	9:59	0,223 1	10:34	–0,285 1	11:09	0,222 1
8:50	0,133 1	9:25	0,081 4	10:00	0,400 9	10:35	0,285 5	11:10	0,200 5
8:51	0,119 7	9:26	0,073 4	10:01	0,214 3	10:36	0,287 0	11:11	0,213 4
8:52	0,107 0	9:27	0,062 8	10:02	0,208 2	10:37	0,265 8	11:12	0,208 4
8:53	0,112 2	9:28	0,068 4	10:03	0,207 4	10:38	0,062 0	11:13	0,175 5
8:54	0,084 8	9:29	0,066 7	10:04	0,239 0	10:39	0,128 7	11:14	0,232 9
8:55	0,064 9	9:30	0,058 3	10:05	0,217 4	10:40	0,026 0	11:15	0,255 7
8:56	0,051 6	9:31	0,047 1	10:06	0,212 9	10:41	0,010 0	11:16	0,027 7
8:57	0,038 8	9:32	0,045 2	10:07	0,195 8	10:42	–0,010 0	11:17	0,265 3
8:58	0,024 5	9:33	0,037 9	10:08	0,171 3	10:43	–0,015 3	11:18	0,308 4
8:59	0,003 7	9:34	0,030 7	10:09	0,168 1	10:44	–0,022 1	11:19	0,313 2
9:00	–0,013 2	9:35	0,036 7	10:10	0,187 2	10:45	0,136 5	11:20	0,293 2
9:01	–0,027 5	9:36	0,045 5	10:11	0,218 7	10:46	0,074 5	11:21	0,043 3
9:02	–0,044 5	9:37	–0,548 0	10:12	0,426 2	10:47	0,277 7	11:22	0,078 1
9:03	–0,062 8	9:38	0,054 5	10:13	0,205 9	10:48	0,256 9	11:23	0,277 5
9:04	–0,074 6	9:39	0,051 5	10:14	0,049 6	10:49	0,279 6	11:24	0,363 3
9:05	–0,086 4	9:40	0,0780	10:15	0,194 9	10:50	0,288 1	11:25	0,293 1
9:06	0,217 6	9:41	0,078 0	10:16	0,013 2	10:51	0,290 2	11:26	0,426 8
9:07	0,224 1	9:42	0,060 0	10:17	0,024 0	10:52	0,294 8	11:27	0,433 6
9:08	0,220 7	9:43	0,048 9	10:18	0,085 7	10:53	0,299 0	11:28	0,443 0
9:09	0,203 0	9:44	0,048 5	10:19	0,226 7	10:54	0,297 1	11:29	0,461 6

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
11:30	0,465 3	12:05	–0,372 6	12:40	0,177 5	13:15	–0,246 6	13:50	0,014 8
11:31	0,452 0	12:06	–0,337 6	12:41	0,100 7	13:16	–0,215 3	13:51	0,112 2
11:32	0,381 0	12:07	–0,074 8	12:42	0,135 4	13:17	–0,206 3	13:52	–0,041 3
11:33	0,225 8	12:08	–0,068 4	12:43	0,193 7	13:18	–0,198 5	13:53	0,099 1
11:34	0,404 3	12:09	–0,072 0	12:44	0,137 5	13:19	–0,189 0	13:54	–0,200 9
11:35	0,215 6	12:10	–0,0932	12:45	–0,013 0	13:20	–0,190 0	13:55	0,345 6
11:36	0,212 3	12:11	–0,115 5	12:46	0,074 7	13:21	–0,188 2	13:56	0,341 1
11:37	0,492 4	12:12	0,084 7	12:47	0,094 0	13:22	–0,363 1	13:57	0,332 5
11:38	0,504 3	12:13	0,282 2	12:48	0,049 7	13:23	–0,413 0	13:58	0,331 1
11:39	0,268 6	12:14	0,284 2	12:49	0,256 8	13:24	–0,421 7	13:59	0,208 5
11:40	0,270 5	12:15	0,124 7	12:50	0,293 2	13:25	–0,409 4	14:00	0,156 1
11:41	–0,488 5	12:16	0,307 9	12:51	0,282 0	13:26	–0,410 7	14:01	0,181 7
11:42	–0,490 2	12:17	0,300 7	12:52	0,288 6	13:27	–0,415 9	14:02	0,156 7
11:43	–0,468 2	12:18	0,252 2	12:53	0,297 3	13:28	–0,416 6	14:03	0,132 0
11:44	–0,464 2	12:19	–0,024 7	12:54	0,304 5	13:29	–0,418 9	14:04	0,137 1
11:45	–0,456 6	12:20	–0,032 8	12:55	0,307 9	13:30	–0,423 6	14:05	0,148 6
11:46	–0,456 9	12:21	–0,019 3	12:56	0,320 4	13:31	–0,424 3	14:06	0,158 3
11:47	–0,447 4	12:22	0,150 0	12:57	0,336 9	13:32	0,249 5	14:07	0,163 8
11:48	–0,435 2	12:23	0,254 3	12:58	0,074 6	13:33	0,241 9	14:08	0,172 7
11:49	–0,429 0	12:24	0,252 1	12:59	0,070 5	13:34	0,229 7	14:09	0,183 6
11:50	–0,417 0	12:25	0,244 8	13:00	0,055 3	13:35	0,214 2	14:10	0,195 8
11:51	–0,125 8	12:26	0,237 9	13:01	0,027 9	13:36	0,200 9	14:11	0,100 1
11:52	–0,077 2	12:27	0,225 9	13:02	–0,022 1	13:37	0,199 0	14:12	0,109 8
11:53	–0,057 9	12:28	0,192 6	13:03	–0,133 1	13:38	0,190 0	14:13	0,036 2
11:54	–0,052 4	12:29	0,158 9	13:04	–0,190 8	13:39	0,175 9	14:14	0,061 3
11:55	–0,051 1	12:30	0,137 3	13:05	–0,397 8	13:40	0,164 0	14:15	–0,008 2
11:56	–0,347 0	12:31	0,127 2	13:06	–0,324 9	13:41	0,171 4	14:16	0,177 0
11:57	–0,105 7	12:32	0,043 4	13:07	–0,300 7	13:42	0,171 2	14:17	0,113 9
11:58	–0,924 3	12:33	0,119 0	13:08	–0,387 0	13:43	0,163 7	14:18	0,118 8
11:59	–0,397 4	12:34	0,104 9	13:09	–0,456 4	13:44	0,165 3	14:19	0,138 6
12:00	–0,180 6	12:35	0,111 7	13:10	–0,396 1	13:45	0,158 5	14:20	0,039 9
12:01	–0,155 5	12:36	0,100 1	13:11	–0,231 1	13:46	0,161 3	14:21	0,046 6
12:02	–0,376 2	12:37	0,135 7	13:12	–0,226 2	13:47	0,165 8	14:22	0,050 4
12:03	–0,391 8	12:38	0,149 7	13:13	–0,218 6	13:48	0,175 9	14:23	0,053 7
12:04	–0,370 1	12:39	0,165 1	13:14	–0,233 3	13:49	0,181 4	14:24	–0,153 6

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
14:25	–0,204 8	15:00	0,011 1	15:35	–0,226 9	16:10	–0,255 8	16:45	–0,028 3
14:26	–0,206 8	15:01	0,015 4	15:36	–0,210 2	16:11	–0,263 4	16:46	–0,019 2
14:27	–0,350 9	15:02	0,017 7	15:37	–0,204 7	16:12	–0,275 1	16:47	–0,036 7
14:28	–0,323 0	15:03	0,022 8	15:38	–0,181 8	16:13	–0,280 6	16:48	–0,034 4
14:29	–0,197 3	15:04	0,028 7	15:39	–0,172 1	16:14	–0,293 4	16:49	–0,088 1
14:30	–0,202 7	15:05	0,061 2	15:40	–0,162 6	16:15	–0,310 2	16:50	–0,128 6
14:31	–0,200 6	15:06	0,076 9	15:41	–0,153 3	16:16	0,315 1	16:51	–0,159 7
14:32	–0,226 5	15:07	0,074 1	15:42	–0,144 1	16:17	0,301 4	16:52	–0,132 1
14:33	–0,261 2	15:08	0,082 9	15:43	–0,160 3	16:18	0,271 8	16:53	–0,139 1
14:34	–0,286 7	15:09	0,105 1	15:44	–0,156 5	16:19	0,261 8	16:54	–0,129 8
14:35	–0,274 8	15:10	0,104 8	15:45	–0,151 3	16:20	0,239 3	16:55	–0,127 1
14:36	–0,242 1	15:11	0,110 7	15:46	–0,147 3	16:21	0,234 6	16:56	–0,132 4
14:37	–0,209 4	15:12	0,114 3	15:47	–0,152 7	16:22	0,220 8	16:57	–0,141 4
14:38	–0,068 3	15:13	0,123 3	15:48	–0,150 4	16:23	0,211 8	16:58	–0,160 9
14:39	–0,065 2	15:14	0,136 6	15:49	–0,167 7	16:24	0,217 4	16:59	–0,170 9
14:40	–0,049 8	15:15	0,146 0	15:50	–0,165 5	16:25	0,208 0	17:00	–0,180 9
14:41	–0,040 2	15:16	0,165 0	15:51	–0,166 9	16:26	0,194 5	17:01	–0,181 5
14:42	–0,030 4	15:17	0,174 3	15:52	–0,168 4	16:27	0,193 0	17:02	–0,191 8
14:43	–0,027 1	15:18	0,175 1	15:53	–0,164 6	16:28	0,198 2	17:03	–0,209 9
14:44	–0,022 3	15:19	0,188 7	15:54	–0,166 6	16:29	0,188 8	17:04	–0,220 1
14:45	–0,014 8	15:20	0,179 8	15:55	–0,164 7	16:30	0,180 8	17:05	–0,220 9
14:46	–0,008 3	15:21	0,190 0	15:56	–0,162 8	16:31	0,166 2	17:06	–0,231 4
14:47	–0,003 1	15:22	0,203 9	15:57	–0,160 8	16:32	0,135 5	17:07	–0,237 9
14:48	0,006 0	15:23	0,209 7	15:58	–0,158 9	16:33	0,125 9	17:08	0,424 0
14:49	0,008 8	15:24	0,211 5	15:59	–0,166 1	16:34	0,112 5	17:09	0,417 8
14:50	0,016 3	15:25	0,221 3	16:00	–0,173 5	16:35	0,103 1	17:10	0,411 7
14:51	0,033 7	15:26	0,240 4	16:01	–0,176 8	16:36	0,068 6	17:11	0,413 6
14:52	0,021 5	15:27	0,254 3	16:02	–0,190 3	16:37	0,058 1	17:12	0,403 5
14:53	0,025 5	15:28	0,268 1	16:03	–0,210 2	16:38	0,064 9	17:13	0,400 7
14:54	0,025 9	15:29	–0,006 4	16:04	–0,218 0	16:39	0,035 1	17:14	0,391 1
14:55	0,025 2	15:30	0,002 9	16:05	–0,229 9	16:40	0,018 6	17:15	0,382 0
14:56	0,024 4	15:31	0,016 4	16:06	–0,221 7	16:41	0,000 9	17:16	0,369 2
14:57	0,032 8	15:32	–0,259 6	16:07	–0,233 2	16:42	–0,020 8	17:17	0,364 3
14:58	0,029 4	15:33	–0,250 3	16:08	–0,240 6	16:43	–0,006 4	17:18	0,363 7
14:59	0,012 0	15:34	–0,236 8	16:09	–0,244 3	16:44	0,041 3	17:19	0,354 3

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
17:20	0,341 7	17:55	0,585 4	18:30	–0,489 3	19:05	0,663 8	19:40	0,283 6
17:21	0,331 5	17:56	0,562 7	18:31	–0,497 3	19:06	0,644 7	19:41	–0,275 0
17:22	0,322 0	17:57	0,522 7	18:32	–0,513 6	19:07	0,620 5	19:42	–0,275 0
17:23	0,312 5	17:58	0,399 0	18:33	–0,519 6	19:08	0,604 4	19:43	0,452 9
17:24	0,307 3	17:59	0,423 2	18:34	–0,529 6	19:09	–0,134 4	19:44	0,454 3
17:25	0,298 4	18:00	0,342 3	18:35	–0,545 0	19:10	–0,148 7	19:45	0,462 3
17:26	0,293 6	18:01	–0,021 4	18:36	–0,552 5	19:11	0,389 0	19:46	0,464 9
17:27	0,284 7	18:02	–0,018 5	18:37	–0,554 5	19:12	0,393 0	19:47	0,462 3
17:28	0,277 1	18:03	–0,100 7	18:38	–0,561 8	19:13	0,379 8	19:48	0,463 6
17:29	0,272 1	18:04	–0,075 0	18:39	–0,574 7	19:14	0,380 0	19:49	0,463 6
17:30	0,263 2	18:05	–0,142 6	18:40	–0,238 4	19:15	0,216 1	19:50	0,463 6
17:31	0,259 8	18:06	–0,122 2	18:41	–0,247 3	19:16	0,212 3	19:51	0,463 6
17:32	0,263 0	18:07	–0,096 5	18:42	–0,261 5	19:17	0,207 1	19:52	0,468 2
17:33	0,262 4	18:08	–0,076 3	18:43	–0,266 5	19:18	0,208 6	19:53	0,466 9
17:34	0,271 5	18:09	–0,145 5	18:44	0,325 7	19:19	0,207 3	19:54	0,449 5
17:35	0,276 6	18:10	–0,125 4	18:45	0,309 9	19:20	0,211 3	19:55	0,449 5
17:36	0,267 3	18:11	–0,101 8	18:46	0,295 5	19:21	0,205 9	19:56	0,500 2
17:37	0,270 0	18:12	–0,176 8	18:47	0,280 9	19:22	0,205 9	19:57	0,496 2
17:38	0,285 3	18:13	–0,170 5	18:48	0,264 9	19:23	0,207 3	19:58	0,514 9
17:39	0,300 7	18:14	–0,163 1	18:49	0,967 4	19:24	0,207 3	19:59	0,516 2
17:40	0,314 8	18:15	–0,159 2	18:50	0,939 3	19:25	0,195 3	20:00	0,505 5
17:41	0,327 7	18:16	–0,151 4	18:51	0,923 4	19:26	0,195 3	20:01	0,501 5
17:42	0,343 1	18:17	–0,239 5	18:52	0,915 6	19:27	0,208 6	20:02	0,458 1
17:43	0,372 0	18:18	–0,235 7	18:53	0,942 3	19:28	0,211 3	20:03	0,455 8
17:44	0,389 0	18:19	–0,245 2	18:54	0,926 4	19:29	0,207 3	20:04	0,450 5
17:45	0,407 4	18:20	–0,245 2	18:55	0,915 8	19:30	0,209 9	20:05	0,454 5
17:46	0,421 9	18:21	–0,223 8	18:56	0,899 8	19:31	0,209 9	20:06	0,454 4
17:47	0,444 3	18:22	–0,223 8	18:57	0,867 5	19:32	–0,102 1	20:07	0,454 4
17:48	0,460 2	18:23	–0,467 8	18:58	0,803 3	19:33	–0,264 7	20:08	0,457 1
17:49	0,480 2	18:24	–0,467 8	18:59	0,782 9	19:34	0,283 3	20:09	0,457 1
17:50	0,504 4	18:25	–0,467 8	19:00	0,761 2	19:35	0,288 6	20:10	0,455 8
17:51	0,520 6	18:26	–0,470 5	19:01	0,740 9	19:36	0,289 9	20:11	0,458 8
17:52	0,540 4	18:27	–0,485 2	19:02	0,723 2	19:37	0,285 9	20:12	0,447 2
17:53	0,558 9	18:28	–0,485 2	19:03	0,703 6	19:38	0,285 9	20:13	0,447 2
17:54	0,573 5	18:29	–0,493 2	19:04	0,682 8	19:39	0,282 1	20:14	0,445 9

Продолжение таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
20:15	0,452 5	20:50	0,320 5	21:25	0,398 6	22:00	0,004 3	22:35	0,340 0
20:16	0,448 5	20:51	0,323 9	21:26	0,393 8	22:01	0,004 3	22:36	–0,322 1
20:17	0,452 5	20:52	0,329 2	21:27	0,388 9	22:02	0,004 3	22:37	–0,301 5
20:18	0,463 2	20:53	–0,246 8	21:28	0,384 1	22:03	0,004 3	22:38	–0,559 5
20:19	0,467 2	20:54	–0,246 8	21:29	0,382 7	22:04	–0,001 0	22:39	–0,538 9
20:20	0,111 2	20:55	–0,246 8	21:30	0,385 3	22:05	–0,001 0	22:40	–0,518 2
20:21	–0,262 1	20:56	–0,246 8	21:31	0,366 7	22:06	–0,000 8	22:41	–0,497 5
20:22	0,293 9	20:57	–0,242 8	21:32	0,361 3	22:07	0,015 0	22:42	–0,484 7
20:23	0,300 5	20:58	–0,242 8	21:33	0,356 0	22:08	0,032 1	22:43	–0,416 1
20:24	0,290 8	20:59	–0,198 8	21:34	0,361 3	22:09	0,060 7	22:44	–0,411 4
20:25	0,293 0	21:00	–0,198 8	21:35	0,356 0	22:10	0,075 8	22:45	–0,398 8
20:26	0,293 9	21:01	0,466 6	21:36	0,360 0	22:11	0,100 4	22:46	–0,456 9
20:27	0,292 1	21:02	0,466 6	21:37	0,276 1	22:12	0,126 2	22:47	–0,448 3
20:28	0,290 2	21:03	0,466 6	21:38	0,089 6	22:13	0,142 7	22:48	–0,427 8
20:29	0,327 0	21:04	0,169 2	21:39	0,092 3	22:14	0,210 1	22:49	–0,419 1
20:30	0,356 4	21:05	0,426 6	21:40	0,005 6	22:15	0,232 3	22:50	–0,418 4
20:31	0,351 2	21:06	0,444 0	21:41	0,064 3	22:16	0,263 7	22:51	–0,409 7
20:32	0,355 2	21:07	0,434 6	21:42	0,079 0	22:17	0,284 3	22:52	–0,400 9
20:33	0,363 2	21:08	0,432 0	21:43	0,057 6	22:18	0,308 8	22:53	–0,392 2
20:34	0,356 5	21:09	0,448 0	21:44	0,052 3	22:19	0,321 4	22:54	–0,383 5
20:35	–0,187 5	21:10	0,446 6	21:45	0,061 6	22:20	0,340 6	22:55	–0,374 9
20:36	0,371 2	21:11	0,440 0	21:46	0,065 6	22:21	0,309 3	22:56	–0,366 3
20:37	0,364 5	21:12	0,442 6	21:47	0,049 6	22:22	0,328 7	22:57	–0,357 6
20:38	0,316 5	21:13	0,446 6	21:48	0,053 6	22:23	0,353 4	22:58	–0,343 9
20:39	0,315 2	21:14	0,457 3	21:49	0,061 6	22:24	0,374 1	22:59	–0,335 3
20:40	0,319 2	21:15	0,452 0	21:50	0,051 0	22:25	0,394 8	23:00	–0,326 8
20:41	0,311 2	21:16	0,462 6	21:51	0,045 6	22:26	0,406 2	23:01	–0,318 3
20:42	0,308 5	21:17	0,462 6	21:52	0,053 6	22:27	0,433 5	23:02	–0,309 8
20:43	0,309 8	21:18	0,453 3	21:53	0,101 6	22:28	0,454 2	23:03	–0,306 6
20:44	0,301 8	21:19	0,413 3	21:54	0,064 3	22:29	0,485 5	23:04	–0,298 0
20:45	0,301 8	21:20	0,405 3	21:55	0,059 0	22:30	0,506 1	23:05	–0,293 7
20:46	0,303 2	21:21	0,405 3	21:56	0,007 0	22:31	0,521 4	23:06	–0,300 9
20:47	0,303 2	21:22	0,409 3	21:57	0,008 3	22:32	0,546 0	23:07	–0,308 1
20:48	0,305 8	21:23	0,408 4	21:58	0,008 3	22:33	0,566 6	23:08	–0,314 7
20:49	0,305 8	21:24	0,403 5	21:59	0,007 0	22:34	0,599 3	23:09	–0,331 9

Окончание таблицы А.2

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
23:10	–0,343 9	23:20	0,245 4	23:30	0,135 8	23:40	–0,002 5	23:50	–0,003 9
23:11	0,345 5	23:21	0,233 2	23:31	0,115 6	23:41	0,000 9	23:51	–0,004 0
23:12	0,344 3	23:22	0,222 4	23:32	0,093 6	23:42	0,000 5	23:52	–0,003 5
23:13	0,333 4	23:23	0,210 3	23:33	0,066 1	23:43	0,005 5	23:53	–0,002 5
23:14	0,322 3	23:24	0,202 1	23:34	0,040 7	23:44	0,005 6	23:54	–0,002 3
23:15	0,315 3	23:25	0,190 0	23:35	0,013 2	23:45	0,005 7	23:55	–0,002 8
23:16	0,303 1	23:26	0,177 9	23:36	0,013 4	23:46	0,009 7	23:56	0,000 4
23:17	–0,414 4	23:27	0,177 7	23:37	0,013 9	23:47	0,004 1	23:57	–0,001 1
23:18	0,269 5	23:28	0,160 2	23:38	0,014 6	23:48	–0,003 0	23:58	0,002 2
23:19	0,257 5	23:29	0,148 0	23:39	–0,002 0	23:49	–0,003 4	23:59	0,000 0

А.4 Проект профессиональные ЭЗС-ФЭ-СНЭЭ на базе общей шины постоянного тока

Таблица А.3 — Мощность заряда-разряда СНЭЭ профессиональной ЭЗС на базе общей шины постоянного тока (мощность нормирована на единицу)

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
0:00	–0,230 1	1:40	–0,242 3	3:20	–0,498 9	5:00	–0,546 9	6:40	–0,334 8
0:05	–0,217 3	1:45	–0,301 1	3:25	–0,521 9	5:05	–0,524 0	6:45	–0,346 4
0:10	–0,216 5	1:50	–0,301 1	3:30	–0,536 5	5:10	–0,517 1	6:50	–0,358 7
0:15	–0,216 0	1:55	–0,301 1	3:35	–0,545 1	5:15	–0,518 2	6:55	–0,363 9
0:20	–0,235 5	2:00	–0,516 8	3:40	–0,564 5	5:20	–0,516 6	7:00	0,125 3
0:25	–0,258 4	2:05	–0,512 1	3:45	–0,564 5	5:25	–0,518 3	7:05	0,118 4
0:30	–0,273 1	2:10	–0,512 0	3:50	–0,564 5	5:30	–0,517 1	7:10	0,134 1
0:35	–0,281 6	2:15	–0,511 9	3:55	–0,564 5	5:35	–0,516 0	7:15	0,166 1
0:40	–0,301 1	2:20	–0,511 3	4:00	–0,516 1	5:40	–0,515 7	7:20	0,157 5
0:45	–0,301 1	2:25	–0,525 2	4:05	–0,509 5	5:45	–0,514 1	7:25	0,160 1
0:50	–0,301 1	2:30	–0,525 2	4:10	–0,500 8	5:50	–0,544 9	7:30	0,164 3
0:55	–0,301 1	2:35	–0,522 8	4:15	–0,506 5	5:55	–0,545 0	7:35	0,165 2
1:00	–0,261 0	2:40	–0,523 0	4:20	–0,505 5	6:00	–0,328 6	7:40	0,181 9
1:05	–0,257 3	2:45	–0,534 6	4:25	–0,504 8	6:05	–0,324 0	7:45	–0,006 1
1:10	–0,250 8	2:50	–0,546 9	4:30	–0,504 5	6:10	–0,323 8	7:50	–0,009 1
1:15	–0,242 2	2:55	–0,552 0	4:35	–0,539 8	6:15	–0,323 7	7:55	–0,014 4
1:20	–0,245 4	3:00	–0,493 5	4:40	–0,539 1	6:20	–0,323 2	8:00	–0,017 2
1:25	–0,244 6	3:05	–0,480 7	4:45	–0,538 3	6:25	–0,337 0	8:05	–0,006 9
1:30	–0,243 3	3:10	–0,479 9	4:50	–0,564 5	6:30	–0,337 0	8:10	–0,008 2
1:35	–0,242 6	3:15	–0,479 4	4:55	–0,564 5	6:35	–0,334 7	8:15	–0,015 2

Продолжение таблицы А.3

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
8:20	–0,018 9	11:10	0,462 0	14:00	0,589 5	16:50	–0,227 9	19:40	0,369 6
8:25	–0,062 9	11:15	0,460 8	14:05	0,548 5	16:55	–0,224 3	19:45	0,371 3
8:30	–0,068 5	11:20	0,462 3	14:10	0,630 6	17:00	–0,166 8	19:50	0,339 2
8:35	–0,067 0	11:25	0,439 6	14:15	0,637 2	17:05	–0,098 0	19:55	0,339 2
8:40	–0,075 5	11:30	0,450 6	14:20	0,673 0	17:10	–0,077 5	20:00	0,360 6
8:45	–0,117 8	11:35	0,458 2	14:25	0,692 6	17:15	–0,080 6	20:05	0,364 5
8:50	–0,160 1	11:40	0,450 1	14:30	0,690 8	17:20	–0,075 9	20:10	0,371 2
8:55	–0,183 8	11:45	0,462 7	14:35	0,567 8	17:25	–0,080 9	20:15	0,380 1
9:00	0,046 7	11:50	0,359 0	14:40	0,539 0	17:30	–0,077 4	20:20	0,376 8
9:05	0,087 3	11:55	0,354 7	14:45	0,561 5	17:35	–0,074 1	20:25	0,377 7
9:10	0,074 8	12:00	0,449 0	14:50	0,508 0	17:40	–0,073 4	20:30	0,379 1
9:15	0,068 2	12:05	0,467 0	14:55	0,512 5	17:45	–0,068 4	20:35	0,379 7
9:20	0,003 7	12:10	0,505 3	15:00	–0,181 7	17:50	–0,161 0	20:40	0,380 0
9:25	–0,077 8	12:15	0,488 0	15:05	–0,172 8	17:55	–0,161 0	20:45	0,318 9
9:30	–0,130 7	12:20	0,479 8	15:10	–0,163 5	18:00	0,368 6	20:50	0,318 9
9:35	–0,169 6	12:25	0,473 1	15:15	–0,158 5	18:05	0,373 4	20:55	0,318 9
9:40	–0,233 8	12:30	0,475 6	15:20	–0,148 5	18:10	0,373 5	21:00	0,073 9
9:45	–0,242 7	12:35	0,369 2	15:25	–0,186 8	18:15	0,373 7	21:05	0,087 2
9:50	–0,257 8	12:40	0,385 0	15:30	–0,172 2	18:20	0,374 2	21:10	0,088 1
9:55	–0,252 8	12:45	0,391 7	15:35	–0,157 1	18:25	0,359 8	21:15	0,088 6
10:00	0,559 8	12:50	0,321 0	15:40	–0,153 8	18:30	0,359 8	21:20	0,068 3
10:05	0,554 3	12:55	0,363 3	15:45	–0,181 8	18:35	0,362 3	21:25	0,044 4
10:10	0,566 7	13:00	0,471 3	15:50	–0,208 9	18:40	0,362 1	21:30	0,029 1
10:15	0,596 3	13:05	0,497 8	15:55	–0,219 3	18:45	0,350 0	21:35	0,020 2
10:20	0,574 4	13:10	0,511 1	16:00	–0,131 4	18:50	0,337 2	21:40	0,000 0
10:25	0,560 2	13:15	0,507 8	16:05	–0,116 5	18:55	0,331 8	21:45	0,000 0
10:30	0,549 5	13:20	0,500 7	16:10	–0,091 9	19:00	0,337 2	21:50	0,000 0
10:35	0,546 9	13:25	0,450 8	16:15	–0,062 0	19:05	0,361 1	21:55	0,000 0
10:40	0,538 6	13:30	0,456 9	16:20	–0,068 9	19:10	0,368 2	22:00	–0,016 3
10:45	0,355 3	13:35	0,539 8	16:25	–0,061 2	19:15	0,367 1	22:05	0,006 8
10:50	0,339 1	13:40	0,549 4	16:30	–0,052 3	19:20	0,368 7	22:10	0,014 0
10:55	0,328 0	13:45	0,466 2	16:35	–0,046 0	19:25	0,367 0	22:15	0,012 9
11:00	0,386 2	13:50	0,438 4	16:40	–0,045 4	19:30	0,368 2	22:20	0,014 5
11:05	0,451 9	13:55	0,480 2	16:45	–0,225 8	19:35	0,369 4	22:25	0,012 8

Окончание таблицы А.3

Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.	Время	Мощность, о.е.
22:30	0,014 0	22:50	–0,014 4	23:10	–0,150 6	23:30	–0,207 2	23:50	–0,235 2
22:35	0,015 1	22:55	–0,014 4	23:15	–0,150 1	23:35	–0,215 7	23:55	–0,235 2
22:40	0,015 4	23:00	–0,164 2	23:20	–0,169 6	23:40	–0,235 2		
22:45	0,017 1	23:05	–0,151 4	23:25	–0,192 5	23:45	–0,235 2		

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта национальному стандарту

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
IEC 62933-1	NEQ	ГОСТ Р 58092.1—2021 «Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - NEQ — неэквивалентный стандарт.		

Библиография

IEC 60870-5-104, Telecontrol equipment and systems — Part 5-104: Transmission protocols — Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles (Аппаратура и системы телеуправления. Часть 5-104. Протоколы передачи данных. Доступ к сетям, использующим стандартные профили по МЭК 60870-5-101)

IEC 61850 (all parts), Communication networks and systems for power utility automation (Сети и системы связи для автоматизации энергосистем общего пользования)

IEC 61851 (all parts), Electric vehicle conductive charging system (Система проводной зарядки электромобилей)

IEC 62933-2-1, Electrical energy storage ((EES) systems — Part 2-1: Unit parameters and testing methods — General specification (Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Часть 2-1. Параметры установок и методы испытаний. Общие технические условия)

IEC TS 62933-3-1, Electrical energy storage (EES) systems — Part 3-1: Planning and performance assessment of electrical energy storage systems — General specification (Системы накопления электрической энергии (EES). Часть 3-1. Проектирование и оценка рабочих параметров систем накопления электрической энергии. Общие требования)

ISO 15118 (all parts), Road vehicles — Vehicle-to-Grid Communication Interface (Транспорт дорожный. Интерфейс связи автомобиль-электрическая сеть)

CHAdeMO 2.0, Brochure, CHAdeMO Association & Protocol, April 2019, available at gost.e-ecolog.ru wp-content/uploads/2019/06/2019 %20CHAdeMO_Brochure_web_corrected %2025 %20June.pdf

IEEE 1679-2010, Recommended Practice for the Characterization and Evaluation of Emerging Energy Storage Technologies in Stationary Applications

IEEE 2030.2.1, Guide for Design, Operation, and Maintenance of Battery Energy Storage Systems, both Stationary and Mobile, and Applications Integrated with Electric Power Systems

IEEE 2030.3, Test Procedures for Electric Energy Storage Equipment and Systems for Electric Power Systems Applications

IEEE 2030.5, IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol

PNNL-22010 Rev 2/SAN 2016-3078 R (April 2016), Protocol for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Energy Storage Systems

Melissa L. EV Project — Solar Assisted Charging Demo, 2014 U.S. DOE Hydrogen Program and Vehicle Technologies Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, 16-20 June 2014

Charles C. C. et al. Control Strategies for Electric Vehicle (EV) Charging Using Renewables and Local Storage. 2014 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 15—18 June 2014

УДК 621.355:006.354 ОКС 29.220

Ключевые слова: системы накопления электрической энергии, параметры, методы испытаний, зарядные станции, фотоэлектрическая генерация

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

Сдано в набор 04.09.2023. Подписано в печать 13.09.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,60.

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