ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58092.3.2— 2023

Системы накопления электрической энергии

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ

Применения с преимущественным использованием мощности и интеграция с возобновляемыми источниками энергии

(IEC/TS 62933-3-2:2023, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Национальной ассоциацией производителей источников тока «РУСБАТ» (Ассоциация «РУСБАТ»)

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 января 2023 г. № 67-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного документа IEC/TS 62933-3-2:2023 «Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Часть 3-2. Проектирование и оценка рабочих параметров. Дополнительные требования для применений интенсивного использования мощности и при интеграции с возобновляемыми источниками энергии» (IEC/TS 62933-3-2:2023 «Electric Energy Storage (EES) Systems — Part 3-2: Planning and performance assessment of electrical energy storage systems — Additional requirements for power intensive and for renewable energy sources integration related applications», NEQ)

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

© 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, сокращения и обозначения 3
4 Общие требования к проектированию и оценке рабочих характеристик СНЭЭ 6
5 Регулирование частоты 28
6 Регулирование напряжения энергосистемы/электрической сети 45
7 Нивелирование провалов напряжения ($P(U)$) 49
8 Применения, связанные с интеграцией возобновляемых источников энергии и СНЭЭ 55
9 Демпфирование колебаний мощности 67
Приложение А (справочное) Ключевые показатели эффективности применений СНЭЭ 76
Приложение Б (справочное) Назначение пользователям разрешений по умолчанию 77
Библиография 80

Введение

Настоящий стандарт предназначен для использования в качестве руководства при проектировании, конструировании, управлении и эксплуатации систем накопления электрической энергии (СНЭЭ), предназначенных для применений, связанных с интенсивным преимущественным использованием мощности и с их интеграцией с возобновляемыми источниками энергии.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы накопления электрической энергии

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ

Применения с преимущественным использованием мощности и интеграция с возобновляемыми источниками энергии

Electric energy storage systems. Planning and performance assessment.
Power intensive applications and renewable energy sources integration

Дата введения — 2023—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы накопления электрической энергии (СНЭЭ), связанные с применениями, требующими преимущественного использования мощности, т. е. скорости обмена аккумулируемой в них энергии, в частности при интеграции с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). СНЭЭ в таких применениях, как правило, используют для улучшения динамической устойчивости энергосистемы или локальной обособленной электросети (ОЭС) путем разряда/заряда СНЭЭ на основе соответствующих стратегий управления. Совместная работа СНЭЭ и ВИЭ позволяет нивелировать стохастический характер генерации ВИЭ и/или обеспечивать стабильность энергоснабжения длительное время. Настоящий стандарт устанавливает перечень параметров для установления требований к рабочим характеристикам СНЭЭ, расчету и оценке их энергетических характеристик и проектированию, эксплуатации и управлению, мониторингу и техническому обслуживанию. Функции СНЭЭ, характерные для указанных типов применений, включают:

- регулирование частоты в энергосистеме;
- регулирование напряжения энергосистемы/электрической сети ($Q(U)$);
- нивелирование провалов напряжения;
- демпфирование колебаний мощности (ДКМ).

Требования к СНЭЭ как к оборудованию объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок устанавливаются в соответствии с [1], [2], иными федеральными законами и нормативными правовыми актами Российской Федерации, нормативно-правовыми актами Минэнерго России и национальными стандартами, распространяющимися на объекты электроэнергетики. Применение СНЭЭ, не являющихся объектами диспетчеризации, регламентируется [3].

Особенности оперативно-диспетчерского (дистанционного) управления ВИЭ без СНЭЭ регламентируются ГОСТ Р 59949.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ 30804.4.11—2013 (IEC 61000-4-11:2004) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний

Издание официальное

ГОСТ 32144 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

ГОСТ Р 54325 (IEC/TS 61850-2:2003) Сети и системы связи на подстанциях. Часть 2. Термины и определения

ГОСТ Р 55608 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Переключения в электроустановках. Общие требования

ГОСТ Р 55890—2013 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования

ГОСТ Р 57114—2016 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике и оперативно-технологическое управление. Термины и определения

ГОСТ Р 58092.1—2021 Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения

ГОСТ Р 58092.2.1 Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Параметры установок и методы испытаний. Общее описание

ГОСТ Р 58092.2.2 Системы накопления электрической энергии. Параметры установок и методы испытаний. Области применения и определение рабочих характеристик

ГОСТ Р 58092.3.1 Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Проектирование и оценка рабочих параметров. Общие требования

ГОСТ Р 58092.3.3 Системы накопления электрической энергии. Проектирование и оценка рабочих параметров. Применения с преимущественным использованием энергии и резервного энергоснабжения

ГОСТ Р 58092.5.1 Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Безопасность систем, работающих в составе сети. Общие требования

ГОСТ Р 58651.1 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Основные положения

ГОСТ Р 58651.2 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели

ГОСТ Р 58651.3 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Профиль информационной модели линий электропередачи и электросетевого оборудования напряжением 110—750 кВ

ГОСТ Р 58651.4 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Профиль информационной модели генерирующего оборудования

ГОСТ Р 59947 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Дистанционное управление. Требования к информационному обмену при организации и осуществлении дистанционного управления

ГОСТ Р 59948 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Дистанционное управление. Требования к управлению электросетевым оборудованием и устройствами релейной защиты и автоматики

ГОСТ Р 59949 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Дистанционное управление. Требования к управлению активной и реактивной мощностью генерирующего оборудования ветровых и солнечных электростанций

ГОСТ Р ИСО 5660-1 Испытания по определению реакции на огонь. Интенсивности тепловыделения, дымообразования и потери массы. Часть 1. Определение интенсивности тепловыделения методом конического калориметра и интенсивности дымообразования измерениями в динамическом режиме

ГОСТ Р МЭК 61850-3 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 3. Основные требования

ГОСТ Р МЭК 61850-5 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 5. Требования к связи для функций и моделей устройств

ГОСТ Р МЭК 61850-6 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 6. Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях

ГОСТ Р МЭК 61850-7-1 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 1. Принципы и модели

ГОСТ Р МЭК 61850-7-2 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 2. Абстрактный интерфейс услуг связи (ACSI)

ГОСТ Р МЭК 61850-7-3 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 3. Классы общих данных

ГОСТ Р МЭК 61850-7-4 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 4. Совместимые классы логических узлов и классы данных

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

3 Термины, определения, сокращения и обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 54325, ГОСТ Р 57114, ГОСТ Р 58092.1, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1.1 **быстрое регулирование частоты** (функция СНЭЭ) [fast frequency control, fast frequency response (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для поддержания частоты электроэнергетической системы в установленных границах во время внезапных отказов и для уменьшения амплитуды переходной разности частот путем двунаправленного обмена активной мощностью СНЭЭ с энергосистемой за счет ее быстрого (например, в течение 100 мс) разряда или заряда.

Примечания

1 Возможность быстрого отклика на события в энергосистемы — существенная черта СНЭЭ, отличающая их от традиционных генераторов, основанных на применении вращающихся машин (турбин), характеризуемых большой инерционностью.

2 Быстрое регулирование частоты на момент введения в действие настоящего стандарта не предусмотрено действующими нормативно-правовыми документами, регламентирующими работу ЕЭС России, однако может быть использовано для повышения эффективности и надежности локальных сетей, не имеющих обратной связи с энергосистемой, и должно быть использовано при разработке изделий, предназначенных на экспорт.

3.1.2 **вторичное регулирование частоты** (функция СНЭЭ) [secondary frequency control, secondary frequency regulation (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для восстановления заданного значения частоты электроэнергетической системы путем обмена активной мощностью СНЭЭ с энергосистемой после исчерпания резервов первичного регулирования частоты.

Примечания

1 Вторичное регулирование частоты активируется после завершения первичного регулирования частоты вручную или автоматически в промежутке от 30 с до 15 мин.

2 Термин «вторичное регулирование (частоты и перетоков активной мощности)» установлен в статье 3.18 ГОСТ Р 57114—2016.

3.1.3 **демпфирование колебаний мощности** (функция СНЭЭ)**;** ДКМ [power oscillation damping; POD (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для ограничения колебаний мощности в одной или нескольких подключенных электрических сетях переменного тока посредством управления потоком активной или реактивной мощности.

Примечание — Диапазон колебаний мощности низкой частоты, как правило, составляет от 0,1 Гц до 2 Гц.

3.1.4 **нивелирование провалов напряжения** (функция СНЭЭ) [voltage sag mitigation, voltage dip mitigation (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для компенсации падения напряжения на основной ТПСН в течение заданной продолжительности времени и для заранее определенной максимальной мощности.

Примечание — События, связанные с качеством электроэнергии, установлены в ГОСТ 32144—2013.

3.1.5 **обособленная электрическая сеть;** ОЭС (islanded grid): Часть системы электроснабжения, которая электрически отключена от остальной части взаимосвязанной системы электроснабжения.

Примечания

1 Обособленная электрическая сеть может образоваться непреднамеренно, в результате аварии энергосистемы/электрической сети, от которой она получает энергоснабжение, либо преднамеренной организацией участков энергоснабжения, работающих автономно, при отсутствии возможности организации электрической связи с энергосистемой.

2 Обособленная электрическая сеть может оставаться под напряжением от местных источников электроэнергии, обеспечивающих энергоснабжение имеющихся в ней нагрузок.

3.1.6 **первичное регулирование частоты** (функция СНЭЭ) [primary frequency control, primary frequency regulation (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для стабилизации частоты электроэнергетической системы на постоянном значении путем реакции на измеренное отклонение частоты двунаправленным обменом активной мощностью СНЭЭ с энергосистемой.

Примечания

1 Первичное регулирование частоты автоматически активируется регулятором частоты в течение нескольких секунд после регистрации отклонения частоты и полностью активируется менее чем за несколько минут.

2 Термин «первичное регулирование частоты (первичное регулирование)» установлен в статье 2.21 ГОСТ Р 55890—2013.

3 Требования к регулятору частоты при использовании СНЭЭ отличны от требований к первичному регулятору (статья 2.22 ГОСТ Р 55890—2013) и установлены в [2].

3.1.7 **работа в обособленной электрической сети** (функция СНЭЭ) [islanded operation (of the EESS)]: Функция для обеспечения электроэнергией нагрузок в обособленной электрической сети и для управления и координации с другими, возможно имеющимися в ней, системами выработки электроэнергии, а также регулирования в ней напряжения и частоты электропитания.

3.1.8 **регулирование выработки возобновляемых источников энергии** (функция СНЭЭ) [renewable energy resources generation firming (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ длительного времени действия, используемая для компенсации превышения генерации энергии ВИЭ над ее потреблением нагрузками, подключенными к энергосистеме, путем аккумулирования СНЭЭ избытка энергии с последующей отдачей СНЭЭ накопленной энергии в периоды с превышением потребления энергии нагрузками над генерацией ВИЭ.

3.1.9 **сглаживание колебаний мощности** (функция СНЭЭ) [fluctuation reduction, power smoothing (of the EESS)]: Первичная функция СНЭЭ короткого времени действия, используемая для уменьшения непостоянства мощности генерирующих устройств (например, возобновляемых источников энергии) в точке их присоединения к энергосистеме путем отвода и поглощения активной мощности подсистемой аккумулирования СНЭЭ в периоды избытка генерации и подачи дополнительной активной мощности, аккумулированной СНЭЭ при дефиците генерации.

3.1.10 **скорость саморазряда** (СНЭЭ) [self-discharge rate (of the EESS)]: Процент потери энергии от полной энергоемкости подсистемы аккумулирования энергии СНЭЭ в состоянии простоя в течение установленной продолжительности времени измерения.

Примечания

1 В период простоя все необходимые вспомогательные устройства активированы, и потребление ими энергии учитывается.

2 Продолжительность времени измерения необходимо рационально определять в соответствии с характеристикой саморазряда конкретной технологии аккумулирования энергии.

3.2 Сокращения и обозначения

3.2.1 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

SCADA — система сбора данных и оперативного контроля в диспетчерском управлении;
АРМС — астатическое регулирование обменной мощности по транзитной связи;
АРЧ — астатическое регулирование частоты;
АРЧМ — автоматическое регулирование частоты и мощности;
АСДУ — автоматизированная система диспетчерского управления;
БРЧ — быстрое регулирование частоты;
ВИЭ — возобновляемый источник энергии;
ВК — вентиляция, кондиционирование;
ВРЧ — вторичное регулирование частоты;
ВЭС — ветровая (ветроэлектрическая) электростанция;
ДКМ — демпфирование колебаний мощности;
ДУ — дистанционное управление;
ДЦ — диспетчерский центр субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике;
ЕЭС — единая энергетическая система;
ИСФ — измеритель сдвига фаз;
ККЗ — коэффициент короткого замыкания;
КП — контролируемый пункт;
ОДУ — диспетчерский центр системного оператора — объединенное диспетчерское управление;
ООР — ошибка области регулирования;
ОЭС — обособленная электрическая сеть;
ПАЭ — подсистема аккумулирования энергии;
ПВПН — режим прохода через временное перенапряжение;
ПВПЧ — режим прохода через временное превышение частоты;
ПДГ — плановый диспетчерский график;
ПИЗ — приемочные испытания заводские;
ПИМ — приемочные испытания на месте;
ПЛК — преобразователь с линейной коммутацией;
ППЭ — подсистема преобразования энергии;
ПРЧ — первичное регулирование частоты;
ПЧПН — режим прохода через провал напряжения;
ПЧПЧ — режим прохода через провал частоты;
РИЭ — распределенные источники энергии;
СИЧ — скорость изменения частоты;
СКРМ — статический компенсатор реактивной мощности;
СКУ — система контроля и управления;
СНЭЭ — система накопления электрической энергии;
СОДУ[1)] — субъект оперативно-диспетчерского управления энергосистемы;
ССВ — субсинхронное взаимодействие;
ССР — субсинхронный резонанс;
СУР — система управления работой;
СУЭ — система управления генерацией и передачей электроэнергии;
СЧХ — статическая частотная характеристика;
СЭ — степень энергосодержания;
СЭС — фотоэлектрическая солнечная электростанция;
ТПСН — точка присоединения системы накопления к сети;

[1)] Системный оператор делегирует конкретные полномочия по выполнению задач управления технологическими процессами объектов электроэнергетики ЦДУ, РДУ, ДЦ и другим субъектам в соответствии с определенными Правилами оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике [4].

УОМ — уменьшение стандартного отклонения мощности;
УОСМ — уменьшение стандартного отклонения скорости нарастания мощности;
УСЧН — управление смещением частоты нагрузок взаимоувязанных энергосистем;
ЦДУ — центральное диспетчерское управление, главный диспетчерский центр системного оператора;
ЧМИ — человеко-машинный интерфейс;
ЭМ — электромобиль.

3.2.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

P — активная мощность;
Q — реактивная мощность;
S — полная мощность;
f — частота;
U — напряжение;
I_r — реактивный ток;
I — ток.

4 Общие требования к проектированию и оценке рабочих характеристик СНЭЭ

4.1 Применение СНЭЭ

4.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

4.1.1.1 Общие положения

При проектировании СНЭЭ необходимо установить, для каких целей она будет использована. В связи с тем, что СНЭЭ могут иметь более чем одну функцию, необходимо описать планируемое применение(я) СНЭЭ в энергосистеме/электрической сети, к которой они подключены.

Настоящий стандарт основан на требованиях стандарта ГОСТ Р 58092.3.1, и его следует применять вместе с ГОСТ Р 58092.3.3.

В зависимости от целевого использования к СНЭЭ предъявляют различные требования:

- по энергоемкости;
- поглощаемой и выдаваемой активной мощности;
- частоте смены фаз заряда и разряда;
- характеристикам длительности времени отклика и скорости нарастания параметров на выходе;
- возможности дополнительного обмена реактивной мощностью с энергосистемой или электрической сетью;
- работе в автономном режиме и возможности холодного запуска.

Помимо обмена активной мощностью и энергией СНЭЭ может предоставлять широкий спектр дополнительных услуг. В 4.1.1.2 — 4.1.1.5 приведены различия между применениями с преимущественным использованием мощности, обеспечиваемой СНЭЭ, совместным использованием СНЭЭ и ВИЭ, применениями с преимущественным использованием энергии, аккумулируемой в СНЭЭ, и использованием СНЭЭ для обеспечения резервного энергоснабжения.

СНЭЭ, являющиеся объектами диспетчеризации, должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 55608.

4.1.1.2 Применения с преимущественным использованием мощности, обеспечиваемой СНЭЭ

Для СНЭЭ, предназначенных для использования в применениях с преимущественным использованием мощности, устанавливают требования к скорости отклика на ступенчатое возмущение при частых переходах фаз заряда и разряда и для дополнительного обмена реактивной мощностью СНЭЭ с энергосистемой. Несколько отработанных технологий аккумулирования электрической энергии, в частности сверхпроводящие индуктивные накопители энергии, суперконденсаторы, маховичные накопители энергии и системы на основе литиевых батарей мощностных типов, обладают высокой плотностью мощности, но низкой плотностью энергии, и могут быть использованы для выполнения следующих функций:

- регулирование частоты энергосистемы;
- регулирование напряжения энергосистемы/электрической сети;

- обеспечение норм качества электроэнергии (КЭ);
- регулирование потока реактивной мощности;
- демпфирование колебаний мощности (ДКМ).

4.1.1.3 Совместное использование систем накопления электрической энергии и возобновляемых источников энергии

При совместном использовании СНЭЭ и ВИЭ могут быть реализованы различные меры по управлению нагрузкой, энергией, КЭ, приводящие к повышению эффективности ВИЭ. К числу таких функций относятся:

- сглаживание колебаний мощности;
- регулирование выработки энергии ВИЭ;
- применения для электрических зарядных станций, работающих в сочетании с ВИЭ;
- выравнивание нагрузки (уменьшение колебаний потребления нагрузки);
- участие в оперативно-диспетчерском управлении.

4.1.1.4 Применения с преимущественным использованием энергии, аккумулируемой в системах накопления электрической энергии

СНЭЭ, предназначенные для использования в применениях с преимущественным использованием аккумулированной в них энергии, должны обеспечивать необходимую мощность в течение длительного периода времени. При работе в ОЭС СНЭЭ обеспечивают необходимую мощность для локальных электрических сетей, не полагаясь на внешнюю электрическую сеть. К числу функций таких типов применений относятся:

- уменьшение изменений баланса энергии энергосистемы;
- работа в ОЭС.

4.1.1.5 Использование систем накопления электрической энергии для обеспечения резервного энергоснабжения

При отключении подачи электроэнергии из внешней энергосистемы СНЭЭ должна обеспечивать требуемую мощность резервного энергоснабжения для всех нагрузок или только аварийных нагрузок внутри локальной ОЭС. Функции резервного энергоснабжения СНЭЭ — обеспечение непрерывного режима работы энергопринимающих устройств потребителя с требуемой мощностью в течение периода времени, необходимого для восстановления энергоснабжения от энергосистемы/электрической сети.

4.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

4.1.2.1 Общие положения

Выбранный аппаратный состав и программное обеспечение СНЭЭ должны соответствовать определенным основным функциональным требованиям, установленным в 4.1.2 (не обязательно прямо относящимся к СНЭЭ).

В целях обеспечения необходимой функциональности для применений требования предъявляются по всем основным функциональным характеристикам (например, подача и поглощение электроэнергии). Типичные требования приведены в 4.1.2.2—4.1.2.13. В приложении А приведена дополнительная информация о показателях для выставления требований, относящихся к конкретному применению СНЭЭ.

4.1.2.2 Требования к мощности СНЭЭ

Для установления требований к поглощаемой и отдаваемой мощности СНЭЭ следует использовать следующие параметры:

- нормированную активную мощность P, Вт;
- нормированную реактивную мощность Q, вар;
- нормированную полную мощность S, ВА;
- нормированную поглощаемую и отдаваемую мощность, Вт;
- (нормированную) кратковременную максимальную поглощаемую и отдаваемую мощность, Вт;
- кратковременную максимальную реактивную мощность, вар;
- удельную мощность, Вт/кг, плотность мощности, Вт/м^3;
- скорость изменения поглощения и отдачи мощности, Вт/мин.

В целях обеспечения необходимых характеристик до конца срока службы СНЭЭ требования к мощности должны учитывать влияние деградации компонентов, в первую очередь ПАЭ, за время эксплуатации.

4.1.2.3 Требования к продолжительности процессов

Для установления требований к продолжительности процессов при выполнении СНЭЭ функций определенного применения с преимущественным использованием мощности, обеспечиваемой СНЭЭ, следует использовать следующие параметры:

- нормированную продолжительность заряда/разряда;
- нормированную продолжительность кратковременного поглощения/отдачи максимальной мощности.

4.1.2.4 Требования к энергосодержанию СНЭЭ

Для установления требований к поглощению и выдаче энергии СНЭЭ в ТПСН следует использовать следующие параметры:

- нормированную энергоемкость, МВт · ч;
- фактическую энергоемкость, МВт · ч;
- удельную энергию, кВт · ч/кг, и плотность энергии, кВт · ч/м^3;
- энергосодержание, МВт · ч.

Чтобы обеспечить необходимые характеристики до конца срока службы СНЭЭ, требования к энергосодержанию должны учитывать снижение емкости СНЭЭ за время эксплуатации.

4.1.2.5 Требования к эффективности СНЭЭ

Для установления требований к эффективности процесса преобразования или передачи энергии, а также процесса аккумулирования энергии СНЭЭ следует использовать следующие параметры:

- энергоэффективность, %;
- КПД ППЭ, %;
- нормированную эффективность заряда-разряда, %;
- скорость саморазряда, %/сут.

4.1.2.6 Требования к быстродействию СНЭЭ

Для установления требований к быстродействию СНЭЭ, характеризующих, насколько быстро достигается необходимое фактическое значение с достаточной точностью при заданном значении уставки параметра, следует использовать следующие параметры:

- длительность времени отклика на единичное ступенчатое возмущение;
- скорость изменения выходной переменной;
- длительность стабилизации параметра;
- временны́е параметры измерений частоты.

Для установления требований к переключению между зарядом и разрядом допускается использовать следующие параметры:

- длительность отдыха;
- длительность простоя;
- длительность перехода между режимами.

4.1.2.7 Требования к управлению СНЭЭ

Для обеспечения требуемой функциональности в СНЭЭ должны быть реализованы соответствующие алгоритмы управления и характеристики:

- возможность участия в регулировании частоты с характеристикой зависимости активной мощности от частоты ($P(f)$) и скорости ее изменения (P(СИЧ));
- возможность участия в регулировании напряжения с характеристикой зависимости реактивной мощности от напряжения ($Q(U)$);
- нивелирование провалов напряжения;
- сглаживание генерации ВИЭ (мощность), носящей стохастический характер;
- регулирование выработки ВИЭ (энергия);
- использование СНЭЭ на электрических зарядных станциях ЭМ совместно с ВИЭ;
- демпфирование колебаний мощности;
- возможность холодного запуска.

Примечание — Функция, связанная с регулированием напряжения СНЭЭ, в основном основывается на характеристиках реактивной мощности. В некоторых случаях при регулировании напряжения для предотвращения падения напряжения после аварийного возмущения с отключением одного сетевого элемента (так называемый критерий «N-1») требуется как реактивная, так и активная мощность.

4.1.2.8 Требования к массе и габаритам

Для установления требований к массогабаритным характеристикам следует использовать следующие параметры:

- размеры (длина, ширина, высота), м, площадь основания, $м^2$, объем, $м^3$;
- массу, кг, т.

4.1.2.9 Требования безопасности

К СНЭЭ предъявляют следующие требования безопасности:

- безопасность оборудования;
- кибербезопасность;
- эксплуатационная безопасность;
- меры защиты от несанкционированного доступа;
- пожарная безопасность;
- соблюдение требований стандартов безопасности для конкретного вида применения.

4.1.2.10 Требования к сроку службы

Для установления требований к сроку службы СНЭЭ следует использовать следующие параметры:

- минимальное количество циклов за весь срок службы, в год или в сутки;
- минимальный календарный срок службы;
- температуру окружающей среды и другие климатические условия.

4.1.2.11 Требования к экологическому воздействию

Для установления требований к экологическому воздействию СНЭЭ следует использовать следующие параметры на всех стадиях жизненного цикла (изготовление, эксплуатация и удаление):

- максимальные выбросы CO_2;
- максимальный уровень шума;
- виды веществ, выбрасываемых в воздух, воду или почву (в зависимости от технологии аккумулирования энергии, используемой в СНЭЭ).

4.1.2.12 Требования к готовности и режимам использования

Для СНЭЭ, которые используют в применениях, связанных с обеспечением безопасности, устанавливают следующие требования относительно готовности и режима использования:

- число резервирующих систем;
- максимальная длительность простоя в год;
- минимальный уровень использования системы;
- профилактическое и корректирующее техническое обслуживание.

Примечание — Профилактическое обслуживание — это вид обслуживания, выполняемый для оценки и/или смягчения последствий деградации и уменьшения вероятности отказа устройства. Корректирующее обслуживание — это вид обслуживания, выполняемый после обнаружения неисправности и предназначенный для восстановления устройства в состояние, в котором оно может выполнять требуемую функцию.

4.1.2.13 Требования к экономической эффективности

Для установления требований к экономической эффективности СНЭЭ следует использовать следующие параметры:

- максимальные капитальные затраты;
- максимальные операционные расходы;
- максимальные накладные расходы.

На этапе проектирования данные требования должны быть учтены при выборе технологии аккумулирования энергии, используемой в ПАЭ СНЭЭ.

4.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

4.2.1 Общие положения

В состав требований для подключения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети, установленных в 4.2, входят требования, условия и ограничения энергосистемы/электрической сети, а также правовые и технические/функциональные положения.

Примечание — Требования в части работы СНЭЭ в энергосистеме устанавливаются в соответствии с законодательством об электроэнергетике РФ с учетом правил [2], нормативно-правовыми актами Минэнерго России и национальными стандартами, распространяющимися на объекты электроэнергетики.

4.2.2 Параметры энергосистемы/электросети на предполагаемой ТПСН

При проектировании СНЭЭ, рассчитанной на эксплуатацию в составе энергосистемы/электросети, необходимо учитывать параметры и требования, определяемые правилами функционирования электроэнергетических систем [2] и действующими нормативно-правовыми актами Минэнерго России, которые включают электрические параметры, ограничения, рабочие диапазоны и требования энергосистемы (электросети) на основной ТПСН:

- номинальное напряжение эксплуатации;
- диапазон рабочего напряжения для оборудования;
- временные колебания напряжения;
- номинальная частота;
- непрерывное нормальное изменение частоты;
- временные колебания частоты;
- значение тока и продолжительности короткого замыкания;
- синхронизация выключателя цепи подключения;
- соединение нейтрали;
- защитное заземление;
- индикативные характеристики качества формы волны напряжения;
- требования к защите.

4.2.3 Условия эксплуатации

Требования 4.2.3, не связанные с электрической средой, включают условия эксплуатации СНЭЭ, среди которых следует рассмотреть следующие факторы:

- температура (окружающей среды);
- влажность;
- удары молнии;
- сейсмическая обстановка;
- наводнение/затопление, вода, дождь;
- давление;
- ветер;
- лед и снег;
- проникновение субъектов флоры и фауны (в том числе людей);
- вибрация и резонансные колебания;
- пыль и дым;
- коррозионно-активная атмосфера;
- солевой туман/соленая вода/разъедающие химические вещества;
- пожар (внутренний и внешний);
- внешние источники электромагнитного излучения;
- солнечное облучение/излучение;
- накопление осадков.

В зависимости от места установки на этапе проектирования необходимо учесть требования, характерные для конкретной площадки.

При установлении требований следует учитывать классификацию условий окружающей среды по ГОСТ 15150, а для изделий, ориентированных на экспорт, — [5].

4.2.4 Требования и ограничения со стороны системного оператора энергосистемы или оператора локальной электрической сети

4.2.4.1 Общие положения

Требования и ограничения к работе СНЭЭ, обусловленные архитектурой построения энергосистемы, устанавливают в соответствии с законодательством об электроэнергетике Российской Федерации [1], нормативно-правовыми актами Минэнерго России и национальными стандартами, распространяющимися на объекты электроэнергетики. Дополнительно они подлежат уточнению системным оператором.

Для СНЭЭ, предназначенной для работы в составе локальной электрической сети, допускается установление дополнительных требований по согласованию оператора локальной электрической сети и поставщика СНЭЭ.

Уровень напряжения СНЭЭ должен соответствовать требованиям объектов применения и определен на основании требований к характеристикам, расположению и конкретным условиям работы СНЭЭ.

При выборе ТПСН, к которой будет подключена СНЭЭ, следует учитывать следующие аспекты:

- требования к надежности энергосистемы;
- расчетные условия мощности короткого замыкания;
- мощность нагрузки;
- влияние на КЭ.

4.2.4.2 Профиль мощности энергосистемы в ТПСН

Профиль мощности энергосистемы в ТПСН определяется установившимся режимом и динамическим диапазоном условий частоты и напряжения, в которых СНЭЭ должна оставаться подключенной к ТПСН и обеспечивать требуемые функции и возможности СНЭЭ. Следует указать допустимую блокировку силовой электроники при определенных прерываниях, провалах и перенапряжениях, а также возможности кратковременного превышения частоты согласно ГОСТ Р 59948 и определить сценарии применения. При установлении конкретных требований следует учитывать следующие аспекты:

- рабочие циклы;
- профили мощности;
- вклад тока короткого замыкания;
- вклад в гармоники напряжения/тока;
- способность прохода через периоды отклонения напряжения (ПЧПН/ПВПН);
- способность прохода через периоды отклонения частоты (ПЧПЧ/ПВПЧ);
- передачу активной мощности при сбоях и ее восстановление после устранения сбоя;
- внешнее или внутреннее вспомогательное электропитание;
- точность и допуски значений/измерений;
- требования к мониторингу/данным;
- дополнительные требования энергосистемы и электросети (включая аппаратные и программные интерфейсы).

4.2.4.3 Допустимый диапазон для управления энергией СНЭЭ

Поскольку значение СЭ в начале каждого рабочего цикла должно находиться в пределах установленного диапазона, может потребоваться проведение цикла восстановления, чтобы вернуть СНЭЭ в начальное или конкретное требуемое состояние, когда можно снова выполнить рабочие циклы. Степени свободы в циклах восстановления зависят в основном от требований энергосистемы/электросети и от энергоемкости СНЭЭ, для которой следует указать следующие характерные значения процесса восстановления:

- диапазон допустимой выходной или входной активной мощности;
- минимальную и максимальную продолжительность восстановления;
- диапазон времени, доступного для восстановления СНЭЭ между рабочими циклами;
- возможные требования или ограничения относительно реактивной входной и выходной мощности;
- допустимый диапазон значений частоты;
- максимально допустимые скорости нарастания активной и реактивной мощности;
- допустимый диапазон значений коэффициента мощности энергосистемы на основной ТПСН;
- возможные требования к коэффициенту мощности энергосистемы.

4.2.4.4 Рабочие циклы СНЭЭ

Применение СНЭЭ, как правило, связано с установлением одного или нескольких рабочих циклов, которые СНЭЭ должна выполнять в основной ТПСН для удовлетворения предъявляемых к ней функциональных требований.

Требования к устанавливаемым рабочим циклам включают:

- продолжительность рабочего цикла, ожидаемую частоту их выполнения (количество раз в сутки/неделю/год) и максимальную скважность;
- требуемый профиль активной мощности СНЭЭ на основной ТПСН, включая допустимые диапазоны допуска (максимальное превышение и/или недобор);
- требуемый профиль реактивной мощности СНЭЭ на основной ТПСН, включая допустимые диапазоны допусков (максимальное превышение и/или недобор).

Профиль активной и реактивной мощности на основной ТПСН может включать периоды времени, в течение которых активная и/или реактивная мощность равна нулю. В профилях мощности должна быть указана скорость нарастания активной и реактивной мощности.

4.2.4.5 Срок службы СНЭЭ

Срок службы СНЭЭ должен быть определен с учетом старения всех подсистем и проведения необходимых работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Для установления требований к сроку службы СНЭЭ следует использовать следующие термины по ГОСТ Р 58092.1:

- срок службы;
- расчетный срок службы;
- конец срока службы;
- значения показателей СНЭЭ в конце срока службы.

4.2.4.6 Требования к данным

В целях эксплуатации и планирования работы СОДУ энергосистемы должны поступать оперативные и прогнозные данные из СНЭЭ, например:

- фактическая входная/выходная энергоемкость;
- фактическая входная/выходная мощность;
- прогнозы по входной/выходной мощности, в т. ч. по продолжительности обмена.

4.2.4.7 Безопасность

Для установления требований безопасности для СНЭЭ следует использовать следующие термины по ГОСТ Р 58092.1 и ГОСТ Р 58092.5.1:

- безопасное состояние;
- небезопасное состояние;
- оценка рисков;
- расчет рисков.

4.2.5 Стандарты и национальные нормы

4.2.5.1 Общие положения

СНЭЭ, подключенная к энергосистеме/электрической сети, должна соответствовать национальным нормам и соответствующим национальным стандартам, к которым относят:

- технические регламенты;
- правила автоматизации и коммуникации;
- правила измерения энергии;
- правила устройства электроустановок;
- экологические нормы.

На этапе проектирования следует учесть все требования всех стандартов и национальных норм, влияющих на конструкцию СНЭЭ. При отсутствии стандартов и норм, регламентирующих аспекты, влияющие на безопасность СНЭЭ, надежность и качество работы энергосистемы, изготовитель должен согласовать выявленные важные аспекты с системным оператором в установленном порядке [6], статья 1, пункт 4.

4.2.5.2 Стандарты подключения к энергосистеме и электрической сети

4.2.5.2.1 Нормативно-правовые акты, регламентирующие работу в составе энергосистемы и электрической сети

Обязательные технические требования, которым должна соответствовать СНЭЭ, предназначенная для подключения к энергосистеме/электрической сети, установлены в [2], приказах Минэнерго и в национальных стандартах, которые определяют принципы, регулирующие отношения энергосистемы с СНЭЭ.

4.2.5.2.2 Оценка соответствия СНЭЭ

Для подключения к энергосистеме СНЭЭ конкретных применений должно быть подтверждено ее соответствие установленным требованиям к рабочим характеристикам, например путем проведения предварительной квалификации для получения разрешения на оказание услуг по обеспечению системной надежности [7], статья 5б).

4.2.5.2.3 Выбор уровня напряжения СНЭЭ и ТПСН

Выбор уровня напряжения СНЭЭ и ТПСН должен соответствовать требованиям соответствующих технических правил, требованиям надежности энергосистемы и экономическим требованиям.

Уровень напряжения СНЭЭ должен соответствовать требованиям объектов энергосети, с которыми она должна работать и определяться в соответствии с мощностью, местом применения и конкретными условиями работы СНЭЭ.

При выборе ТПСН следует учитывать;

- требования к надежности энергосистемы;
- расчетные условия мощности короткого замыкания;
- мощность нагрузки;
- влияние на КЭ.

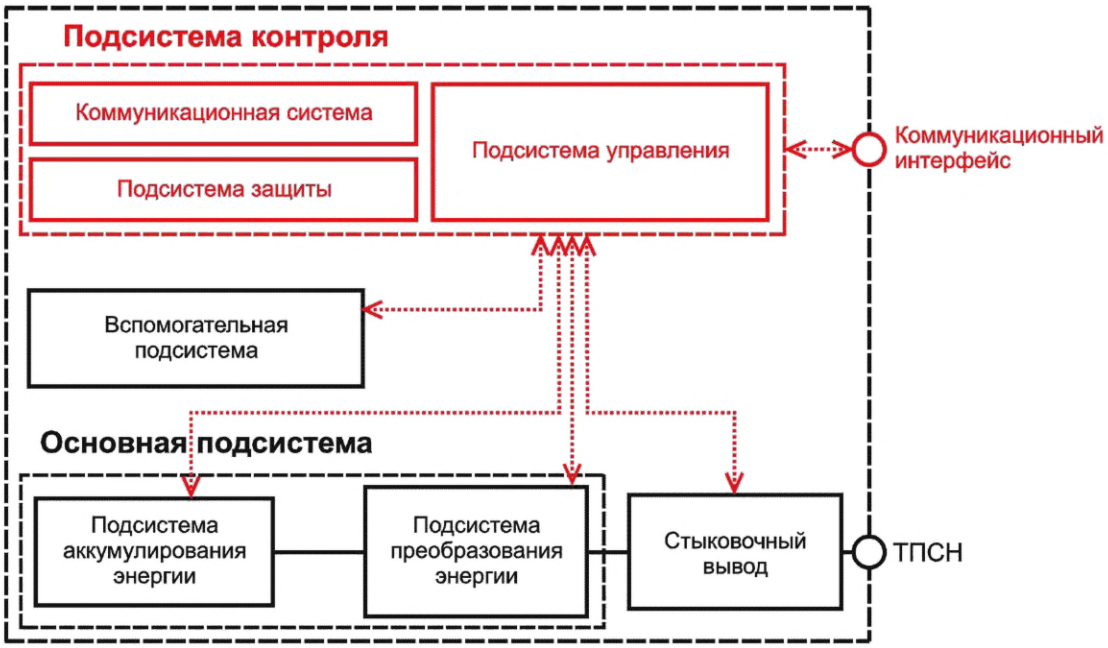
4.3 Конструирование СНЭЭ

4.3.1 Общие положения

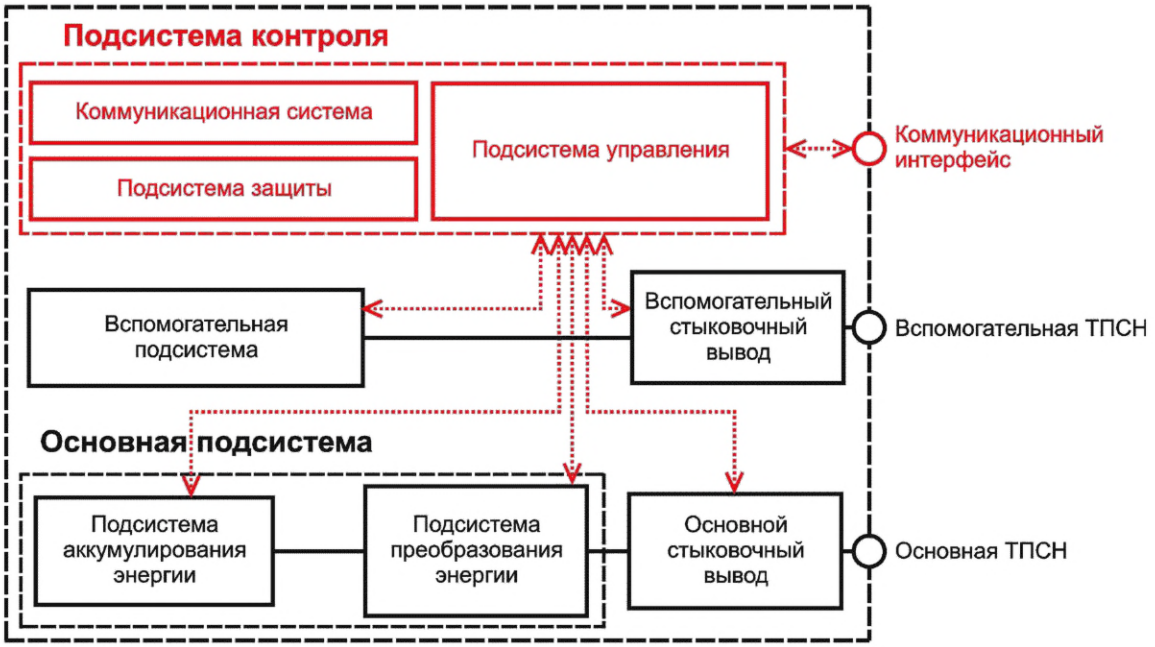
В подразделе 4.3 установлены требования к конструкции СНЭЭ и интеграции с энергосистемой/электрической сетью, а также к работе, управлению, обмену данными, мониторингу и техническому обслуживанию СНЭЭ и их компонентов. Конструирование СНЭЭ включает выбор архитектуры системы и выбор подсистем.

4.3.2 Архитектура СНЭЭ

На рисунке 1, а) и б), приведены примеры архитектуры СНЭЭ с одной ТПСН (с внутренним питанием вспомогательной подсистемы) и с двумя ТПСН (питание вспомогательной подсистемы от другого фидера).



а) СНЭЭ без вспомогательной ТПСН



б) СНЭЭ со вспомогательной ТПСН

Рисунок 1 — Примеры архитектуры СНЭЭ

Требования к подсистемам СНЭЭ установлены в 4.3.3. Для всех подсистем должен быть указан вклад в общую эффективность системы, например эффективность цикла заряд-разряд.

4.3.3 Требования к подсистемам СНЭЭ

4.3.3.1 Общие положения

Для обеспечения соответствия требованиям, предъявляемым к системе, необходимо разделить требования к системе на требования к подсистемам. Основные требования к подсистеме следует устанавливать в общем и независимом от технологий виде. Для учета особенностей подсистем, которые зависят от конкретной примененной технологии, допускается установление дополнительных требований (например, в отношении безопасности или технического обслуживания).

Также для всех подсистем должны быть учтены ограничения по мощности и доступной энергии, условия окружающей среды и другие внутренние/внешние аспекты.

4.3.3.2 Подсистема аккумулирования энергии

Энергоемкость ПАЭ СНЭЭ должна быть оценена соответствующим образом с учетом формы аккумулируемой энергии. ПАЭ определяет нормированную входную и выходную энергию на основной ТПСН, значения активной входной и выходной мощности на основной ТПСН, а также возможную продолжительность подачи активной входной и выходной мощности на основной ТПСН.

Технические характеристики ПАЭ должны соответствовать требуемым на протяжении всего срока службы. Срок службы определяют для конкретных условий эксплуатации, таких как режимы работы (см. ГОСТ Р 58092.1—2021, рисунок А.3), условия окружающей среды, циклы технического обслуживания и т. д.

а) Общие требования

Независимо от применяемой технологии должна быть предоставлена следующая информация.

Для ПАЭ необходимо указать энергоемкость накопителя энергии и максимальную мощность заряда и разряда, поскольку это имеет прямое влияние на всю СНЭЭ.

Для СНЭЭ важным параметром является текущее содержание энергии (на конкретный момент времени). Следует также предоставить метод прогноза для оценки итогового содержания энергии после заряда или разряда с определенной мощностью в течение определенной продолжительности времени.

Должны быть указаны типичные значения срока службы (по возможности отдельно в количестве циклов и в календарных годах). Для проведения сравнения с другими ПАЭ должна быть предоставлена информация о плотности энергии и плотности мощности.

Должна быть предоставлена информация о необходимых циклах обслуживания и ремонта. Также должна быть указана потребность во вспомогательной энергии, если применимо, и сведения о следующих параметрах ПАЭ:

- параметрах эффективности;
- эффективности заряда;
- эффективности разряда;
- саморазряда или «эффективности хранения энергии».

б) Специальные требования

Должны быть указаны требования, специфичные для применяемой технологии аккумулирования энергии. Например, если в определенных рабочих зонах (например, температуры окружающей среды) необходимо снижение мощности заряда или разряда, это должно быть указано. Если необходимо учитывать особые правила для ПАЭ (например, для удаления), это следует указать, так как это может иметь значение для проектирования. Если между ТПСН и ПАЭ предусмотрена гальваническая развязка, то это также должно быть указано.

4.3.3.3 Подсистема преобразования энергии

ППЭ преобразует энергию ПАЭ в электрическую мощность в ТПСН, как правило в выходную мощность переменного тока во время разряда ПАЭ, и входную мощность переменного тока энергосистемы/электрической сети в энергию, подходящую для заряда ПАЭ. Это преобразование выполняется электрическими и/или механическими системами. ППЭ оказывает влияние на характеристики полной мощности СНЭЭ и на КЭ в ТПСН.

Как правило, ППЭ подключают к ПАЭ и к основному стыковочному выводу. Конструктивно ППЭ включает все устройства передачи энергии между стыковочным выводом и ПАЭ (например, силовой трансформатор, синус-фильтр, коммутирующие элементы).

а) Общие требования

Независимо от применяемой технологии должна быть предоставлена следующая информация о параметрах ППЭ:

- параметрах эффективности;
- эффективности при заряде;
- эффективности при разряде.

Следует указать потребность во вспомогательной мощности ППЭ. Если между ТПСН и ПАЭ предусмотрена гальваническая развязка, то это также должно быть указано.

б) Специальные требования

Если есть требования, относящиеся к применяемой технологии преобразования энергии, то их следует указать. Также должны быть указаны тип преобразования (AC/DC, AC/AC, насос/генератор и т. д.) и рабочие диапазоны (например, диапазон напряжения постоянного тока DC или частоты переменного тока AC).

4.3.3.4 Вспомогательная подсистема

Должно использоваться все оборудование, необходимое для выполнения вспомогательных функций СНЭЭ, например ВК и система пожаротушения.

а) Общие требования

Независимо от применяемой технологии должна быть предоставлена информация о структуре вспомогательной подсистемы СНЭЭ и указана общая потребность в мощности, которая потребляется вспомогательной подсистемой для каждого существенного рабочего состояния СНЭЭ и в диапазоне ожидаемого влияния климатических условий (таких, как температура наружного воздуха и солнечное излучение).

Дополнительно должны быть установлены требования в отношении резервирования и наличия бесперебойного источника питания (в случае отключения основного источника питания).

б) Специальные требования

Если есть требования, специфичные для применяемой технологии вспомогательной подсистемы, то эти требования следует указать.

4.3.3.5 Подсистема контроля и управления

В состав СНЭЭ должна входить подсистема контроля и управления. Подсистема контроля, как правило, включает коммуникационную подсистему, подсистему защиты и подсистему управления. На этапе проектирования устанавливают требуемые возможности ДУ и режимы работы, которые будет поддерживать система управления, с учетом применимых требований национальных норм энергосистемы.

СНЭЭ должна быть сконструирована таким образом, чтобы отключение питания не влияло на ее безопасность и способность к последующему холодному запуску. Следует учитывать требования по максимальной продолжительности отключения питания (например, необходимо разработать конкретное резервное энергоснабжение). Между поставщиком и покупателем СНЭЭ должна быть согласована концепция безопасного выключения и безопасного отключения системы.

Все функции защиты должны быть описаны с указанием назначения и значений уставок срабатывания.

а) Общие требования

Пример архитектуры СНЭЭ, приведенный на рисунке 1, показывает подсистему контроля как единую систему. При проектировании и установке СНЭЭ, как правило, предусматривают отдельные системы управления: ПАЭ и ППЭ. Для управления внутренней работой СНЭЭ и взаимодействия с энергосистемой допускается применение СУЭ. На рисунке 2 представлена детализованная структура подсистемы управления, включая подсистемы управления ПАЭ, ППЭ и СУЭ. В зависимости от конструкции эти подсистемы могут быть представлены как отдельные системы или как функциональные части в рамках единой системы.

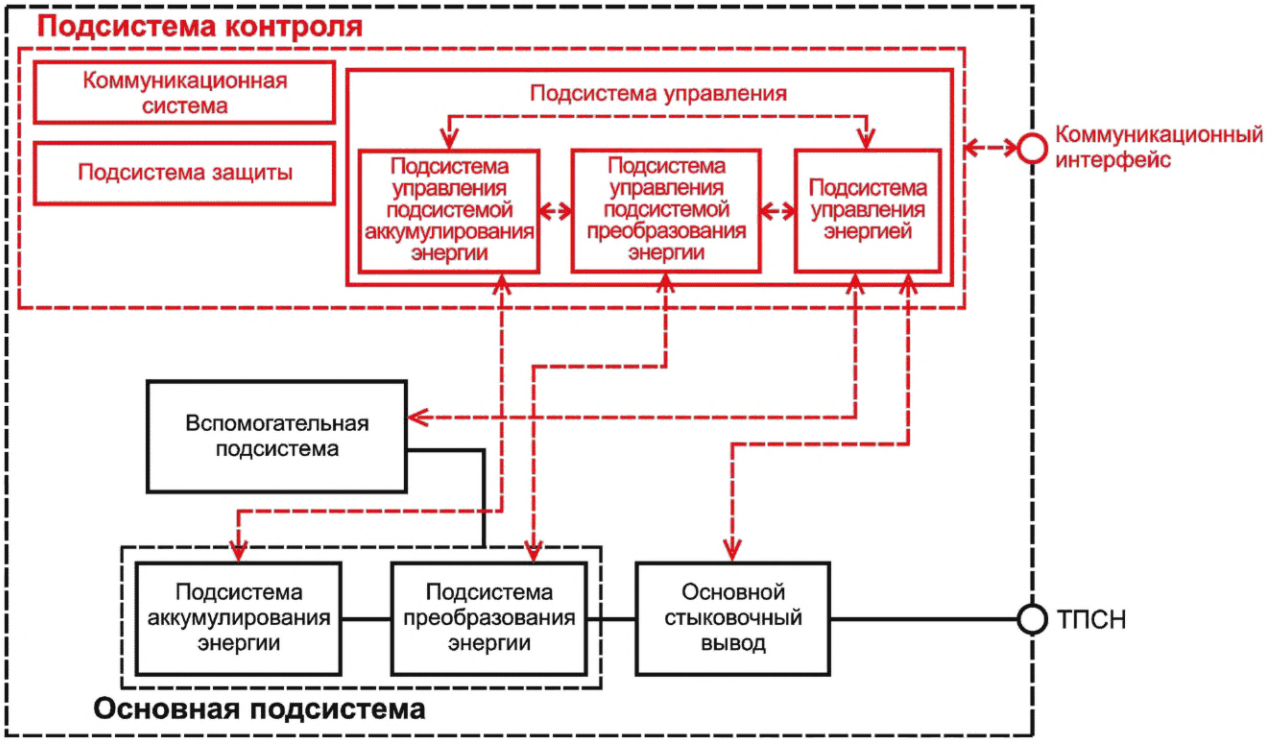


Рисунок 2 — Пример архитектуры СНЭЭ с детализацией структуры подсистемы управления

Функциональные требования к системе управления для ПАЭ, ППЭ и к СУЭ определяют в отношении следующих функций:

- подсистемы управления ПАЭ:
  - измерения,
  - расчета,
  - управления,
  - связи,
  - защиты;
- подсистемы управления ППЭ:
  - измерения,
  - управления,
  - защиты,
  - связи,
  - записи,
  - мониторинга;
- СУЭ:
  - управление: планирование, управление подсистемами СНЭЭ;
  - коммуникация: связь с подсистемами СНЭЭ и энергосистемой;
  - расчет: прогноз изменения нагрузки, мощность заряда/разряда, статистика;
  - мониторинг: входная/выходная мощность, состояние основных подсистем.

б) Специальные требования

Если есть требования, специфичные для применяемой технологии подсистемы контроля и управления, то эти требования следует указать.

4.3.4 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

4.3.4.1 Общие соображения

В настоящем подпункте представлены схема подключения и структура всей системы, используемой для реализации применения.

СНЭЭ, предназначенная для эксплуатации в составе ЕЭС, должна соответствовать [2], ГОСТ Р 55890, ГОСТ Р 59948 и иным НПА, регламентирующим ее работу.

Должно быть описано подключение СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети, включая интерфейс коммутационного устройства, ожидаемые возможности отключения и обособления, координацию схемы защиты (функции защиты, длительность отключения и т. д.) и размещение измерительных трансформаторов.

Чтобы реализовать эффективную работу и мониторинг СНЭЭ с точки зрения энергосистемы, СНЭЭ должна эксплуатироваться в соответствии с ее нормированными характеристиками и имеющимися возможностями посредством обмена информацией с локальными и/или удаленными АСДУ в соответствии с ГОСТ Р 59947. СОДУ должны иметь возможность прямо или косвенно управлять СНЭЭ.

Если СНЭЭ используется обособленно или не предназначена для работы в составе АСДУ, взаимодействие между ней и внешней сетью не требуется. При установке СНЭЭ совместно с РИЭ необходимо взаимодействие с другими РИЭ, такими как фотоэлектрические установки, ветряные турбины и т. д., и координация их работы или принятие от них команд на координацию. Допускается использование протоколов информационного обмена, установленных в ГОСТ Р 59947, при условии установки ключа выбора режима управления присоединением в положение «местное» или иных протоколов, не влияющих на работу информационной модели электроэнергетики согласно серии стандартов ГОСТ Р 58651.

4.3.4.2 Дополнительные компоненты и требования

Следует учитывать структуру и требования дополнительных компонентов системы; например, должен быть предусмотрен быстрый переключатель или байпасная цепь.

4.3.5 Функционирование и управление СНЭЭ

4.3.5.1 Общие положения

СНЭЭ, предназначенная для работы в составе энергосистемы, должна быть способна обмениваться информацией с СОДУ по ГОСТ Р 59947, контролироваться и управляться им в соответствии с ГОСТ Р 59948. Для обеспечения безопасной работы энергосистемы и СНЭЭ СНЭЭ должна соответствовать следующим требованиям:

- параметры и команды, которыми обмениваются СНЭЭ и АСДУ, должны быть согласованы с системным оператором и находиться в соответствии с ГОСТ Р 59947;
- в зависимости от требований энергосистемы СНЭЭ должна принимать и исполнять команды по управлению и регулированию, отправленные СОДУ.

Для определения требований к работе и управлению СНЭЭ (например, для модели данных СНЭЭ или для режимов работы и управления) следует использовать обмен данными, установленный в действующих национальных стандартах (например, ГОСТ Р 59947, серия стандартов ГОСТ Р 58651). При разработке СНЭЭ, предназначенных на экспорт, следует руководствоваться требованиями [8] и рассмотреть другие стандарты, действующие в стране поставки.

Режимы управления СНЭЭ следует выбирать в соответствии с конкретными требованиями в различных сценариях применения.

При установлении требований следует использовать следующие термины, касающиеся функционирования и управления СНЭЭ, установленные в ГОСТ Р 58092.1:

- рабочее состояние;
- состояние ожидания;
- остановленное состояние;
- рабочие сигналы;
- выключение (сигнал);
- рабочая процедура;
- аварийная остановка;
- рабочий режим;
- преднамеренное выделение на обособленную работу;
- непреднамеренное обособление;
- управление потоком активной мощности;
- контроль тока фидера;
- регулирование частоты энергосистемы;
- регулирование напряжения в КП;
- смягчение последствий снижения КЭ;
- управление потоком реактивной мощности;
- гибридная [аварийная] функция;
- смягчение последствий исчезновения напряжения.

4.3.5.2 Рабочие состояния подсистемы управления

Для управления подключенной к энергосистеме/электрической сети СНЭЭ имеются различные типы рабочих состояний, в которых СНЭЭ может работать с различными видами управления активной мощностью, например:

- регулирование частоты энергосистемы;
- управление в обособленном режиме и возможность холодного запуска;
- ограничение активной мощности;
- ручное управление активной мощностью;
- управление активной мощностью по модели;
- автоматическое управление следования за нагрузкой;
- режимы управления мощностью для регулирования напряжения энергосистемы/электрической сети;
- режимы управления постоянным значением;
- режимы управления по напряжению;
- режимы управления, связанные с активной мощностью;
- снижение активной мощности в зависимости от напряжения.

4.3.6 Мониторинг

4.3.6.1 Общие положения

Должен быть предусмотрен интерфейс для обмена данными мониторинга, с помощью которого СОДУ должен иметь возможность контролировать важные для функционирования значения параметров СНЭЭ:

- параметры для ПАЭ: напряжение, ток, температура, ключевые параметры или показатели, связанные с технологией (например, скорость вращения маховика, момент инерции ротора и т. д.);
- параметры для ППЭ: активная мощность, реактивная мощность, частота, напряжение, ток, режим работы и т. д.

Интерфейс мониторинга СНЭЭ должен соответствовать следующим требованиям:

- параметры СНЭЭ, подлежащие мониторингу, должны быть согласованы;
- в зависимости от функциональных требований данные мониторинга должны предоставляться по запросу СОДУ.

Дополнительно к контролю внутренних значений СНЭЭ должна непосредственно контролировать значения электрических параметров ТПСН (например, напряжение, ток, обмен активной и реактивной мощностью или доступная энергия) и статус оборудования СНЭЭ (например, коммутационные устройства или положения переключателей регулировочных ответвлений трансформатора). Для организации мониторинга следует использовать действующие национальные стандарты, например серию стандартов ГОСТ Р 58651. Для СНЭЭ, предназначенных для экспорта, следует руководствоваться [8], а также другими стандартами, действующими в стране поставки.

4.3.6.2 Общие требования

Информация должна быть предоставлена независимо от применяемой технологии. В этом подпункте указывают требования к данным для мониторинга СНЭЭ.

4.3.6.3 Специальные требования

Если существуют дополнительные требования, относящиеся к мониторингу применяемой СНЭЭ, то эти требования следует указать здесь, например: для ПАЭ или ППЭ.

4.3.7 Техническое обслуживание СНЭЭ

В настоящем подпункте должна быть представлена информация о требованиях к объему и цикличности технического обслуживания СНЭЭ, длительности простоев при его проведении, например: периодические проверки ПАЭ или ППЭ.

Обслуживание СНЭЭ и их подсистем, как правило, зависит от вида использованных в них технологий. Эти требования следует указать здесь.

4.3.8 Коммуникационный интерфейс СНЭЭ

Устанавливают требования к обмену информацией СНЭЭ с другими системами, которые, как правило, включают связь с энергосистемой, мониторинг, управление, измерение и запись неисправностей. Чтобы сохранить функциональную совместимость с энергосистемой, интерфейсы должны соответствовать моделям данных и коммуникационным сервисам, соответствующим стандартам ГОСТ Р 58651 (все части), ГОСТ Р 59947.

При работе со своими подсистемами и энергосистемой СНЭЭ должна поддерживать синхронизацию времени и использовать стандартные протоколы связи, установленные в ГОСТ Р 59947. Информа-

ционная модель данных должна учитывать требования серии стандартов ГОСТ Р 58651. При разработке СНЭЭ, предназначенных на экспорт, следует руководствоваться [8] и рассмотреть другие стандарты, действующие в стране поставки.

4.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

4.4.1 Общие положения

СНЭЭ должны быть характеризованы с учетом всех требований 4.1, 4.2 и 4.3.

4.4.2 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

4.4.2.1 Общие положения

При расчете энергетических параметров СНЭЭ должны быть учтены все требования и ограничения 4.1—4.3. На этапе проектирования следует учитывать снижение рабочих характеристик СНЭЭ в течение срока службы, а также необходимую периодичность технического обслуживания и условия эксплуатации.

При расчете энергетических параметров СНЭЭ используют требуемые рабочие циклы, периоды времени восстановления и срок службы. СНЭЭ, рассчитанная по этим показателям, должна обеспечивать их выполнение при определенной установленной стратегии работы.

Для обеспечения суммарных функциональных возможностей СНЭЭ необходимо рассмотреть все (совместно выполняемые) рабочие циклы, а также циклы восстановления, чтобы определить их характерные значения.

4.4.2.2 Требования к расчету энергетических параметров и проектированию

При выполнении процесса расчета энергетических параметров и проектирования СНЭЭ должны быть учтены следующие аспекты:

- параметры мощности и энергоемкости;
- различные стратегии управления;
- срок службы и старение компонентов и подсистем, характеристики заряда-разряда и циклы заряда-разряда.

В целом в процессе проектирования и конструирования СНЭЭ должны быть изучены и учтены все требования 4.1—4.3.

4.4.2.3 Обзор процесса проектирования и конструирования СНЭЭ

На рисунке 3 показаны основные аспекты, которые следует учесть в процессе проектирования и конструирования СНЭЭ.

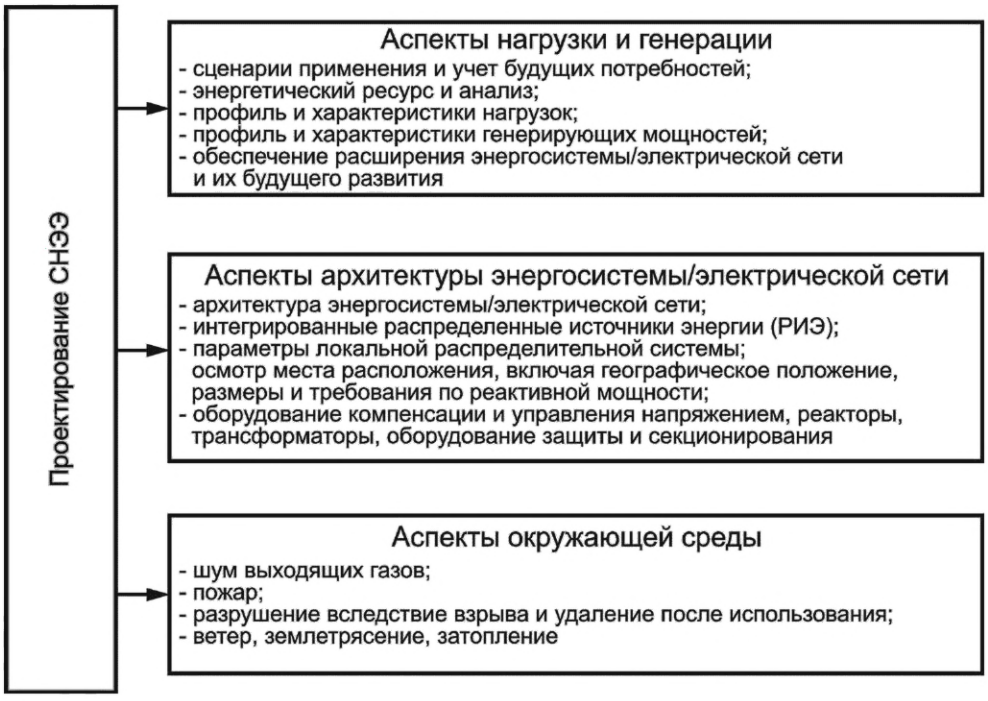


Рисунок 3 — Обзор аспектов проектирования и конструирования СНЭЭ

Как правило, СНЭЭ планируют с применением нескольких сценариев использования. На рисунке 4 приведен пример такого процесса. Основные процедуры включают:

- определение функциональной цели: требование к диспетчерскому управлению мощностью и минимальному количеству энергии СНЭЭ;
- учет ограничений: баланс энергии СНЭЭ, баланс мощности электроэнергетической системы, рабочие пределы СЭ и т. д.

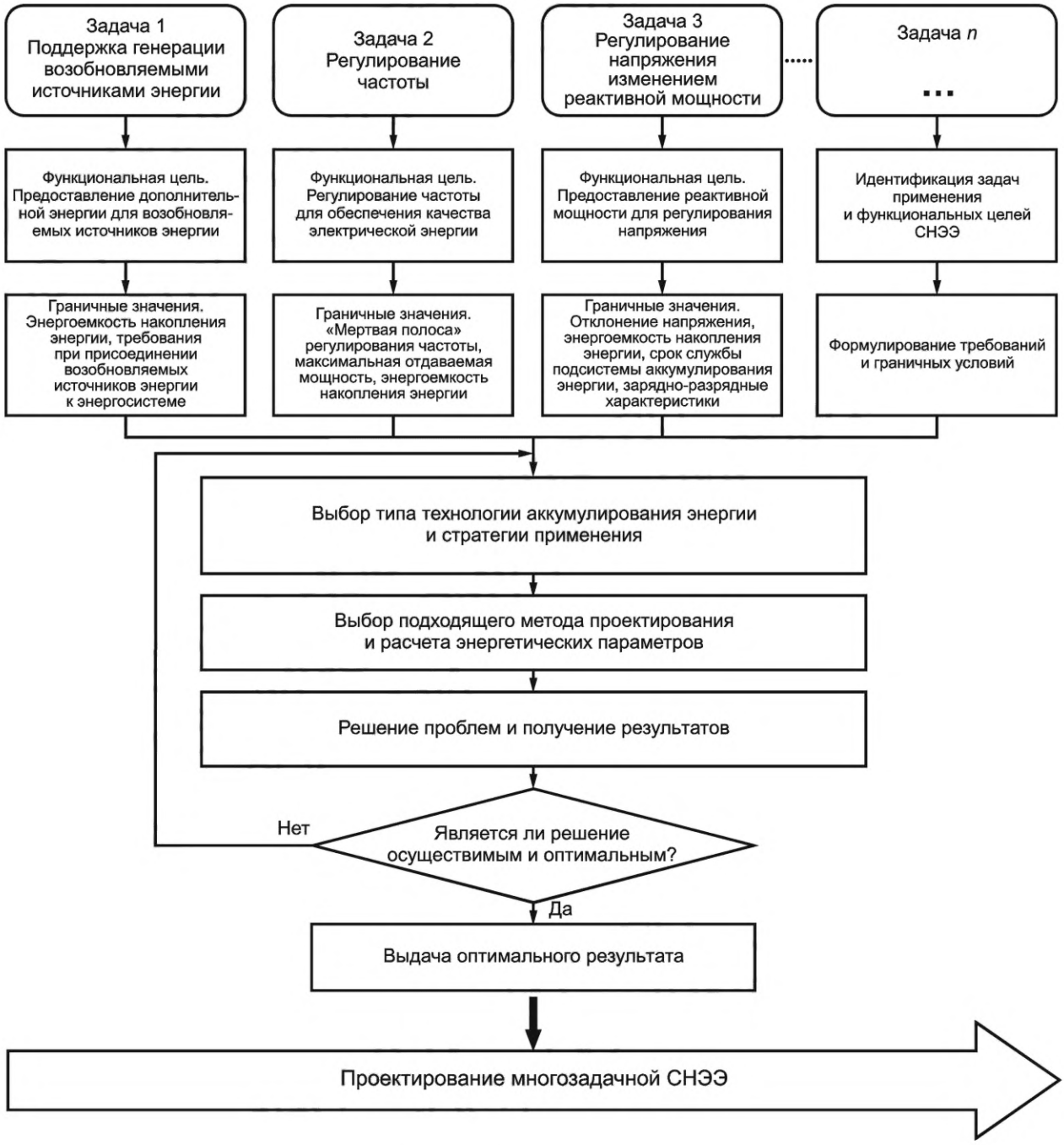


Рисунок 4 — Пример процесса проектирования многозадачной СНЭЭ

Типичные многозадачные применения СНЭЭ показаны в таблице 1.

Таблица 1 — Типичные многозадачные применения СНЭЭ

Функции применения	Типичные применения				
	Интеграция ВИЭ	Сторона генерации мощности	Сторона передачи и распределения	Сторона потребителя	Микросеть с распределенной генерацией
Регулирование частоты	√	√	√	√	
Регулирование напряжения реактивной мощностью	√		√		
Нивелирование провалов напряжения				√	
Регулирование выработки электрической энергии ВИЭ	√				√
ДКМ	√	√	√		√
Срезание пиков		√	√	√	
Холодный запуск		√			√
Резервное энергоснабжение		√	√	√	√

4.4.3 Характеристики и ограничения СНЭЭ

4.4.3.1 Общие положения

Результатами расчета энергетических параметров СНЭЭ являются характеризующие показатели СНЭЭ. В листах данных должны быть указаны следующие показатели и информация:

- нормированное и номинальное напряжение;
- нормированная и номинальная частота;
- параметры, характеризующие мощность:
  - нормированная активная поглощаемая и отдаваемая мощность,
  - нормированная полная мощность,
  - нормированная реактивная мощность,
  - нормированный коэффициент мощности,
  - нормированная продолжительность заряда,
  - нормированная продолжительность разряда,
  - кратковременная максимальная активная поглощаемая и отдаваемая мощность,
  - кратковременная максимальная реактивная мощность,
  - максимальное изменение мощности в единицу времени,
  - удельная мощность/плотность мощности (на массу/на объем),
  - длительность времени отклика (длительность времени между запросом на отдачу мощности и отдачей 50 % накопленной энергии);
- характеристики переходной функции на ступенчатое возмущение:
  - длительность времени отклика на единичное ступенчатое возмущение,
  - временные параметры отклика,
  - скорость изменения выходной переменной,
  - длительность переходного процесса;
- величины, характеризующие энергоемкость:
  - нормированная энергоемкость в начале и в конце срока службы,
  - энергоемкость при нормированной активной входной/выходной мощности в ТПСН,
  - удельная энергия (на массу/на объем),
  - степень энергосодержания,
  - глубина разряда,
  - эффективность инвестиционных затрат по валовой отданной энергии;
- величины, характеризующие энергоэффективность:
  - нормированная эффективность заряда-разряда в начале и в конце срока службы,

- эффективность заряда-разряда на полную величину нормированной энергоемкости при нормированной активной входной/выходной мощности в ТПСН;
- величины, характеризующие подсистему аккумулирования энергии:
  - «установленная энергоемкость» в отношении процедур измерения энергоемкости ПАЭ,
  - скорость саморазряда;
- величины, характеризующие вспомогательную подсистему:
  - мощность потребления вспомогательной подсистемы,
  - номинальная частота вспомогательной подсистемы,
  - нормированный коэффициент мощности вспомогательной подсистемы,
  - номинальное напряжение вспомогательной подсистемы,
  - нормированная полная мощность вспомогательной подсистемы,
  - нормированное энергопотребление вспомогательной подсистемы,
  - нормированное энергопотребление вспомогательной подсистемы в режиме ожидания;
- величины, характеризующие срок службы СНЭЭ:
  - значения параметров в конце срока службы;
- величины, характеризующие использование (основания для проектирования):
  - рабочий цикл;
  - КПД рабочего цикла в конце срока службы;
  - длительность восстановления;
  - эквивалентное количество полных циклов в сутки/год;
  - ожидаемый срок службы;
  - устойчивость к циклированию;
- величины, характеризующие контрольные условия окружающей среды:
  - диапазон температуры окружающей среды;
  - влажность;
- величины, характеризующие точку присоединения:
  - основная;
  - вспомогательная.

Как правило, нормированное значение величины используют для целей детализации характеристик, проявляемых при определенном наборе условий работы компонента, устройства, оборудования или системы. При определении нормированных значений для целей проектирования СНЭЭ должны быть приняты во внимание критические рабочие пределы диаграммы мощности, снижение энергоемкости вследствие старения, измененные условия окружающей среды и другие ограничивающие факторы. Все нормированные значения, используемые для целей проектирования, должны быть значениями, относящимися к концу срока службы.

Как правило, потребление вспомогательной энергии изменяется в течение срока службы СНЭЭ и, следовательно, должно оцениваться для всего срока службы устройства и для всего диапазона условий окружающей среды, ожидаемых на месте установки. Также следует учитывать влияние на общую эффективность СНЭЭ экстремальных условий окружающей среды.

Определения значений параметров в конце срока службы приведены в ГОСТ Р 58092.1. Метод измерения потребления вспомогательной энергии установлен в ГОСТ Р 58092.2.

4.5 Срок службы СНЭЭ

4.5.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассмотрен срок службы СНЭЭ включая начальную и текущую оценку рабочих характеристик, а также аспекты мониторинга, технического обслуживания, диагностики и вывода из эксплуатации.

4.5.2 Установка СНЭЭ

Установка СНЭЭ, как правило, зависит от технологии; например, требования безопасности для электрохимических СНЭЭ установлены в [9]. Общие сведения по установке СНЭЭ также приведены в ГОСТ Р 58092.3.1.

Должны быть рассмотрены требования, относящиеся к конкретной площадке, такие, как:

- соблюдение правовых и специальных строительных норм;
- соответствие национальным нормам (например, минимальные расстояния до жилых домов и дорог);

- соблюдение электрических норм (например, соблюдение минимальных электрических зазоров или обеспечение соответствующих точек заземления, изоляции, электрического экранирования);
- соответствие стандартам по установке электрического оборудования (например, для кабелей и соединительных выводов);
- соблюдение юридических и специальных требований безопасности;
- соответствие законодательным и особым экологическим требованиям;
- обеспечение доступности для людей и транспортных средств;
- предоставление доступа и места для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту, включая место для хранения оборудования, обеспечивающее безопасное обращение (при необходимости);
- условия эксплуатации;
- установка ограничений и контроля доступа [например, предотвращение доступа посторонних лиц или несанкционированного обмена данными (кибербезопасность)] (при необходимости);
- использование негорючих и/или ограниченно горючих материалов (например, согласно ГОСТ Р ИСО 5660-1) (при необходимости);
- установка соответствующей системы пожаротушения/обнаружения возгорания (при необходимости);
- возможное разделение подсистем (например, помещение для размещения аккумуляторных батарей, отделенное от другого электрического оборудования);
- интеграция соответствующих систем термокондиционирования; может потребоваться соблюдение специфических особенностей технологии, например для батарейных систем (при необходимости).

4.5.3 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

4.5.3.1 Общие требования

Поставщик СНЭЭ должен предоставить необходимую информацию о ее рабочих характеристиках для обеспечения того, чтобы потенциальные пользователи (например, служебная программа) имели достаточную информацию для оценки рабочих характеристик системы. Должны быть предоставлены и совместимы с применением требования к техническому обслуживанию и значению параметров в конце срока службы.

Оценка рабочих характеристик СНЭЭ, подключенных к энергосистеме/электрической сети, должна включать в себя испытание нормированной входной и выходной мощности, энергоемкости, длительности времени отклика, энергоэффективности и эффективности ППЭ, возможности управления мощностью, отклика на частоту или напряжение, поддержки КЭ, функций защиты и повторного подключения и т. д.

Испытания СНЭЭ — по ГОСТ Р 58092.2.1.

4.5.3.2 Приемочные испытания на месте установки

В соответствии с ГОСТ Р 58092.1 ПИМ — это действия на месте установки СНЭЭ для подтверждения того, что она соответствует техническим условиям и инструкциям по установке.

Перед ПИМ допускается проведение ПИЗ. В соответствии с ГОСТ Р 58092.1 ПИЗ — это заводские мероприятия, демонстрирующие, что СНЭЭ, подсистемы, компоненты и дополнительно поставляемые системы/устройства соответствуют техническим условиям.

4.5.3.3 Периодическая оценка характеристик и оценка на основе событий

Следует проводить периодические испытания и проверки, которые, как правило, включают:

- проверку работоспособности мониторинга;
- проверку и запись условий работы функций СНЭЭ, таких как нормированная мощность и энергоемкость, характеристики заряда и разряда, длительность времени отклика, энергоэффективность и т. д. в соответствии с фактическими потребностями;
- частичную и полную проверку общих и специальных защитных функций СНЭЭ;
- проверку рабочей среды СНЭЭ (например, системы пожаротушения, вентиляции, освещения и регулирования температуры).

После восстановления, модернизации или обновления СНЭЭ должны быть повторно выполнены ПИМ или должен быть проведен иной согласованный объем испытаний. Помимо контрольных испытаний, как правило, проводят функциональные испытания, например в отношении регулирования частоты, аварийного перезапуска/холодного запуска, регулирования напряжения или поддержки КЭ.

4.5.4 Функционирование и управление СНЭЭ

4.5.4.1 Общие положения

Если СНЭЭ подключена к энергосистеме, ее работа должна соответствовать правилам и требованиям, касающимся работы энергосистемы [2] и другим соответствующим действующим правилам, нормам и стандартам.

4.5.4.2 Управление активной мощностью СНЭЭ

Подключенные к энергосистеме/электрической сети СНЭЭ, являющиеся объектами диспетчеризации, должны следовать принципам иерархического управления и единой диспетчеризации в соответствии с ГОСТ Р 59947, а также управлять своими мощностями заряда и разряда в соответствии с командами СОДУ. Согласованный рабочий цикл СНЭЭ должен быть связан с ожидаемым рабочим профилем энергосистемы. Время восстановления СНЭЭ должно быть предоставлено СОДУ. СНЭЭ должна соответствовать требованиям, установленным СОДУ в отношении длительности времени отклика.

Если подключенные к энергосистеме СНЭЭ участвуют в регулировании частоты или напряжения или других системных услугах в соответствии с командами СОДУ, длительность их реакции в отношении перетока активной мощности не должна превышать установленных значений.

Для СНЭЭ, участвующих в обеспечении резервного электроснабжения, в случае отказа электрической сети и отключения электроэнергии должно обеспечиваться энергоснабжение нагрузок в соответствии с командами СОДУ по ГОСТ Р 59947—2021. В случае аварийной ситуации длительность работы на нормированной активной выходной мощности не должна быть менее заранее определенной продолжительности (например, 15 или 30 мин). СОДУ должен иметь возможность ограничить количество энергии, обмениваемой между СНЭЭ и электрической сетью.

Отклонение между заданным и фактическим значениями выходной активной мощности СНЭЭ не должно превышать заранее заданного значения (например, 2 %).

СНЭЭ, эксплуатирующиеся совместно с ВИЭ (СЭС и ВЭС), дополнительно должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 59949—2021.

4.5.4.3 Управление реактивной мощностью СНЭЭ

Коэффициент мощности СНЭЭ, подключенной к энергосистеме/электрической сети, должен соответствовать требованиям к КЭ по ГОСТ 32144.

Если СНЭЭ необходимо регулировать как активную, так и реактивную мощность, необходимо установить приоритеты, например: активная мощность должна иметь более высокий приоритет, чем реактивная мощность.

Если подключенные к энергосистеме/электрической сети СНЭЭ участвуют в регулировании напряжения энергосистемы/электрической сети в соответствии с командами СОДУ, длительность их реакции в отношении реактивной мощности не должна быть более заранее определенного значения (например, 200 мс, 10 циклов).

Отклонение между заданным и фактическим значениями выходной реактивной мощности СНЭЭ не должно превышать заранее заданного значения (например, 5 %).

СНЭЭ, эксплуатирующиеся совместно с ВИЭ (СЭС и ВЭС), дополнительно должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 59949.

4.5.4.4 Аварийное реагирование при отказе СНЭЭ или неисправности энергосистемы/электрической сети

Если СНЭЭ оказалась в ненормальном рабочем или аварийном состоянии, должны быть исследованы причины и приняты соответствующие меры для обеспечения безопасности оборудования.

Допускается наличие двух планов аварийного реагирования:

а) в случае ненормальных условий работы:

- при системном сбое в энергосистеме СНЭЭ должна остановиться; дальнейшие операции должны выполняться в соответствии с командами СОДУ;

- если во время работы СНЭЭ возникает какое-либо отклонение от нормы, например срабатывание сигнализации или защитных действий, все компоненты СНЭЭ должны быть последовательно проверены, по отдельности, чтобы гарантировать ее целостность;

- при предупредительных сигналах нет необходимости немедленно отключать СНЭЭ; вместо этого должен осуществляться мониторинг работы СНЭЭ в режиме реального времени, а также следует организовать осмотр и проверку на месте.

б) при авариях:

- в случае серьезных аварий во время работы (например, пожар, взрыв, стихийное бедствие) следует выполнить аварийный останов, отключить размыкатель цепи и проинформировать ответственных лиц в соответствии с национальными правилами;

- для проведения осмотра на месте и принятия мер в соответствии с типом аварии организуют соответствующий персонал и обеспечивают меры, которые могут включать:
  - проверку всего оборудования, выявление сломанных деталей и проведение их ремонта или замены;
  - проверку коммуникационного интерфейса;
  - выполнение контрольных испытаний;
  - проверку, не вышли ли важные рабочие параметры (такие, как ток заряда и разряда, напряжение, температура и другие параметры) за пределы нормы;
  - проверку, отправила ли система пожаротушения сигнал пожарной тревоги;
  - проверку, нет ли на оборудовании следов копоти или обгорелых мест;
  - проверку, не повреждена ли ПАЭ и нет ли сигналов об ошибках;
  - проверку, не повреждена ли подсистема управления и нет ли ошибок.

4.5.5 Мониторинг СНЭЭ

4.5.5.1 Общие положения

Данные мониторинга СНЭЭ должны предоставляться в энергосистему периодически или по запросу в соответствии с серией стандартов ГОСТ Р 58651. Отслеживаемые данные должны регистрироваться по событию или периодически. Контролируемые данные должны периодически собираться, сортироваться и анализироваться для принятия решения о необходимости сервисного или технического обслуживания. В приложении Б представлена дополнительная информация о назначении пользователям разрешений в различных состояниях мониторинга и обслуживания.

4.5.5.2 Мониторинг взаимодействия СНЭЭ с энергосистемой

Необходимо контролировать следующие параметры при взаимодействии СНЭЭ с энергосистемой:

- напряжение и ток в ТПСН;
- активную и реактивную мощности, обмениваемые между СНЭЭ и энергосистемой.

4.5.5.3 Контроль коммутационных устройств СНЭЭ

Система мониторинга должна соответствовать требованиям электросетевой связи в отношении релейной защиты, автоматических устройств безопасности, систем автоматизации, диспетчерских устройств и других услуг в соответствии с ГОСТ Р 59948. Данные контролируемых коммутационных устройств включают:

- положение переключателя регулировочных ответвлений трансформатора, состояние переключения автоматических выключателей внутри СНЭЭ;
- положение главного переключателя регулировочных ответвлений трансформатора, состояние переключения автоматических выключателей на ТПСН.

4.5.6 Техническое обслуживание СНЭЭ

4.5.6.1 Общие положения

Дополнительно к сервисному обслуживанию, ремонту или замене необходимых деталей техническое обслуживание включает также функциональные проверки. Общие требования к техническому обслуживанию включают:

- проверку и запись переданных данных, а также обмен данными между подсистемой управления СНЭЭ и всеми остальными подсистемами, чтобы убедиться, что они функционируют должным образом;
- проверку срабатывания сигнализации и защиты;
- проверку функционирования коммуникационной системы, чтобы убедиться, что связь с системой управления верхнего уровня удовлетворительна;
- проверку, нормально ли работают СНЭЭ и ее подсистемы, например путем проверки аварийных и предупредительных сигналов и проверки обмена данными;
- периодическую проверку подсистем СНЭЭ (управления, аккумулирования и преобразования энергии) в соответствии с требованиями, зависящими от технологии;
- проверку правильности и надежности подключения подсистем и надежности заземления;
- обеспечение всех рабочих параметров и измеряемых величин СНЭЭ и ее подсистем в пределах нормального диапазона;

- проверку соответствия условий окружающей среды (например, температуры и влажности окружающей среды) эксплуатационным требованиям каждой подсистемы;
- своевременное принятие соответствующих мер для осмотра и ремонта в случае ненормальной работы или отказа;
- сбор, анализ и проверку данных СНЭЭ;
- проверку функций контроля и регулирования СНЭЭ:
  - плановое контрольное испытание;
  - испытание после капремонта и обновления;
  - проверку защит СНЭЭ;
  - обследование операционной среды СНЭЭ;
- замену оборудования, срок службы которого истек или скоро истечет.

4.5.6.2 Периодическое обслуживание

Периодическое обслуживание СНЭЭ должно включать:

- проведение технического обслуживания и эксплуатационных испытаний СНЭЭ в соответствии с требованиями руководств изготовителя и т. д., с использованием соответствующих методов и периодичности;
- проведение обслуживания в соответствии с составленными планами технического обслуживания (осмотр, ввод в эксплуатацию), включающими действия по техническому обслуживанию;
- подготовку отчета о техническом обслуживании, включающего следующую информацию:
  - дата создания отчета о техническом обслуживании;
  - ответственное лицо(а);
  - проведенные действия;
  - документация по выполненным работам по техническому обслуживанию (визуальный осмотр, поддержание состояния установки, поддержание состояния защиты);
- записи о всех выявленных несоответствующих условиях, включая любые замененные части, и предпринятые корректирующие действия.

СНЭЭ, обеспечивающая резервное электроснабжение, для обеспечения надежности работы должна быть проверена на работу в обособленном от электросети режиме один раз в месяц.

4.5.6.3 Общие требования к обслуживанию подсистемы аккумулирования энергии

Общие требования к обслуживанию ПАЭ должны включать следующие пункты.

а) Общий осмотр:

- ПАЭ должна иметь полную паспортную табличку, предоставленную изготовителем;
- стеллажи, устанавливаемые в ПАЭ, не должны быть деформированы. Металлические стойки и основания должны быть надежно заземлены. Заземляющее соединение должно быть плотно закреплено и должно быть проверено его сопротивление;
- главная цепь ПАЭ должна быть подключена правильно и надежно, а устройства теплоотвода/вспомогательного нагрева должны работать нормально;
- ПАЭ должна иметь все предусмотренные защитные функции. Перед зарядом-разрядом ПАЭ должны быть определены соответствующие требования к защите, такие как пороговые значения параметров.

б) Контрольная проверка:

- помещение ПАЭ или контейнер, в котором она размещена, прежде чем дежурный персонал войдет в него, следует проветрить;
- температура и влажность в помещении ПАЭ или контейнере, в котором она размещена, должны быть в пределах рабочего диапазона. Осветительное оборудование должно быть исправно и функционировать;
- оборудование для контроля температуры, такое как ВК, должно находиться в рабочем диапазоне;
- проверяют изоляцию токоведущих частей;
- проверяют заземление металлического корпуса и опоры;
- проверяют вентиляционное оборудование;
- проверяют безопасное рабочее пространство;
- проверяют осветительное оборудование.

в) Устранение нарушений и неисправностей:

- если ПАЭ чрезмерно разряжена или заряжена, закорочена и т. д., ее следует остановить для проверки;

- если напряжение ПАЭ выходит за пределы, установленные изготовителем, должны быть предприняты необходимые корректирующие действия, как указано в эксплуатационной документации для таких случаев. Не следует проводить специальные заряды или разряды, так как это может привести к аварии. По мере повторения заряда/разряда ПАЭ, особенно систем на основе батарей, напряжение компонентов ПАЭ (то есть элементов/модулей батареи в батарейной системе) имеет тенденцию расхождения параметров. В системе на основе батарей необходимо проведение процесса балансировки составляющих аккумуляторов;

- если в ПАЭ возникает ненормальная ситуация (такая, как задымление, пожар или взрыв), необходимо оперативно эвакуировать находящийся рядом персонал и немедленно принять меры в соответствии с планом действий в чрезвычайных ситуациях, а также предотвратить распространение неисправности и зафиксировать время.

4.5.6.4 Особые требования к обслуживанию с точки зрения технологий аккумулирования энергии

Особые требования к техническому обслуживанию должны быть приведены в эксплуатационной документации изготовителя.

4.5.6.5 Особые требования к техническому обслуживанию подсистемы преобразования энергии

а) Общий осмотр:

- ППЭ должна иметь паспортную табличку, предоставленную изготовителем;
- корпус ППЭ должен иметь стандартную маркировку заземления. Металлический кронштейн и основание должны быть надежно заземлены. Заземляющее соединение должно быть плотно закреплено и должно быть проверено его сопротивление;
- ППЭ должна иметь все предусмотренные защитные функции. Перед началом работы необходимо проверить соответствие значений уставок защиты, таких как пороговые значения.

б) Контрольная проверка:

- напряжения переменного/постоянного тока и токи ППЭ должны находиться в рабочем диапазоне;
- контрольная лампа и лампа питания ППЭ должны быть исправны и находиться в рабочем состоянии;
- ЧМИ ППЭ не должен показывать наличия ошибок и аварийных сигналов или сообщений о состоянии оборудования и конфигурации;
- режим работы ППЭ и положение переключателя должны быть настроены правильно;
- температура в помещении ППЭ должна находиться в пределах рабочего диапазона;
- осветительное оборудование и система удаления газов должны работать;
- система охлаждения и источник бесперебойного питания ППЭ должны работать корректно, без аномальных шумов;
- проверяют изоляцию токоведущих частей;
- проверяют заземление металлического корпуса и опоры;
- проверяют вентиляционное оборудование;
- проверяют безопасное рабочее пространство;
- проверяют осветительное оборудование.

в) Устранение нарушений и неисправностей:

- при любой неисправности или отказе ППЭ, СНЭЭ должна быть немедленно остановлена для проверки и устранения неисправности. Соответствующие записи должны быть зарегистрированы и сообщены ответственному лицу. Записи включают, помимо прочего, описание обстоятельств и коды неисправности, модель и номер оборудования, а также время обнаружения неисправности;
- если подсистема управления ППЭ работает ненормально, ее следует остановить для проверки;
- если выходная мощность ППЭ выходит за пределы рабочего диапазона, силовой компонент, модуль управления приводом и коммуникационный канал управления должны быть остановлены для проверки;
- в целях безопасности возможность устранения неисправностей ППЭ должна быть предоставлена только по истечении установленного периода времени после отключения энергоснабжения (например, 30 мин).

4.5.6.6 Особые требования к обслуживанию подсистемы управления

а) Общий осмотр:

- линии сбора данных (таких, как температура, ток, напряжение и т. д.) подсистемы управления должны быть подключены надежно, без ослабления и разрывов;

- индикатор рабочего состояния и интерфейс мониторинга подсистемы управления должны работать без индикации аварийных сообщений;

- управление аварийными сигналами, защита, управление зарядом/разрядом и другие параметры конфигурации подсистемы управления должны быть установлены в соответствии с утвержденными списками значений параметров. При необходимости изменения значений параметров конфигурации список параметров конфигурации должен быть повторно выпущен и проверен дежурным персоналом с оперативными полномочиями;

- подсистема управления должна взаимодействовать с ППЭ и системой мониторинга без ошибок связи.

б) Контрольная проверка:

- контрольная лампа и лампа питания подсистемы управления должны быть исправны и находиться в рабочем состоянии;

- температура, ток, напряжение и другие измеренные значения подсистемы управления должны находиться в рабочем диапазоне и не должны вызывать срабатывания сигнализации;

- индикация состояния заряда ПАЭ должна находиться в рабочем диапазоне.

в) Устранение нарушений и неисправностей:

- если в подсистеме управления происходит сбой связи, следует проверить кабель связи и надежность контактов;

- если подсистема управления показывает аварийные сигналы и сигналы совершения защитных действий во время работы, которые не могут быть сброшены, ее следует остановить для проверки;

- при выходе из строя подсистемы управления необходимо проверить сервер подсистемы управления и модуль питания.

5 Регулирование частоты

5.1 Первичное и вторичное регулирование частоты

5.1.1 Применение СНЭЭ

5.1.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

СНЭЭ, предназначенная для участия в регулировании частоты энергосистемы, должна быть способна функционировать в этом режиме путем разряда или заряда в течение короткого и среднего интервала времени (например, 30 с и 15 мин). Если частота падает ниже значения уставки, СНЭЭ для противодействия отклонению частоты должна уменьшать мощность заряда или увеличивать мощность разряда, используя для регулирования частоты часть или полные свои возможности обмена активной мощностью. И наоборот, если частота поднимается выше значения уставки, СНЭЭ должна противодействовать этому, увеличивая мощность заряда или уменьшая мощность разряда.

5.1.1.2 Требования к СНЭЭ, связанные с выполняемыми ею функциями первичного и вторичного регулирования

Если такая возможность предусмотрена и разрешена СОДУ, для обеспечения участия СНЭЭ в первичном регулировании частоты ее система управления должна иметь возможность автоматически, под действием регулятора частоты, увеличивать или уменьшать обмен активной мощности СНЭЭ с энергосистемой, в ответ на отклонение частоты от нормированного значения для уменьшения этого изменения. При участии СНЭЭ во вторичном регулировании частоты она должна получать и выполнять команды, выдаваемые СОДУ. Время начала активации и продолжительность регулирования устанавливаются СОДУ. Пример схематической диаграммы управления и время или продолжительность действий показаны на рисунках 5 и 6.

В применениях регулирования частоты, помимо требований, перечисленных в подпункте 4.1.2, следует устанавливать требования по следующим параметрам.

а) Длительность времени полного отклика

Длительность времени полного отклика первичного резерва СНЭЭ означает период времени между возникновением отклонения частоты и соответствующей активацией резерва. Длительность времени отклика характеризует, насколько быстро СНЭЭ может реагировать на изменения состояния энергосистемы.

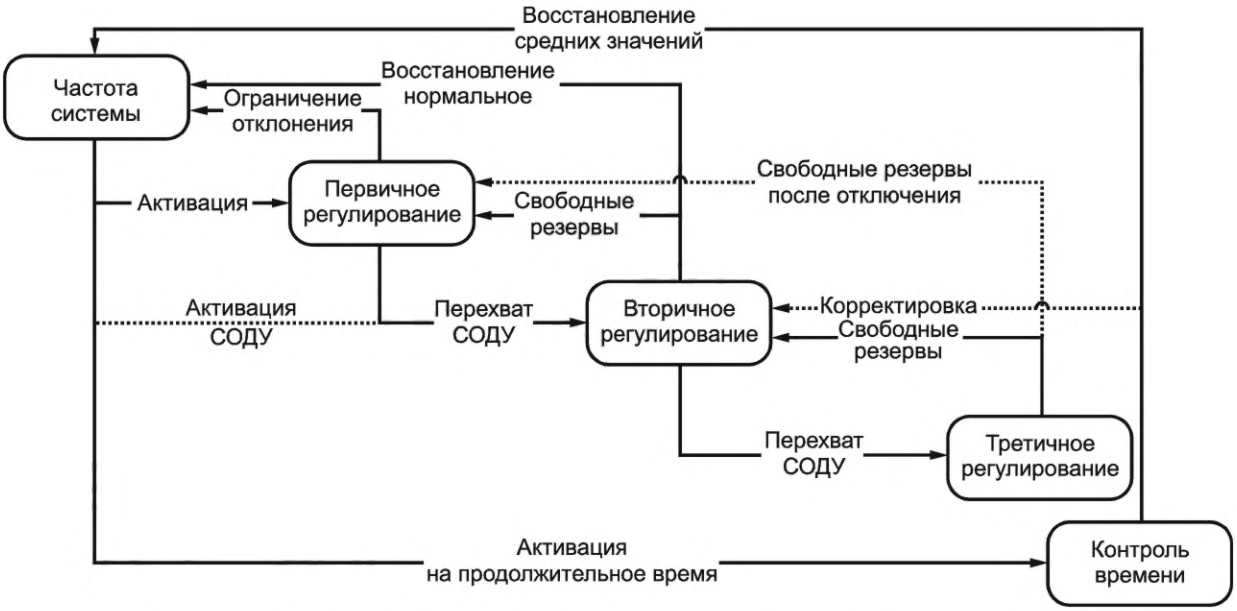


Рисунок 5 — Пример схематической диаграммы управления регулированием частоты

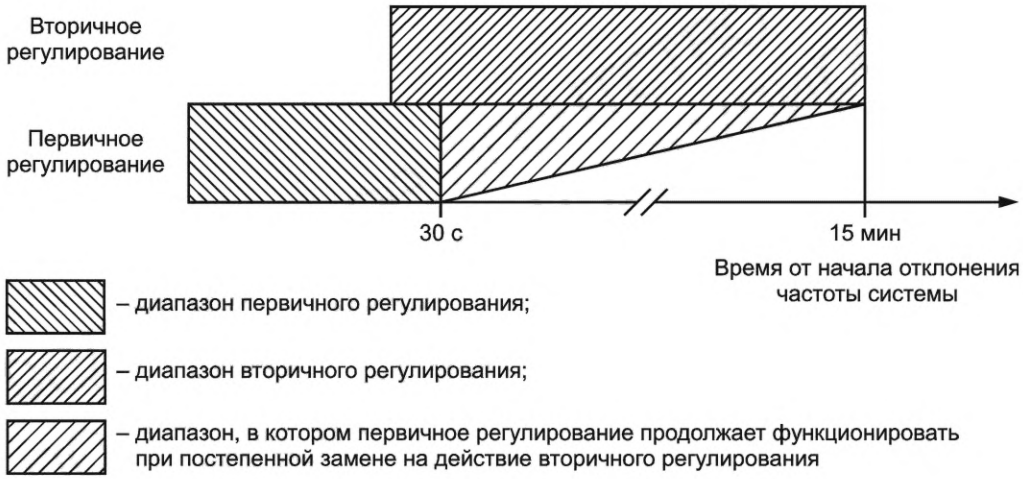


Рисунок 6 — Пример схематической диаграммы времени/длительности регулирования частоты

б) Задержка активации

Задержка активации означает период времени между возникновением отклонения частоты и моментом времени, когда мощность СНЭЭ увеличилась/уменьшилась на 5 % запрошенной мощности.

в) Период активации первичного регулирования

Активация в нормальном состоянии происходит непрерывно. Период активации первичного регулирования при получении предупредительного или аварийного сигнала об отклонении частоты электроэнергетической системы должен определяться СОДУ энергосистемы. Как правило, он должен быть более или равен 15 мин, но менее или равен 30 мин.

г) Длительность времени изменения

Длительность времени изменения означает интервал времени, необходимый для увеличения/уменьшения мощности с 5 % до 95 % запрошенной мощности.

д) Кратковременная максимальная поглощаемая и отдаваемая мощность (нормированная)

Применяют 4.1.2.2.

5.1.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме

Применяют 4.2.

5.1.3 Конструирование СНЭЭ

5.1.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют для СНЭЭ, участвующих в регулировании частоты энергосистемы. Дополнительные требования приведены ниже. Для повышения эффективности функции регулирования частоты СНЭЭ допускается устанавливать вместе с генератором. Пример архитектуры СНЭЭ вместе с генератором показан на рисунке 7.

Первичное регулирование частоты СНЭЭ осуществляется автоматически в зависимости от частоты энергосистемы под действием регулятора частоты. При уменьшении или повышении частоты энергосистемы СНЭЭ увеличивают или уменьшают обмен мощностью, чтобы обеспечить поддержание частоты энергосистемы в допустимом диапазоне.

Вторичное регулирование частоты осуществляют СНЭЭ, являющиеся объектами диспетчеризации, в режиме диспетчерского управления АРЧМ через программно-аппаратные средства, допущенные для такого применения в установленном порядке (например, SCADA [10]). При изменении уставки мощности центральный контроллер СНЭЭ формирует команду регулировки мощности, и СНЭЭ выдает или поглощает активную мощность, указанную в ПДГ.

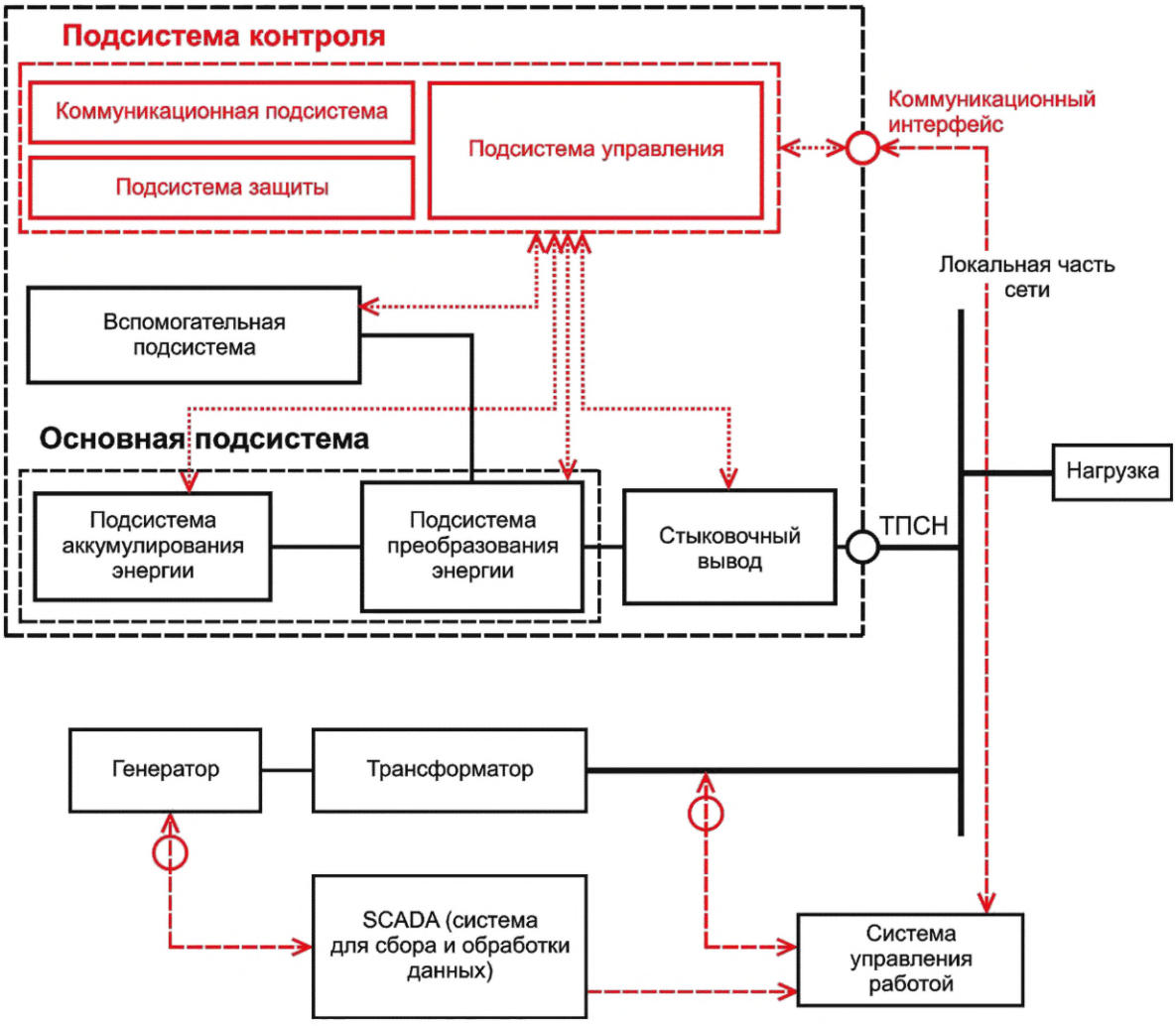


Рисунок 7 — Пример архитектуры СНЭЭ для регулирования частоты при использовании генератора

5.1.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

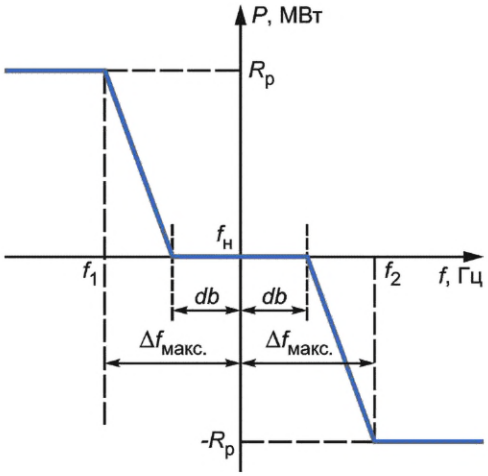
5.1.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

Применяют 4.3.4.

5.1.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

а) Первичное регулирование

Первичное регулирование частоты в основном выполняется с помощью управления мощностью обмена СНЭЭ с энергосистемой, показанного на рисунке 8.



Примечание — Резерв активной мощности R_P, называемый «первичным резервом», используется СОДУ энергосистемы в повышении или понижении параметров.

Рисунок 8 — Пример первичного регулирования частоты с «мертвой полосой» частот

СНЭЭ должна быть оборудована регулятором частоты. В этом режиме управления изменение выходной активной мощности СНЭЭ P, МВт, пропорционально отрицательному отклонению частоты. P уменьшается по мере увеличения частоты на основании уравнения управления (1), которое использует соглашение о знаках активности (положительное значение P соответствует подаче мощности в энергосистему, отрицательное значение P соответствует поглощению мощности с помощью СНЭЭ):

$$P - P_{уст.а} = -K_1 \cdot (f - (f_н \pm db)), \quad (1)$$

где $P_{уст.а}$ — уставка активной мощности СНЭЭ при номинальной частоте $f_н$, МВт;

f — частота, измеренная в энергосистеме, Гц;

$f_н$ — номинальная частота 50 Гц или 60 Гц (для поставок на экспорт в страны, имеющие такое требование);

K_1 — коэффициент коррекции по частоте для $P(f)$ СНЭЭ, МВт/Гц;

db — «мертвая полоса» первичного регулирования частоты (должна иметь возможность настройки вплоть до нулевого значения).

Управление изменением мощностью обмена может включать в себя преднамеренную зону «мертвой полосы», соответствующую полосе частот, в которой не требуется изменений в подаче активной мощности в результате изменений частоты в пределах «мертвой полосы». Значение диапазона этой «мертвой полосы» должно быть регулируемым.

Коэффициент коррекции по частоте K_1 СНЭЭ должен быть регулируемым. Он должен находиться между минимальным значением $K_{1,мин.}$ и максимальным значением $K_{1,макс.}$, определяемым СОДУ. В процессе функционирования значения коэффициентов коррекции по частоте при увеличении и уменьшении частоты могут быть разными. Значение каждого из коэффициентов должно:

- гарантировать отдачу всего первичного резерва R_P, предоставляемого СНЭЭ, для любой разницы в амплитуде отклонения частоты, большей или равной $\Delta f_{макс.}$, установленной СОДУ;
- если $f > f_н$ или $f < f_н$ —
  - быть постоянным по крайней мере в течение периода времени (15—30) мин и оставаться согласованным с изменением уставки мощности;
  - не зависеть от изменения частоты.

Активация первичного регулирования частоты должна начаться как можно скорее после появления события отклонения частоты. Задержка активации включает в себя сумму интервала времени, которое требуется устройству контроля частоты для обнаружения отклонения частоты, интервала вре-

мени для формирования команды отклика и интервала времени, в течение которого СНЭЭ начинает выдавать изменение мощности на выходе. Задержка активации не должна превышать максимальное значение t_1, указанное СОДУ электроэнергетической системы.

СНЭЭ в нормальном состоянии должна предоставлять услуги первичного регулирования частоты непрерывно и постоянно. Соответствующая активированная мощность резерва первичного регулирования должна быть равна $\min(R_P, -K_1 \cdot \Delta f)$.

Интервал времени до полной активации первичного регулирования СНЭЭ не должен превышать максимального значения t_2, установленного СОДУ электроэнергетической системы (как правило, $t_2 < 30$ с). Активированная мощность резерва первичного регулирования должна возрастать по крайней мере линейно при понижении частоты и должна уменьшаться по крайней мере линейно при повышении частоты.

б) Вторичное регулирование частоты

Вторичное регулирование частоты выполняется СОДУ электроэнергетической системы с помощью программного обеспечения (ПО) АРЧМ или в ручном (оперативном) режиме. ПО АРЧМ вычисляет ошибку области регулирования (ООР) управления балансом мощности на основе перетоков мощности с другими энергорайонами и измерений частоты. Вторичное регулирование частоты должно выполняться путем сведения к нулю ошибки регулирования.

Чтобы свести к минимуму ООР и поддерживать частоту энергосистемы близкой к ее номинальному значению $f_н$, СОДУ электроэнергетической системы должен иметь возможность непрерывно регулировать генерацию и нагрузку всех объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, являющихся объектами диспетчеризации. Для этого программное обеспечение АРЧМ отправляет сигнал уставки мощности регулирования частоты всем энергоресурсам, которые вносят вклад во вторичный резерв частоты (генераторы, СНЭЭ, нагрузки). СНЭЭ должна скорректировать свою активную мощность в соответствии со значением полученной уставки.

Для вторичного регулирования частоты СНЭЭ должна обеспечивать достаточную регулируемую мощность и установленную СОДУ скорость ее нарастания. При участии СНЭЭ во вторичном регулировании (в том числе автоматическом) должна сохраняться функция ее участия в первичном регулировании.

5.1.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

5.1.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

5.1.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для участия в регулировании частоты показан на рисунках 9 и 10.

В примере, приведенном на рисунке 9, используют предварительные начальные данные о целевой энергосистеме, а именно значения энергетических параметров ($S_{ЭС}$), инерции ($H_{ЭС}$) и характеристик мощности/частоты ($I_{ЭС}$) энергосистемы. Пользователь должен выбрать целевой дисбаланс мощности (ΔP), на который будет рассчитана СНЭЭ.

Если СНЭЭ участвует как в первичном, так и во вторичном регулировании частоты, метод расчета энергетических параметров должен быть другим. Чтобы СНЭЭ могла плавно регулировать частоту, ее мощность должна соответствовать максимальной мощности, необходимой для первичного и вторичного регулирования частоты. Выбор энергоемкости — это сумма количества энергии, необходимой для первичного регулирования частоты и количества энергии, необходимой для вторичного регулирования частоты.

б) Требования к расчету энергетических параметров

При расчете энергетических параметров СНЭЭ для применений регулирования частоты необходимо учитывать не только ограничения рабочего состояния энергосистемы, но также ограничения мощности и энергии заряда и разряда СНЭЭ:

- чтобы избежать частого заряда или разряда СНЭЭ в качестве первого приближения используют «мертвую полосу» отклонения частоты, применяемую для регулирования частоты обычными генераторами;

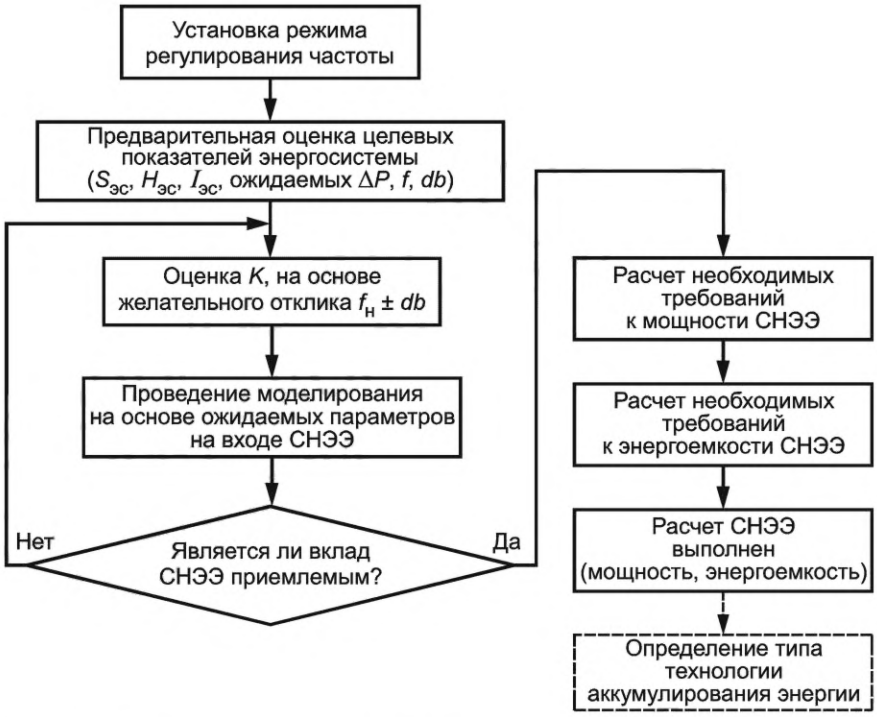


Рисунок 9 — Пример расчета энергетических параметров и проектирования СНЭЭ, применяемой для выполнения функции первичного регулирования частоты

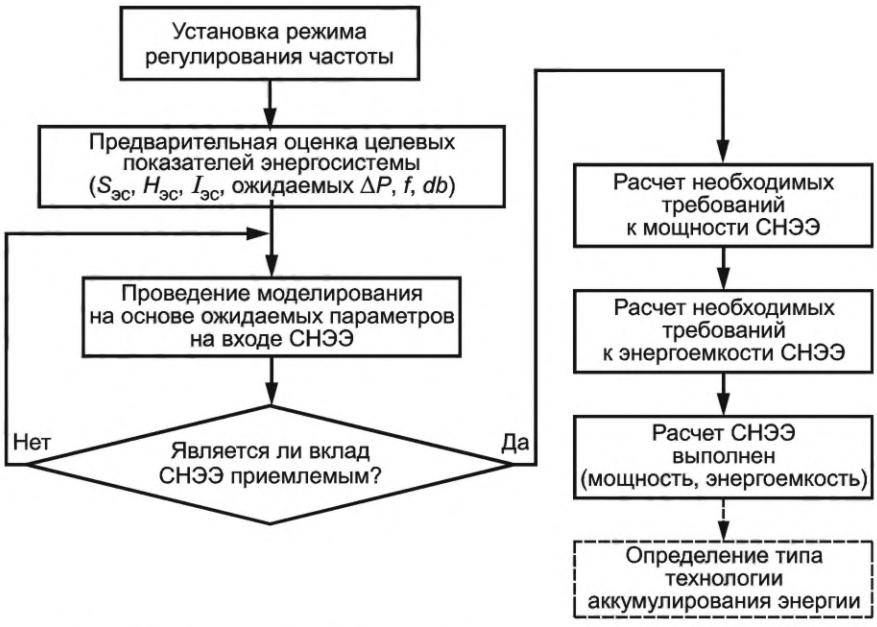


Рисунок 10 — Пример расчета энергетических параметров и проектирования СНЭЭ, применяемой для выполнения функции вторичного регулирования частоты

- во время стабилизации выходной мощности первичного регулирования частоты максимальная выходная мощность — это нормированная мощность СНЭЭ или кратковременная максимальная входная/выходная мощность, если применимо;

- для конфигурирования мощности СНЭЭ при регулировании частоты энергосистемы в качестве первого приближения используют выходную активную мощность, применяемую для регулирования частоты обычными генераторами, и мощность СНЭЭ должна быть способна обеспечить потребности в повышающем и понижающем регулировании частоты в любое время;

- СНЭЭ ограничена по энергии. Из-за конечной емкости их ПАЭ существует риск потери эффективной способности регулирования частоты в случае длительных отклонений частоты системы. Таким образом, для обеспечения непрерывной активации, особенно в напряженных состояниях системы, важно управление энергией.

5.1.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

5.1.5 Срок службы СНЭЭ

5.1.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

5.1.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

5.1.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

а) Первичное регулирование частоты

Как показано на рисунке 8, если частота энергосистемы находится в пределах «мертвой полосы», СНЭЭ не участвует в регулировании частоты. $\Delta f_{макс.}$ — максимально допустимое отклонение частоты. Если значение частоты находится между f_1 и минимальным значением частоты «мертвой полосы», СНЭЭ снижает мощность заряда или увеличивает мощность разряда в соответствии с СЧХ. Если частота энергосистемы находится между максимальным значением частоты «мертвой полосы» и f_2, СНЭЭ увеличивает мощность заряда или уменьшает мощность разряда в соответствии с СЧХ. Если частота энергосистемы ниже f_1 или выше f_2, СНЭЭ активирует полный резерв мощности. Процесс функционирования и управления показан на рисунке 11.

Примечание — СЭ СНЭЭ в состоянии ожидания должен быть установлен на 50 %, что позволяет СНЭЭ участвовать как в действиях по регулированию с повышением частоты, так и в действиях по регулированию с понижением частоты. K_1 — коэффициент коррекции по частоте СНЭЭ, соответствующий первичному регулированию частоты, и он должен регулироваться в соответствии с фактическим СЭ СНЭЭ.

Способность СНЭЭ участвовать в первичном регулировании частоты характеризуется:

- величиной активного резерва мощности R_P, называемого «первичным резервом», который может использоваться СОДУ энергосистемы в сторону увеличения или уменьшения частоты;
- стратегией управления, позволяющей обеспечить объем резерва, который должен быть применен, когда частота отклоняется от своего номинального значения $f_н$ или от установленной «мертвой полосы», если таковая имеется;
- временными параметрами быстродействия (длительность времени задержки, длительность времени до полной активации, период времени полной активации).

Первичные резервы должны быть активированы как можно быстрее после обнаружения отклонения частоты от номинального значения $f_н$ или от границы установленной «мертвой полосы», если таковая имеется, без какого-либо управляющего сигнала от СОДУ энергосистемы.

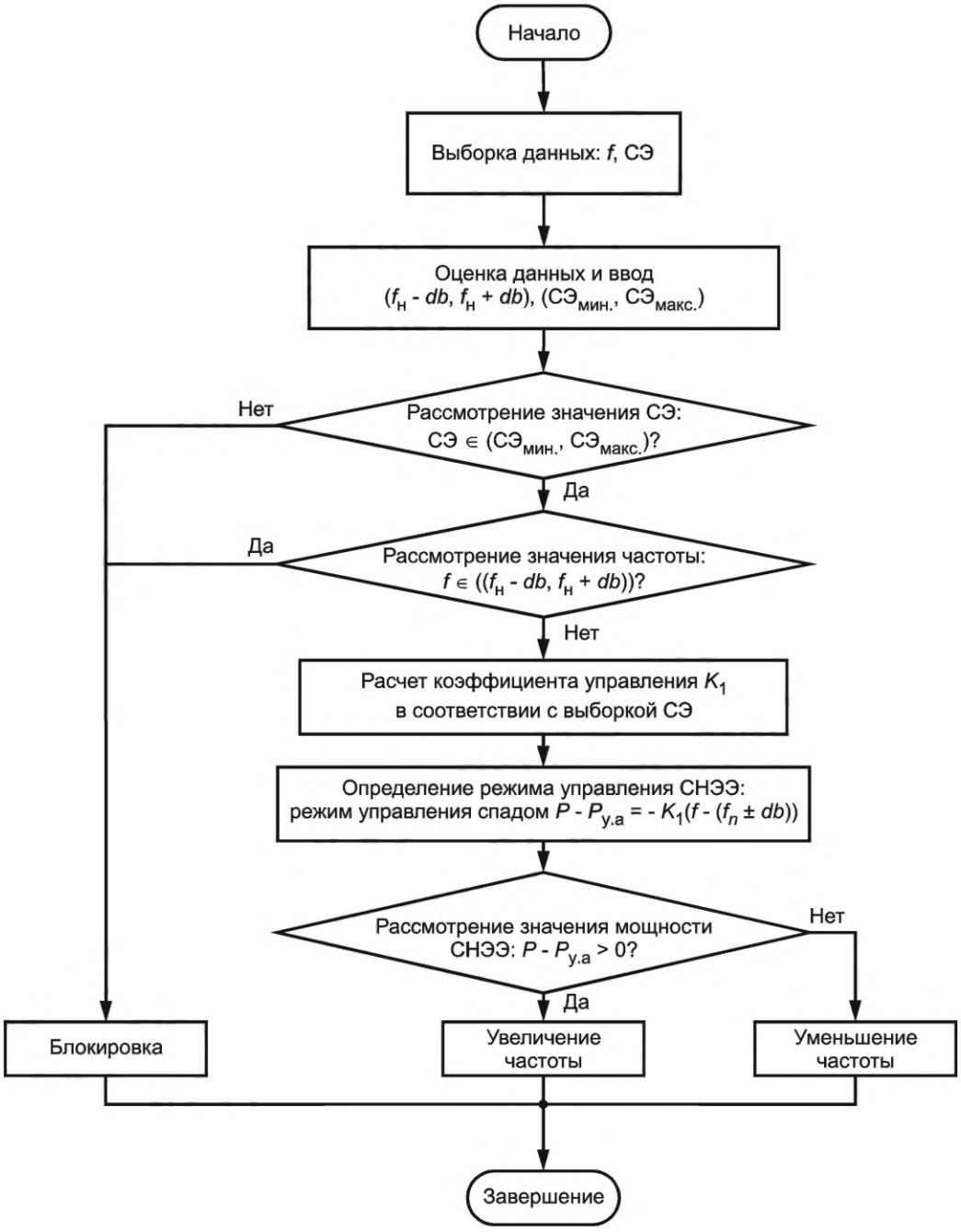


Рисунок 11 — Пример стратегии управления СНЭЭ, участвующей в первичном регулировании частоты

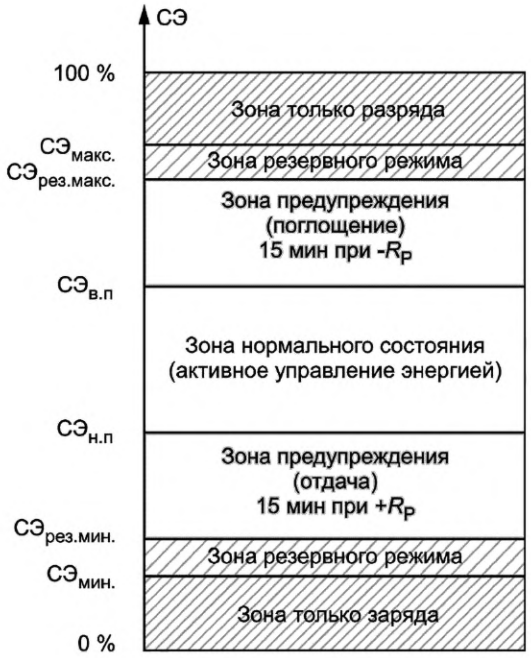
Пример определения различных уровней СЭ и пороговых значений представлен в таблице 2 и на рисунке 12.

Таблица 2 — Пример определения различных степеней энергосодержания

Уровни СЭ	Определение
$СЭ_{в.п}$	Верхний предел СЭ в нормальном состоянии, позволяющий загрузить первичный резерв $R_Р$, получив его в течение интервала времени t_3
$СЭ_{н.п}$	Нижний предел СЭ в нормальном состоянии, позволяющий разгрузить первичный резерв $R_Р$, отдав его в течение интервала времени t_3

Окончание таблицы 2

Уровни СЭ	Определение
$СЭ_{макс.}$	Верхний предел СЭ в нормальном состоянии, соответствующий ограничению безопасности для СНЭЭ
$СЭ_{мин.}$	Нижний предел СЭ в нормальном состоянии, соответствующий ограничению безопасности для СНЭЭ
$СЭ_{рез.макс.}$	Порог СЭ, выше которого активируется резервный режим для управления дальнейшим увеличением энергосодержания накопителя
$СЭ_{рез.мин.}$	Порог СЭ, ниже которого активируется резервный режим для управления дальнейшим уменьшением энергосодержания накопителя



Примечание — 0 % и 100 % являются относительными пределами СЭ, относящимися к энергоемкости, зарезервированной для регулирования частоты, а не абсолютными пределами СЭ. $СЭ \in [СЭ_{н.п}, СЭ_{в.п}]$ — зона нормального состояния. $СЭ \in [СЭ_{рез.мин.}, СЭ_{н.п}]$ или $СЭ \in [СЭ_{в.п}, СЭ_{рез.макс.}]$ — зона состояния предупреждения.

Рисунок 12 — Пороговые значения СЭ и режимы функционирования СНЭЭ

В предположении, что $P_{уст.а} = 0$ и никакие другие функции, такие как вторичное регулирование частоты, не будут активны, СНЭЭ должна быть способна поддерживать полную активацию резерва активной мощности продолжительностью не менее t_3 (как правило — 15 мин).

Чтобы гарантировать запас энергии для первичного регулирования с повышением и понижением частоты в течение полного периода времени активации t_3, СНЭЭ должна иметь значение отношения $E_{д.и}/R_р > 2\ t_3$, где $E_{д.и}$ — доступная для использования энергия (в кВт · ч или МВт · ч) СНЭЭ, которая является энергосодержанием, обеспечивающим выполнения резерва первичного регулирования.

СНЭЭ должна обеспечивать первичное регулирование частоты до тех пор, пока запас энергии не исчерпан или не заполнен. Чтобы гарантировать непрерывность регулирования и наличие резерва энергии, необходимо активное управление накопленной энергией.

Для обеспечения одновременно активного управления накопленной энергией и резерва первичного регулирования максимальная мощность в режиме заряда и разряда, соответственно $P_{ген.макс.}$ и $P_{нагр.,макс.}$, должна быть более 110 % мощности резерва первичного регулирования R_P. Если СЭ выше порога $СЭ_{рез.макс.}$ или ниже $СЭ_{рез.мин.}$ (см. рисунок 12), — СНЭЭ находится в резервном режиме.

Чтобы не ограничивать участие СНЭЭ первичным резервом при изменении уставки активной мощности СНЭЭ, максимальное значение уставки активной мощности $P_{уст.а.макс.}$ должно быть менее или равно $P_{ген.макс.} - R_P$ и $P_{нагр.макс.} - R_P$ одновременно.

Активное управление накопленной энергией должно иметь возможность изменять уставку активной мощности $P_{уст.а}$, чтобы поддерживать СЭ в нормальном состоянии, позволяющим отдавать или получать R_P в течение t_3. Эта СЭ будет иметь верхний и нижний предел, $СЭ_{н.п}$ и $СЭ_{в.п}$, которые гарантируют отдачу или получение R_P в течение t_3.

Следует предусмотреть возможность динамического ограничения для различных вариантов $P_{уст.а}$:

$P_{уст.а}$ постоянна на каждом инфра-суточном рыночном шаге (например, 15 мин), который должен изменяться в соответствии с максимальной скоростью нарастания.

Задача состоит в том, чтобы $P_{уст.а}$ изменялась медленно по сравнению с $K \cdot \Delta f$ — так, чтобы не противодействовать/нейтрализовать службу регулирования частоты.

В случае непрерывного изменения уставки мощности скорости ее изменения (МВт/мин) должны быть конфигурируемыми и не должны приводить к изменению с 0 на минимальную уставку мощности (или на максимальную уставку мощности) менее чем за 15 мин.

В вынужденном или в аварийном режиме энергосистемы следует избегать изменения уставки активной мощности, если это изменение противоречит потребностями электроэнергетической системы (например, должно быть запрещено изменять уставку активной мощности в сторону понижения, если частота ниже номинальной частоты $f_н$).

Если запас энергии исчерпан или заполнен, или когда активирован резервный режим, после возврата частоты энергосистемы в нормальное состояние СНЭЭ должна восстановить свой запас энергии до диапазона своего нормального состояния.

В диапазоне нормального состояния энергосодержания СНЭЭ должна реагировать на отклонение частоты в нормальном режиме, в то время как в резервном режиме СНЭЭ должна реагировать только на кратковременное отклонение частоты. В течение периода перехода из зоны нормального состояния к резервному режиму и наоборот СНЭЭ должна реагировать на комбинацию нормального отклонения частоты и кратковременного отклонения частоты.

б) Вторичное регулирование частоты

Если СНЭЭ требуется осуществлять обмен активной мощностью с энергосистемой, СОДУ направляет в систему управления работой (СУР) СНЭЭ команду регулирования частоты, которая транслируется ею для управления ПАЭ и ППЭ (см. рисунок 13), в результате чего энергия аккумулируется в ПАЭ или отдается из нее в энергосистему.

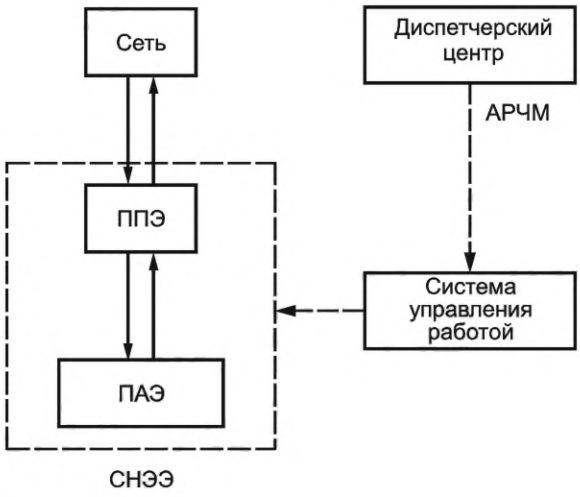


Рисунок 13 — Пример СНЭЭ, участвующей во вторичном регулировании частоты

Процесс управления работой показан на рисунке 14.

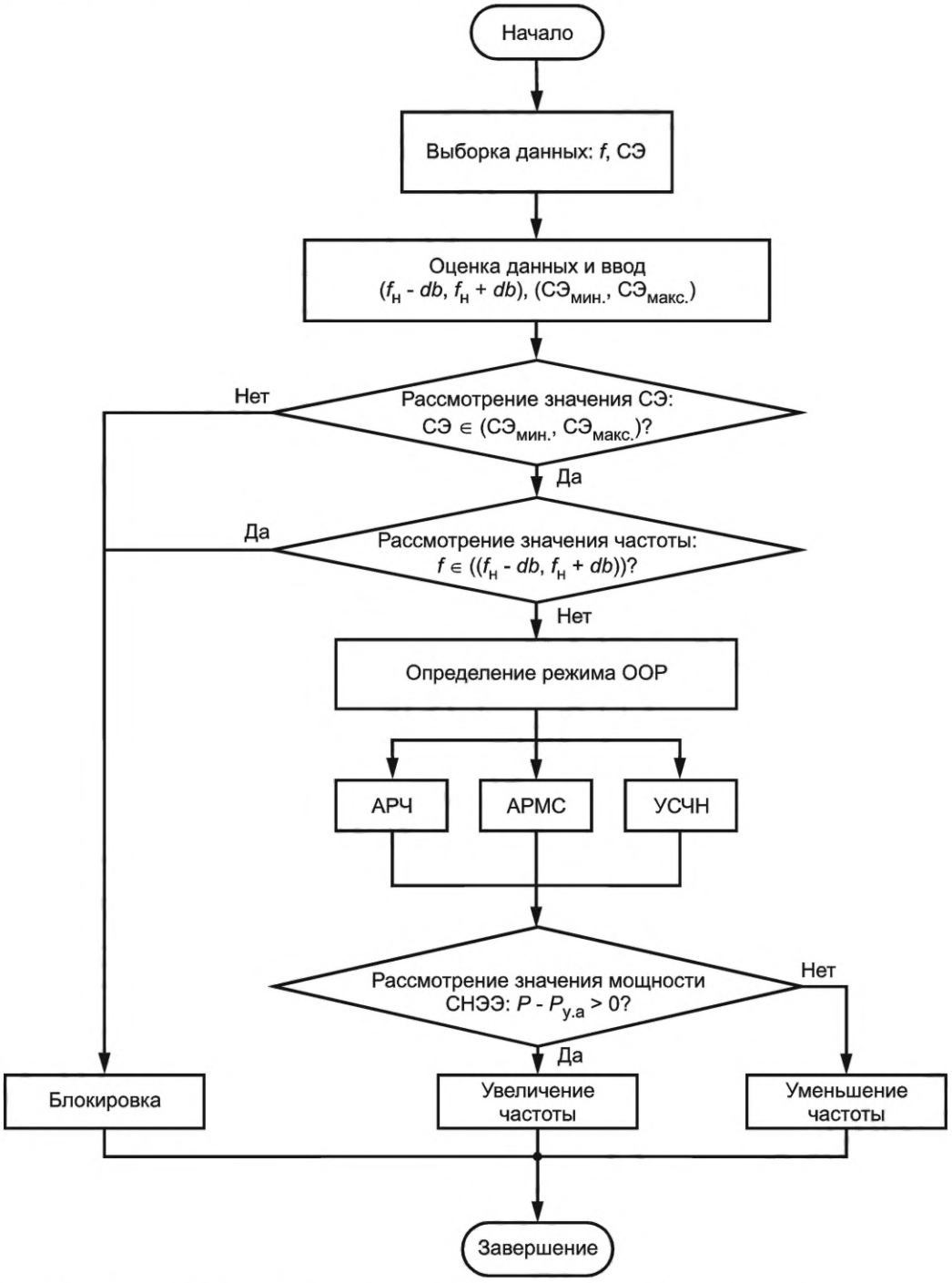


Рисунок 14 — Пример стратегии управления СНЭЭ, участвующей во вторичном регулировании частоты

Примечание — СЭ СНЭЭ в состоянии ожидания должна быть установлена на 50 %, что позволяет СНЭЭ участвовать как в действиях по регулированию с повышением частоты, так и в действиях по регулированию с понижением частоты.

5.1.5.4 Мониторинг

Между СНЭЭ и электроэнергетической системой необходимо обеспечить обмен данными. Обмениваемые данные зависят от важности СНЭЭ и ее участия во вспомогательных услугах и должны быть совместимы и согласованы с системами ДУ и связи, используемыми СОДУ электроэнергетической системы с различными субъектами.

Если СНЭЭ используется для регулирования частоты энергосистемы, она должна работать автоматически или под ДУ СОДУ в соответствии с целевыми задачами в сценарии. Рабочее состояние СНЭЭ следует контролировать для проверки корректности обработки сигналов ДУ и измерения СНЭЭ.

Информация о напряжении, токе, активной мощности, реактивной мощности, степени энергосодержания, аварийной сигнализации и неисправности ПАЭ СНЭЭ должна контролироваться. Дополнительно следует отслеживать информацию об аварийных сигналах другого оборудования, работающего совместно со СНЭЭ.

5.2 Быстрое регулирование частоты

5.2.1 Применение СНЭЭ

5.2.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

СНЭЭ должна активно поддерживать частоту сети за счет быстрого разряда или заряда (например, в течение 100 мс). Быстрое регулирование частоты (БРЧ) с помощью СНЭЭ предназначено для приближения процесса инерционной передачи кинетической энергии традиционных генераторов к базовой скорости изменения частоты. Цель состоит в том, чтобы снизить скорость изменения частоты энергосистемы во время внезапных отказов, уменьшить амплитуду переходной разности частот, увеличить демпфирование и повысить стабильность энергосистемы.

Для выполнения этой функции необходима быстрая активация и скорость нарастания. Кроме того, важна величина обмениваемой активной мощности (высокая удельная мощность).

Так как БРЧ реализуется в течение короткого периода времени (до полного перехода к первичному регулированию), количество энергии не имеет приоритетного значения. Максимальная активная мощность как правило требуется в течение менее 15 мин.

5.2.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

В нормальном режиме работы энергосистемы ее частота стабилизирована и находится близко к номинальной частоте (например, 50 Гц). Если мощность генерации превышает мощность нагрузки, частота сети увеличивается. Если мощность генерации меньше мощности нагрузки, частота сети уменьшается. СНЭЭ может участвовать в регулировании частоты за счет обмена мощностью с энергосистемой при разряде и заряде находящейся в ее составе ПАЭ.

Пример частотной характеристики с БРЧ, которая включает первое колебание частоты, показан на рисунке 15.

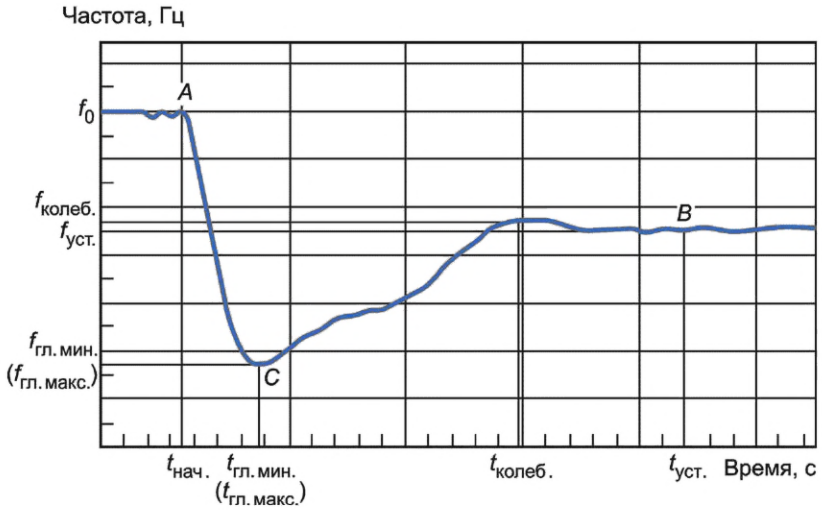


Рисунок 15 — Пример частотной характеристики с быстрым регулированием частоты

Основными параметрами, описывающими первое колебание частоты, являются:

- f_0: частота до возмущения;
- $f_{гл.мин.}$ ($f_{гл.макс}$): глобальный минимум/максимум частоты;
- $f_{уст.}$: установившееся значение частоты после возмущения;
- $f_{колеб.}$: частота, на которой заканчивается первое колебание частоты;
- $t_{нач.}$: начало первого колебания частоты после возмущения;

- $t_{гл.мин.}$ ($t_{гл.макс.}$): время, когда частота достигает наибольшего экстремального значения $f_{гл.мин.}$ ($f_{гл.макс.}$);
- $t_{уст.}$: время, когда частота достигает установившегося состояния $f_{уст.}$;
- $t_{колеб.}$: конец первого колебания частоты;
- $СИЧ_{010}$: скорость изменения частоты за время первых 10 % $t_{гл.мин.}$ ($t_{гл.макс.}$);
- $СИЧ_{060}$: скорость изменения частоты за время от 20 % до 80 % $t_{гл.мин.}$ ($t_{гл.макс.}$);
- $СИЧ_{100}$: скорость изменения частоты за время $t_{гл.мин.}$ ($t_{гл.макс.}$).

Энергосистемы с высокой постоянной инерции имеют более медленную динамику изменения частоты с высоким демпфированием, что приводит к переходным процессам низкой частоты. При большой доле участия ветрогенераторов и фотоэлектрических систем инерция энергосистемы уменьшается, что вызывает возрастание влияния дисбаланса генерации и нагрузки на снижение стабильности энергосистемы. Для вращающихся электрических машин наиболее критическим интервалом времени являются первые секунды, то есть частота первого колебания. Здесь скорость изменения частоты (СИЧ) самая высокая. Через несколько секунд активируется первичный отклик синхронных генераторов, и частота стабилизируется.

На рисунке 16 приведены временные характеристики областей первичного и вторичного регулирования частоты, характерные для работы энергосистем. Важной характеристикой является инерционный отклик, показанный на рисунке 17, — период времени, пока первичный резерв регулирования частоты не заработает на полную мощность. Инерционный отклик не полностью эквивалентен БРЧ, так как измерение частоты имеет определенную временную задержку, а длительность задержки разная для разных энергосистем. Этот период времени, как правило, составляет несколько секунд. Основные задачи БРЧ:

а) увеличение $f_{гл.мин.}$, чтобы избежать потери нагрузки (при понижении частоты) и уменьшение $f_{гл.макс.}$, чтобы избежать отключения генерации (при повышении частоты);

б) уменьшение СИЧ, чтобы избежать отключения генерирующих устройств в период времени между событием возмущения и первичным регулированием частоты.

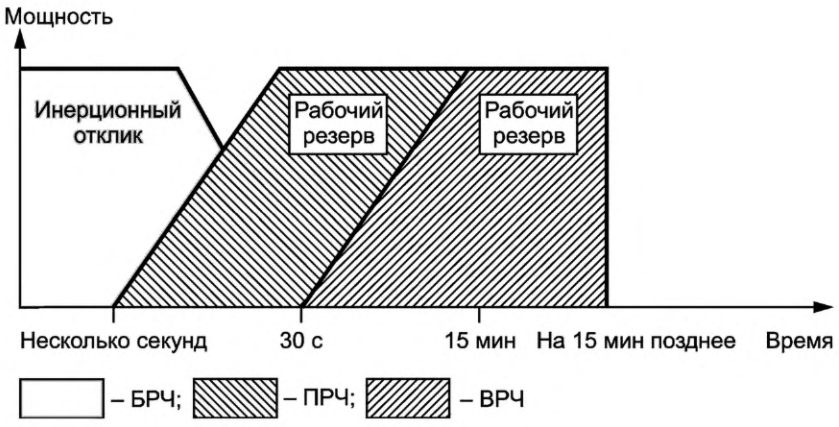
Основными временными параметрами, описывающими процесс БРЧ, являются:

- t_0 — время, когда частота начинает падать;
- t_1 — время, включая время измерения частоты и время реакции на скачок;
- t_2 — время начала ПРЧ;
- t_3 — время окончания БРЧ.

БРЧ может быть достигнуто как опираясь на значение f для вычисления $P(f)$ (более быстрым способом, чем ПРЧ), так и/или использованием СИЧ для вычисления $P(СИЧ)$.

5.2.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме

Применяют 4.2.



БРЧ — быстрое регулирование частоты; ПРЧ — первичное регулирование частоты; ВРЧ — вторичное регулирование частоты

Рисунок 16 — Пример рабочих областей разных типов регулирования частоты

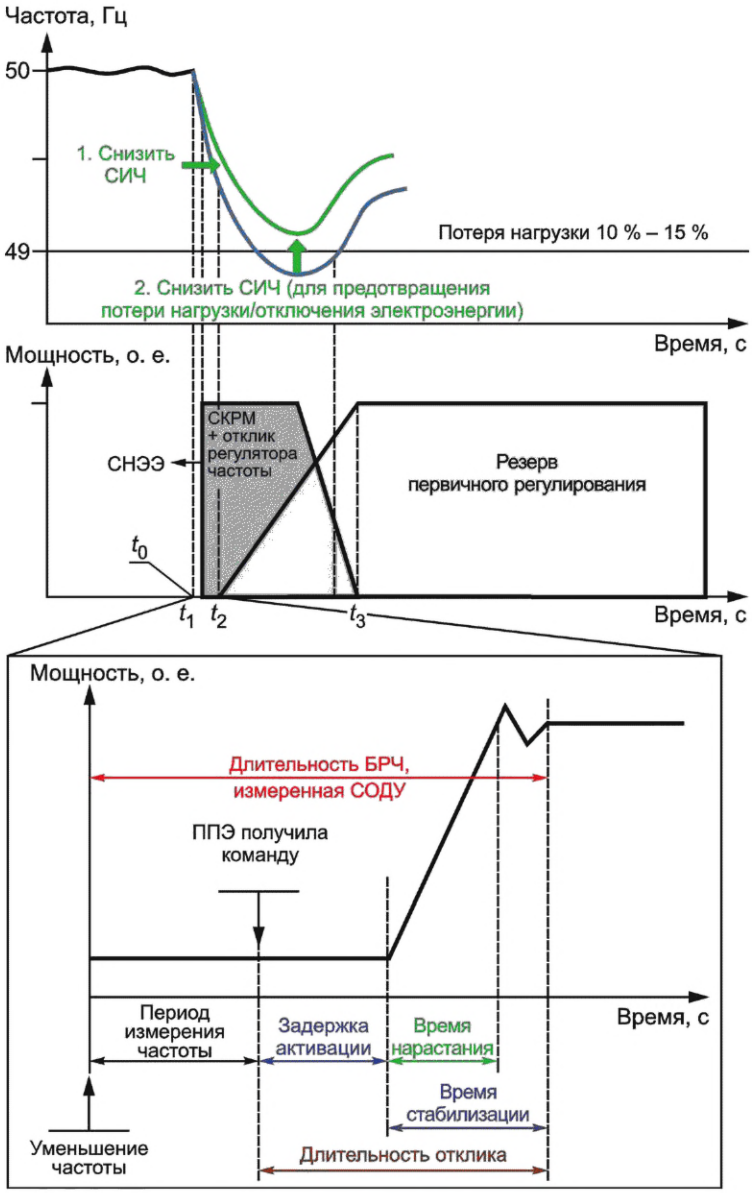


Рисунок 17 — Пример графика зависимости частоты и выходной мощности СНЭЭ от времени

5.2.3 Конструирование СНЭЭ

5.2.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют к применениям БРЧ. Дополнительные требования приведены ниже.

СНЭЭ для применений БРЧ может быть установлена вместе с ВИЭ (фотоэлектрическая система, ветрогенератор и т. д.). Пример конфигурации СНЭЭ, работающей совместно с ВИЭ, показан на рисунке 18.

5.2.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

5.2.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

Применяют 4.3.4.

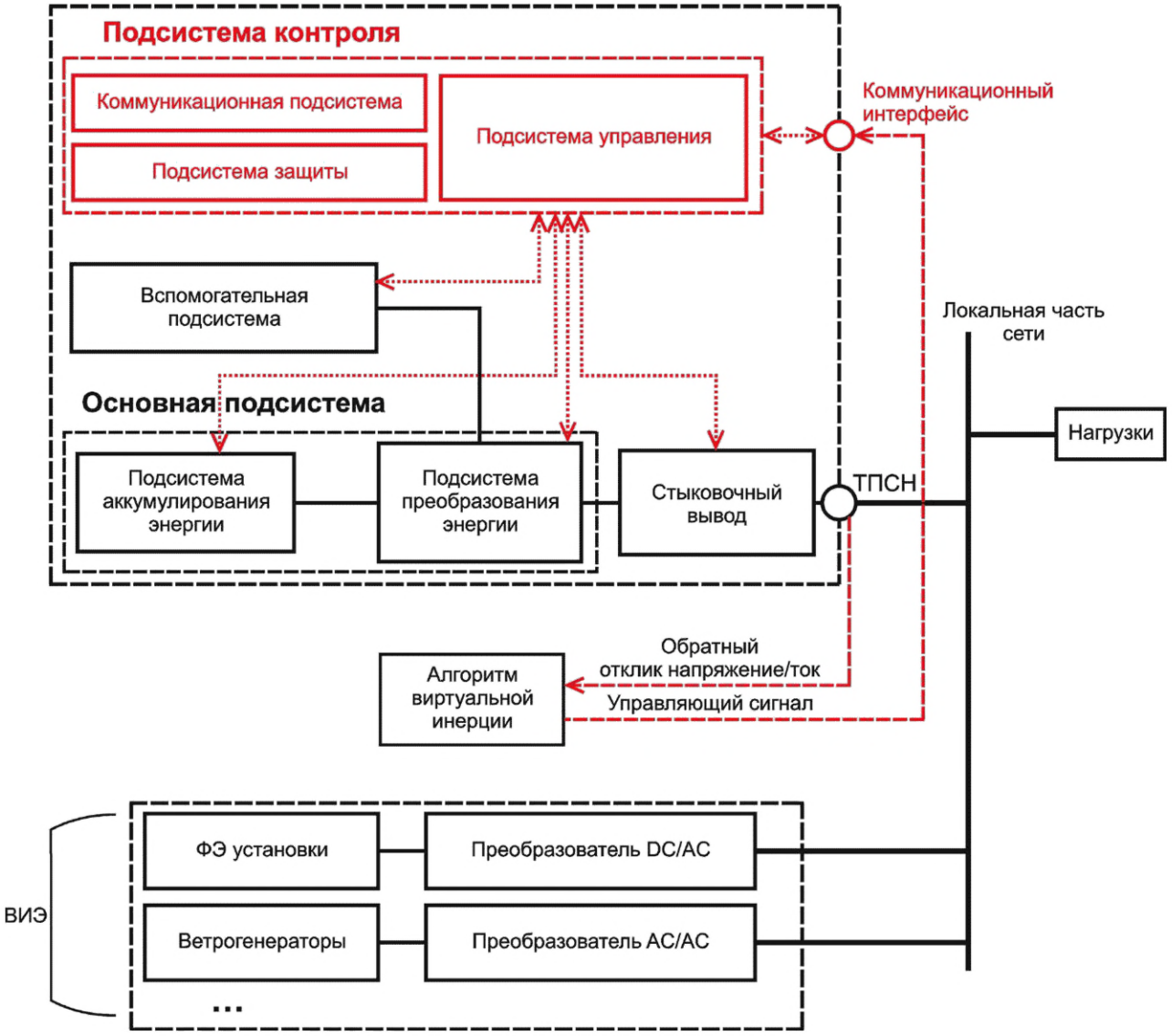


Рисунок 18 — Пример конфигурации СНЭЭ для применения БРЧ при использовании ВИЭ

5.2.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

БРЧ — это комбинация алгоритмов управления СНЭЭ и силовой электроники, которая имитирует инерцию традиционной энергосистемы с установленной постоянной инерции. Виртуальный контроль инерции — распространенный алгоритм использования СНЭЭ для БРЧ. Как только СИЧ выходит за пределы «мертвой полосы», СНЭЭ начинает моделировать виртуальный отклик инерции традиционного генератора в соответствии со степенью изменения частоты или СИЧ, чтобы уменьшить изменения частоты и амплитуду переходной разности частот во время внезапного нарушения статической устойчивости, как показано на рисунке 19.

Формула расчета виртуального инерционного управления СНЭЭ:

$$\Delta P_{\text{ин.в}}(t) = \begin{cases} K_{\text{ин.в}}(\mathrm{d}f_t/\mathrm{d}t) & \mathrm{d}f_t/\mathrm{d}t \le R_{\text{мин.}} \text{ или } \mathrm{d}f_t/\mathrm{d}t \ge R_{\text{макс.}} \\ 0 & R_{\text{мин.}} < \mathrm{d}f_t/\mathrm{d}t < R_{\text{макс.}} \end{cases}, \quad (2)$$

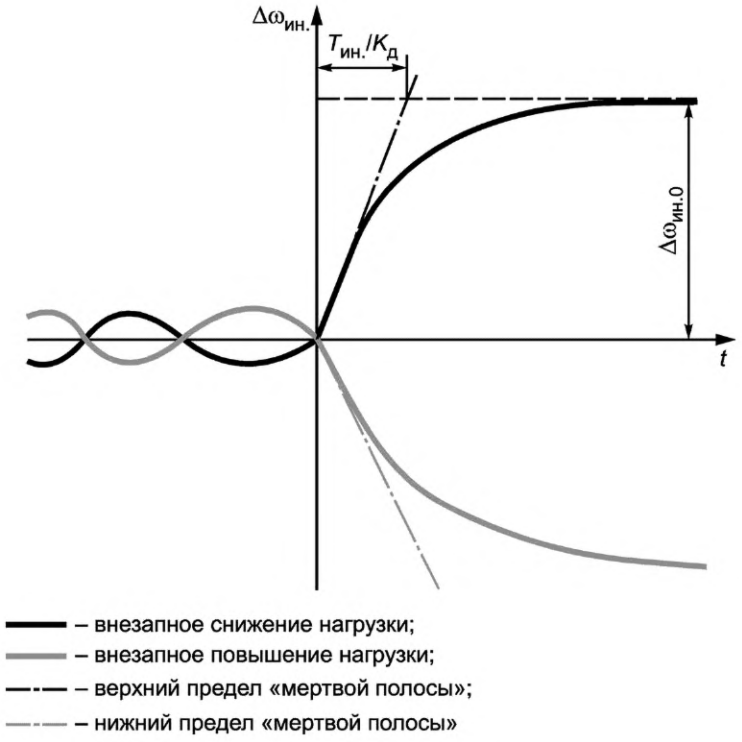
где $\Delta P_{\text{ин.в}}(t)$ — активная выходная мощность в момент времени t;

$K_{\text{ин.в}}$ — коэффициент виртуальной инерции;

$\mathrm{d}f_t/\mathrm{d}t$ — СИЧ в момент времени t;

$R_{\text{мин.}}$ — нижний предел «мертвой полосы» регулирования частоты;

$R_{\text{макс.}}$ — верхний предел «мертвой полосы» регулирования частоты.



$\Delta\omega_{ин.}$ — отклонение угловой частоты генератора; $\Delta\omega_{ин.0}$ — отклонение угловой частоты генератора в установившемся состоянии; $T_{ин.}$ — постоянная инерции; $K_д$ — коэффициент демпфирования

Рисунок 19 — Кривая отклонения частоты, характерная для традиционных генераторов на основе вращающихся машин

Как правило, для регулирования реализуют кривую, аналогичную СЧХ, но в которой по оси *x* вместо частоты приведена СИЧ.

Допускаются и другие методы регулирования:

а) подача активной мощности пропорционально измеренному отклонению частоты (пропорциональное регулирование);

б) подача постоянного количества активной мощности при достижении значения частоты, установленного как точка запуска (ступенчатое регулирование);

в) ввод активной мощности пропорционально вычисленной СИЧ (дифференциальное регулирование);

г) подача постоянного количества активной мощности при достижении предустановленного значения СИЧ (ступенчатое регулирование);

д) контролируемое снижение нагрузки пропорционально измеренному отклонению частоты или СИЧ (пропорциональное или дифференциальное регулирование);

е) контролируемое снижение постоянной величины нагрузки на предустановленной частоте или при достижении СИЧ (ступенчатое регулирование).

5.2.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

5.2.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

5.2.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для БРЧ показан на рисунке 20.

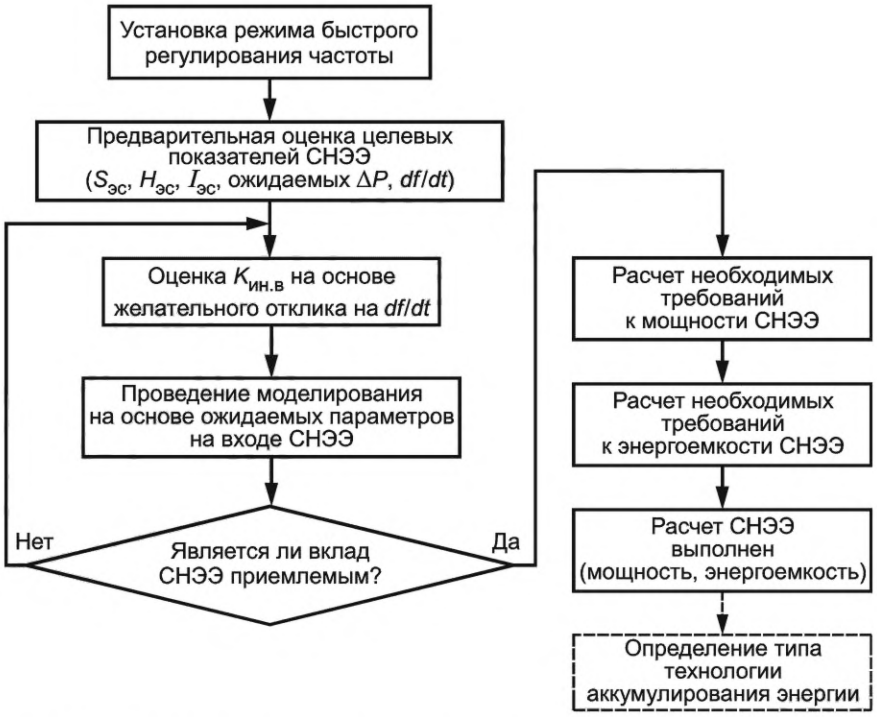


Рисунок 20 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для БРЧ

Примечание — В примере на рисунке 20 используют предварительные сведения о целевой энергосистеме, а именно: величину энергосистемы ($S_{ЭС}$), инерцию энергосистемы ($H_{ЭС}$) и частотную характеристику мощности ($I_{ЭС}$). Пользователь должен выбрать целевой дисбаланс мощности (ΔP), на который будет рассчитана СНЭЭ.

б) Требования к расчету энергетических параметров

Входные данные для проектирования СНЭЭ должны включать следующее:

- характеристики энергосистемы на основной ТПСН;
- целевой функционал: регулирование частоты;
- определение требуемых $P_{СНЭЭ}$ или $Q_{СНЭЭ}$ и соответствующей длительности $t_{СНЭЭ}$, а также требований к управлению системой.

5.2.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

5.2.5 Срок службы СНЭЭ

5.2.5.1 Установка СНЭЭ

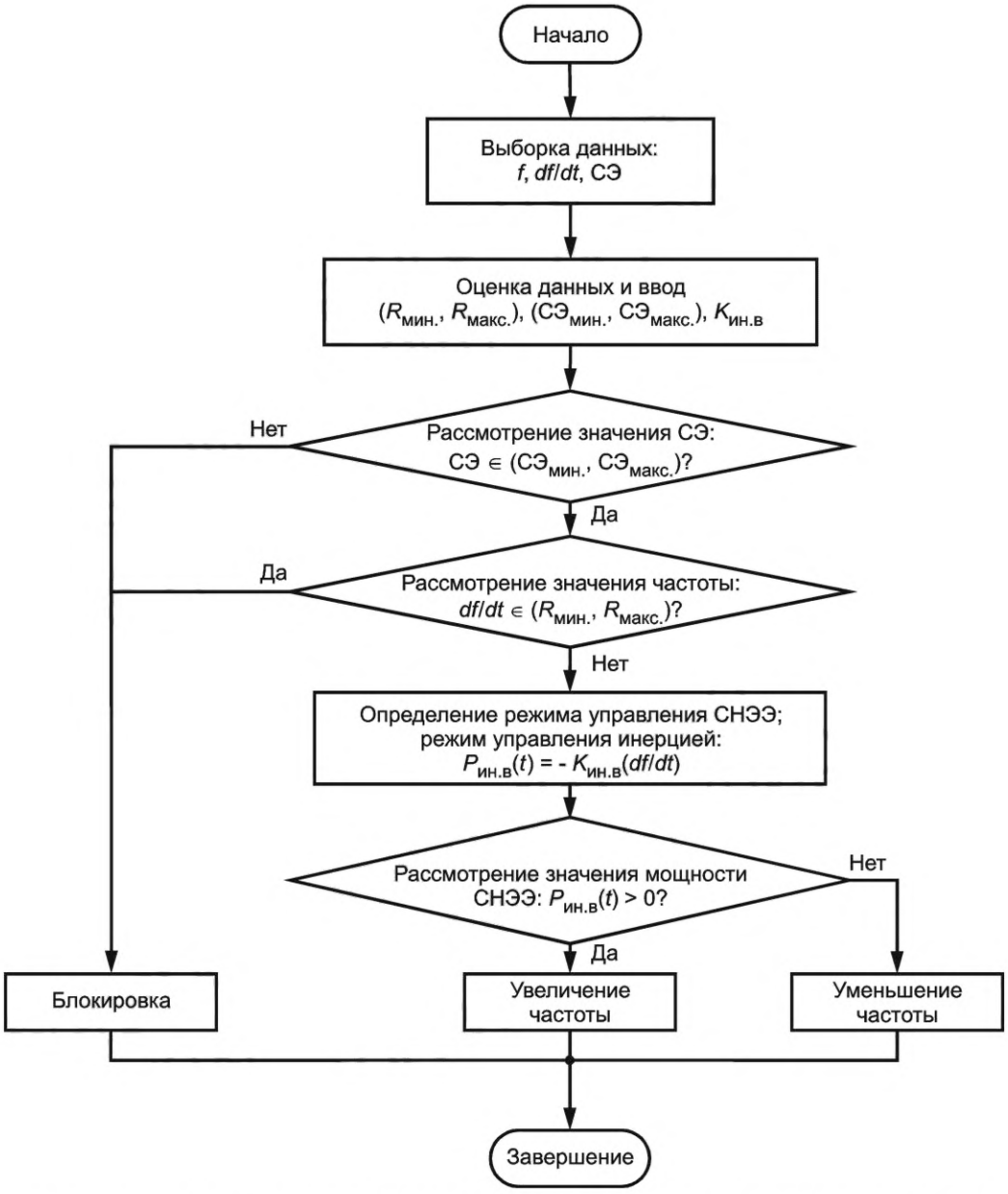
Применяют 4.5.2.

5.2.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

5.2.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

БРЧ СНЭЭ позволяет управлять динамическим процессом изменения частоты. При внезапном изменении нагрузки соответствующее инерционное звено гарантирует, что СНЭЭ непрерывно и быстро отдает активную мощность в сеть, заставляя частоту медленно переходить к новому значению устойчивого состояния. Процесс работы и управления показан на рисунке 21.



Примечание — СЭ СНЭЭ в состоянии ожидания должна быть установлена на 50 %, что позволяет СНЭЭ участвовать как в действиях по регулированию с повышением частоты, так и в действиях по регулированию с понижением частоты.

Рисунок 21 — Пример стратегии управления СНЭЭ, участвующей в БРЧ

5.2.5.4 Мониторинг

Применяют 5.1.5.4.

6 Регулирование напряжения энергосистемы/электрической сети

6.1 Применение СНЭЭ

6.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

В электроэнергетической системе/электрической сети необходимо поддерживать напряжение в установленных пределах. Для стабильной работы для компенсации эффектов реактивной мощности необходимы ресурсы регулирования напряжения. В некоторых особых случаях [например, для предотвращения падения напряжения после аварийного возмущения с отключением одного сетевого элемента (так называемый критерий «N-1»)] требуется как реактивная, так и активная мощность.

Традиционные источники выработки реактивной мощности могут быть заменены СНЭЭ, работающими под централизованным или распределенным управлением. ППЭ СНЭЭ, используемой для регулирования напряжения, должна быть способна работать при переменном коэффициенте мощности. Эта возможность доступна во всех ППЭ, используемых в современных СНЭЭ. Регулирование напряжения электросети как правило используется как сопутствующая функция, а не как отдельный сценарий применения. Планы регулирования напряжения электросети могут варьироваться и для достижения регулирования напряжения включать в себя управление реактивной и активной мощностью.

6.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

Чтобы должным образом обеспечивать функциональность для применения регулирования напряжения к используемому оборудованию, должны быть установлены требования по следующим параметрам.

а) Отклонение напряжения

Отклонение напряжения $\Delta U\%$ — это отношение разницы между напряжением $U_{\text{ТПСН}}$, измеренным на ТПСН, и номинальным напряжением энергосистемы $U_{\text{н}}$.

$$\Delta U\% = \frac{U_{\text{ТПСН}} - U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\ \%, \tag{3}$$

б) Длительность времени отклика реактивной мощности

Длительность времени отклика реактивной мощности — это интервал времени отклика СНЭЭ при ответе на сигнал команды на изменение реактивной мощности. За это время находящаяся в режиме ожидания СНЭЭ должна достигнуть поглощения или выдачи 98 % нормированной реактивной мощности от начального значения реактивной мощности, полученной при начальных измерениях.

в) Скорость нарастания реактивной мощности

Скорость нарастания реактивной мощности — это скорость изменения реактивной мощности, поглощаемой или выдаваемой СНЭЭ, выраженная как процентное изменение нормированной реактивной мощности с течением времени (проценты в секунду).

6.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2.

6.3 Конструирование СНЭЭ

6.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют к применениям регулирования напряжения сети. Дополнительные требования приведены ниже. Чтобы обеспечить эффективность применения регулирования напряжения сети, СНЭЭ должна быть установлена в сопряжении с сетью. Пример архитектуры СНЭЭ для регулирования напряжения сети показан на рисунке 22. Система контроля напряжения отвечает за измерение напряжения, СУР анализируют информацию о напряжении, а затем отправляют сигнал регулирования напряжения подсистеме управления.

6.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

6.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

Применяют 4.3.4.

6.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

Применение СНЭЭ для регулирования напряжения сети заключается в поглощении из энергосистемы/электросети реактивной мощности или отдачи ее обратно. Как показано на рисунке 23, имеются четыре точки, обозначенные от U_1 до U_4. Кусочно-линейная кривая будет включать для каждой точки напряжение, указанное в процентах от уставки опорного напряжения, $U_{\text{уст.о}}$, и желаемый уровень реактивной мощности, указанный в процентах от доступной реактивной мощности.

По определению предполагается, что желаемый уровень реактивной мощности должен оставаться постоянным для напряжений ниже U_1 (например, на уровне Q_1) и выше точки наивысшего напряжения на Q_4. Как показано, первая точка в конфигурации регулирования напряжения должна быть точкой самого низкого напряжения, а последняя — точкой самого высокого напряжения.

Для поглощения и отдачи реактивной мощности СНЭЭ, используемая для регулирования напряжения, должна быть способна работать при переменном коэффициенте мощности.

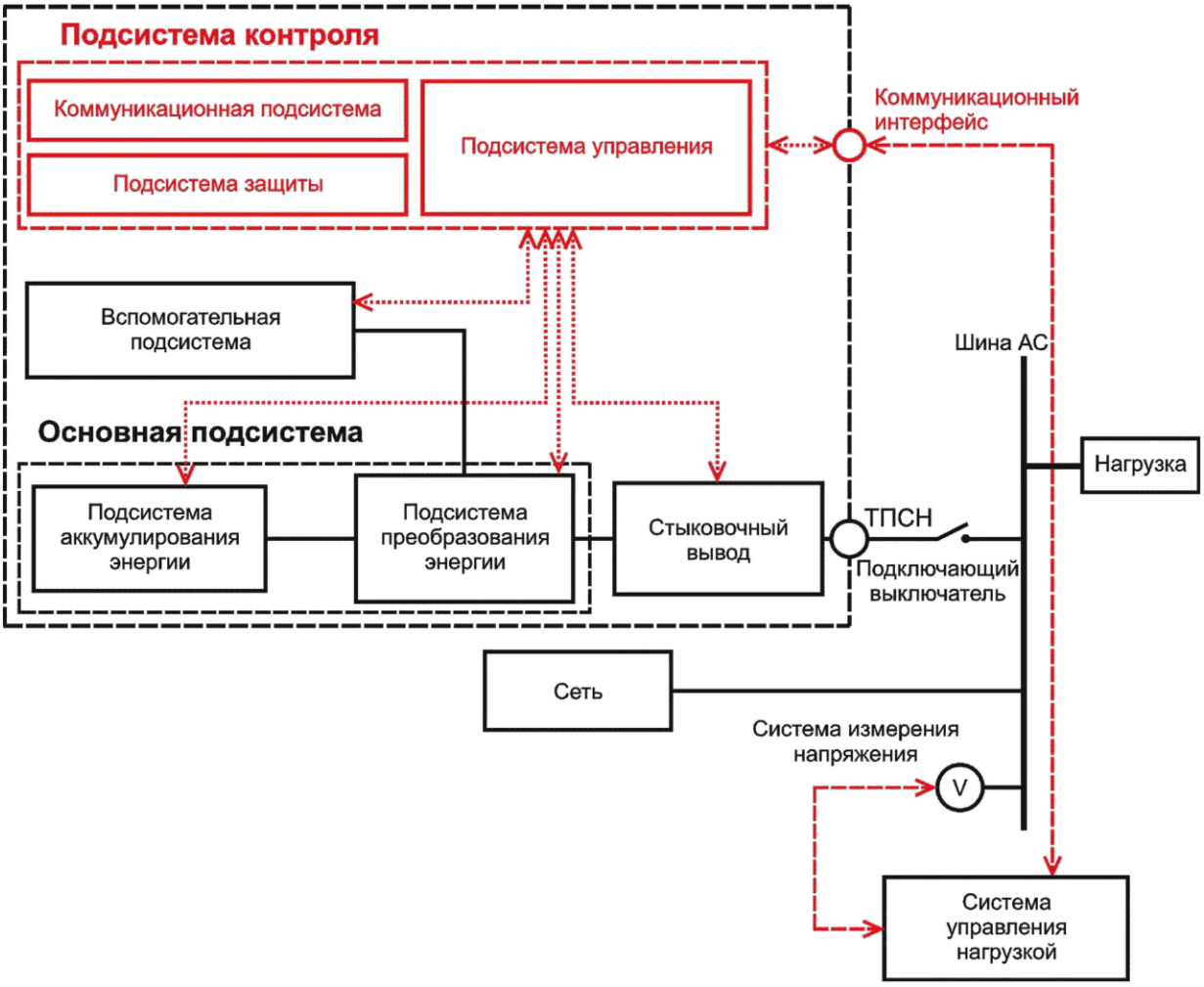
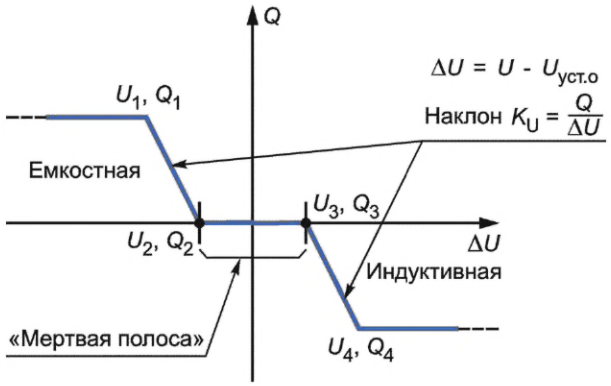


Рисунок 22 — Пример архитектуры СНЭЭ системы регулирования напряжения энергосистемы/электросети



Примечание — На рисунке «мертвая полоса» может быть настраиваемой и по умолчанию равна нулю ($U_2 = U_3$).

Рисунок 23 — Пример графика регулирования напряжения реактивной мощностью

6.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

6.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

6.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс определения энергоемкости и мощности СНЭЭ для регулирования напряжения показан на рисунке 24.

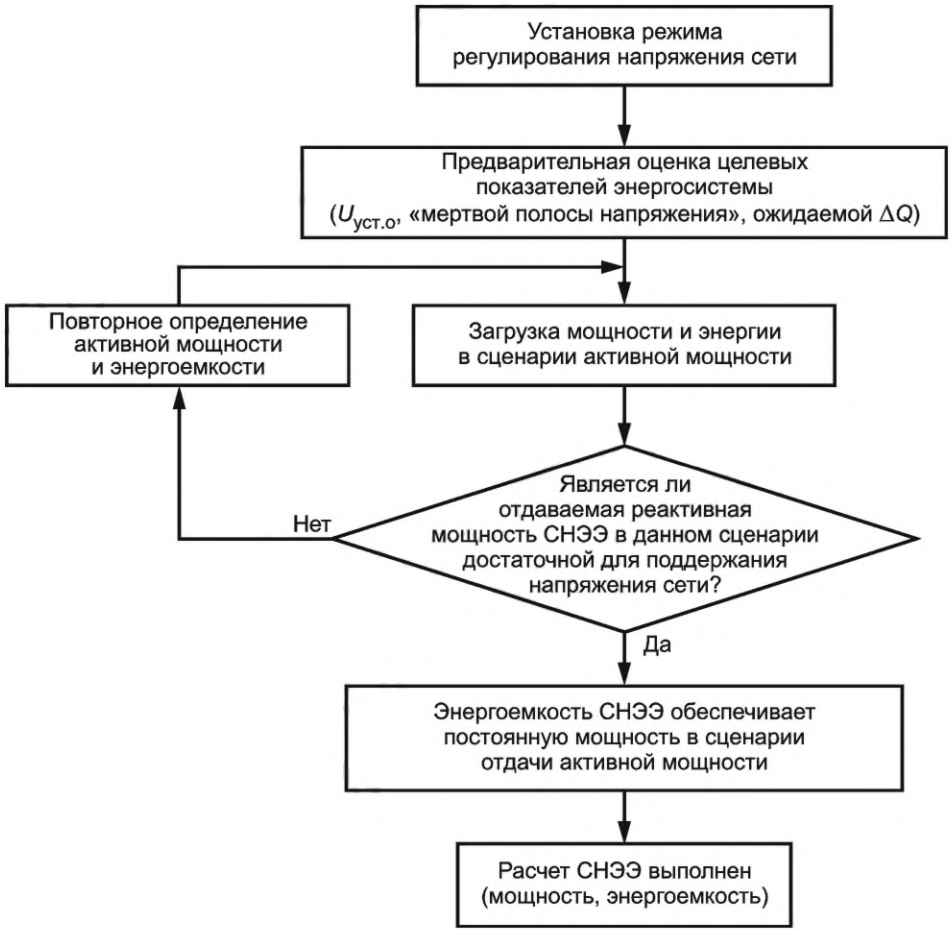


Рисунок 24 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для регулирования напряжения

б) Требования к расчету энергетических параметров

При выполнении процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ должны быть соблюдены требования по учету следующих параметров:

- возможностей по мощности и ЭС СНЭЭ;
- различных стратегий управления;
- срока службы ПАЭ, зарядно-разрядных характеристик, оптимальных интервалов заряда-разряда и экономических вопросов;
- изменений характеристик напряжения электросети, выявленных за время предыдущей эксплуатации, и сезонной разницы профиля нагрузки.

6.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

6.5 Срок службы СНЭЭ

6.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

6.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

6.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

Задачей СНЭЭ в режиме регулирования напряжения является управление напряжением в энергосистеме. Если энергосистема не может обеспечить стабильное напряжение, для уравновешивания реактивной мощности должно запускаться управление реактивной мощностью СНЭЭ, которая в свою очередь косвенно регулирует напряжение энергосистемы и способствует восстановлению напряжения до допустимого диапазона. Когда напряжение в энергосистеме вернется в установленный диапазон, СНЭЭ должна автоматически выйти из режима регулирования напряжения электрической сети. Регулирование напряжения электрической сети также связано с активной мощностью и СЭ.

6.5.4 Мониторинг

Следует контролировать следующие параметры:

- сигнализацию неисправности оборудования;
- сигналы состояния оборудования (например, состояние размыкателей и выключателей: Вкл./Выкл.);
- рабочие температуры;
- параметры кривой отклика выходной реактивной мощности от напряжения.

Для определения возможности СНЭЭ функционально выполнять регулирование напряжения электросети необходимо рассмотрение следующих параметров:

- U — напряжение во время работы СНЭЭ;
- P — активная мощность, поглощаемая/выдаваемая во время заряда/разряда СНЭЭ, за вычетом мощности, необходимой для поддержки ее вспомогательных подсистем;
- Q — реактивная мощность, поглощаемая/выдаваемая во время заряда/разряда СНЭЭ, за вычетом реактивной мощности, связанной с ее вспомогательными подсистемами;
- I_r — реактивный ток, находящийся под прямым управлением ППЭ, устанавливающей ограничения по току, являющиеся реактивным аналогом ограничений по току в тракте активной мощности, и который предназначен для предоставления приоритета командам управления активной мощностью или командам управления реактивной мощностью.

7 Нивелирование провалов напряжения ($P(U)$)

7.1 Применение СНЭЭ

7.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

Событие провала напряжения определяется как одна из проблем КЭ, когда среднеквадратичное значение переменного напряжения, нормированное на единицу, падает ниже 0,9 и повышается на 0,01 в течение от 0,5 цикла до 1 мин. Предоставление активной мощности для нивелирования провала напряжения типично для системы СНЭЭ, подключенной к распределительным электрическим сетям. На рисунке 25 показан пример провала напряжения в соответствии с ГОСТ 30804.4.11—2013.

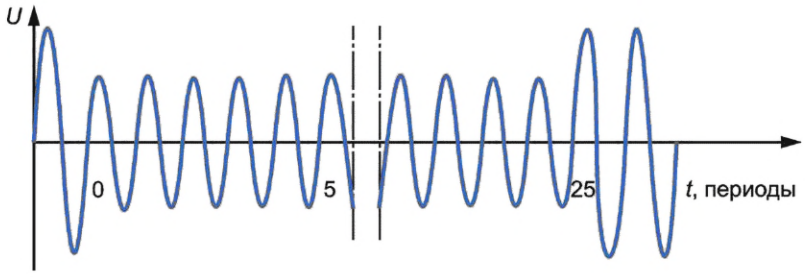


Рисунок 25 — Пример провала напряжения

Провалы напряжения могут сильно повлиять на потребителей электрической энергии с требованиями высокой надежности электроснабжения. СНЭЭ должны устранять провал напряжения путем подачи активной/реактивной мощности на срок до 1 мин.

При применении СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения не требуется, чтобы СНЭЭ обеспечивала потребителей достаточным количеством энергии. Поскольку событие провала напряжения

связано с необходимостью проведения разряда, чтобы СНЭЭ могла обеспечивать пиковую мощность на нижнем пределе оставшегося запаса энергии, начальная фактическая энергия СНЭЭ должна быть более $СЭ_{рез.мин}$.

7.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

Чтобы должным образом обеспечивать функциональность для применения нивелирования провалов напряжения к используемому оборудованию, устанавливают требования по следующим параметрам.

а) Длительность компенсации

Длительность компенсации — интервал времени от момента достижения значения выходного напряжения $U_{вых.}$ значения 90 % уставки напряжения $U_{уст.}$ до падения выходного напряжения до значения 90 % уставки напряжения, как показано на рисунке 26.

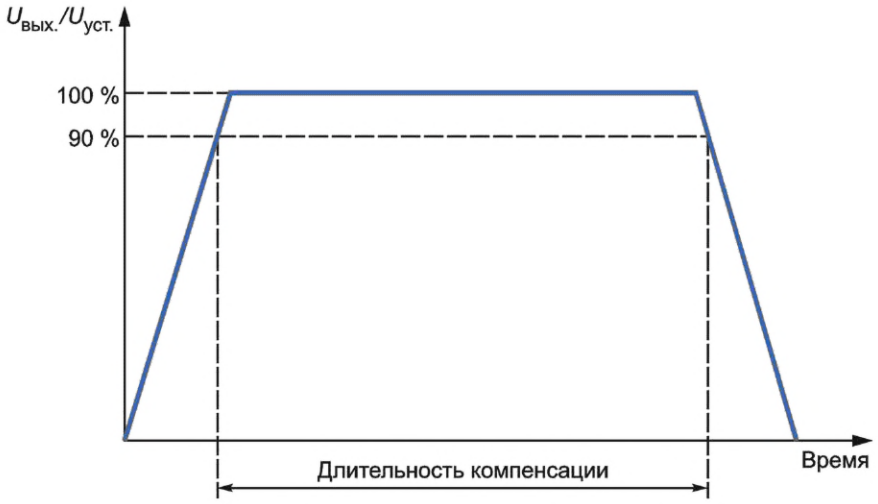


Рисунок 26 — Пример длительности компенсации СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения

б) Нормированная мощность компенсации

Нормированная мощность компенсации СНЭЭ — произведение нормированного напряжения компенсации и нормированного тока.

в) Нормированная продолжительность компенсации

Нормированная продолжительность компенсации — интервал времени, обеспечиваемый при работе СНЭЭ с нормированной мощностью компенсации (должен быть не менее 1 мин).

г) Длительность времени регулирования

Длительность времени регулирования — интервал времени от момента падения напряжения сети до 90 % значения уставки напряжения $U_{уст.}$ (как правило номинального значения напряжения $U_{н}$) до момента времени окончания компенсации значения напряжения нагрузки $U_{вых.}$, до 90 % уставки напряжения $U_{уст.}$ (номинального напряжения сети $U_{н}$), обеспечиваемого применением СНЭЭ, как показано на рисунке 27.

д) Требования к энергосодержанию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.4.

е) Требования к эффективности СНЭЭ

Применяют 4.1.2.5.

ж) Требования к быстродействию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.6.

7.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2.

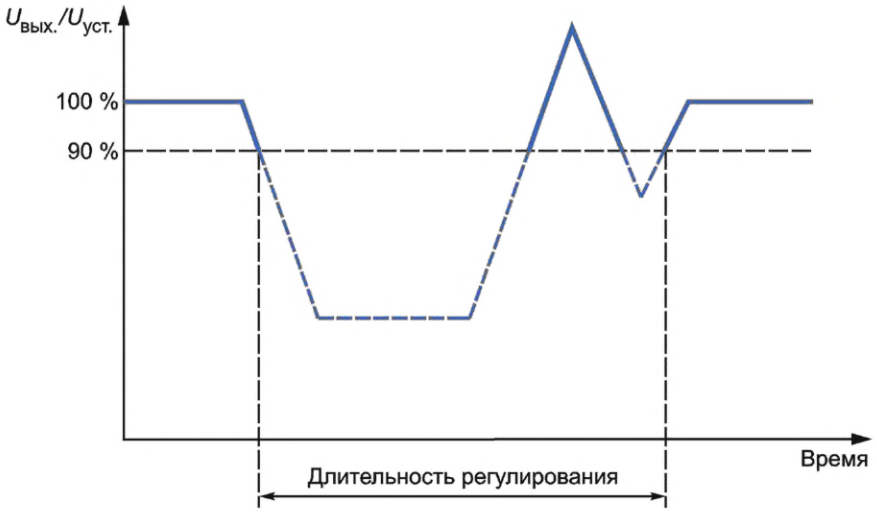


Рисунок 27 — Пример длительности регулирования СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения

7.3 Конструирование СНЭЭ

7.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют к применениям по нивелированию провалов напряжения. Дополнительные требования приведены ниже. Пример архитектуры СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения для смягчения последствий для важных нагрузок показан на рисунке 28.

В состав архитектуры СНЭЭ для применений по нивелированию провалов напряжения включают энергосистему, системы контроля напряжения, СНЭЭ, переключатель, важные нагрузки, а также СУР. Если напряжение в электрической сети нормальное, она подает питание на важные нагрузки и СНЭЭ. Системы контроля напряжения на стороне электрической сети и на стороне нагрузки измеряют напряжение в реальном времени, чтобы определить, происходит ли провал напряжения. Если это происходит, СНЭЭ должна устранить провал напряжения, подавая активную мощность на срок до 1 мин. Статический переключатель быстро отключает важную нагрузку от электрической сети. Переключатель байпаса может состоять из механических переключателей, таких как автоматические размыкатели и контакторы для защиты устройства и байпаса. СУР обеспечивает получение сигнала о падении напряжения, мониторинг текущего состояния СНЭЭ и управление СНЭЭ для разряда.

7.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

7.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой/электрической сетью

Применяют 4.3.4.

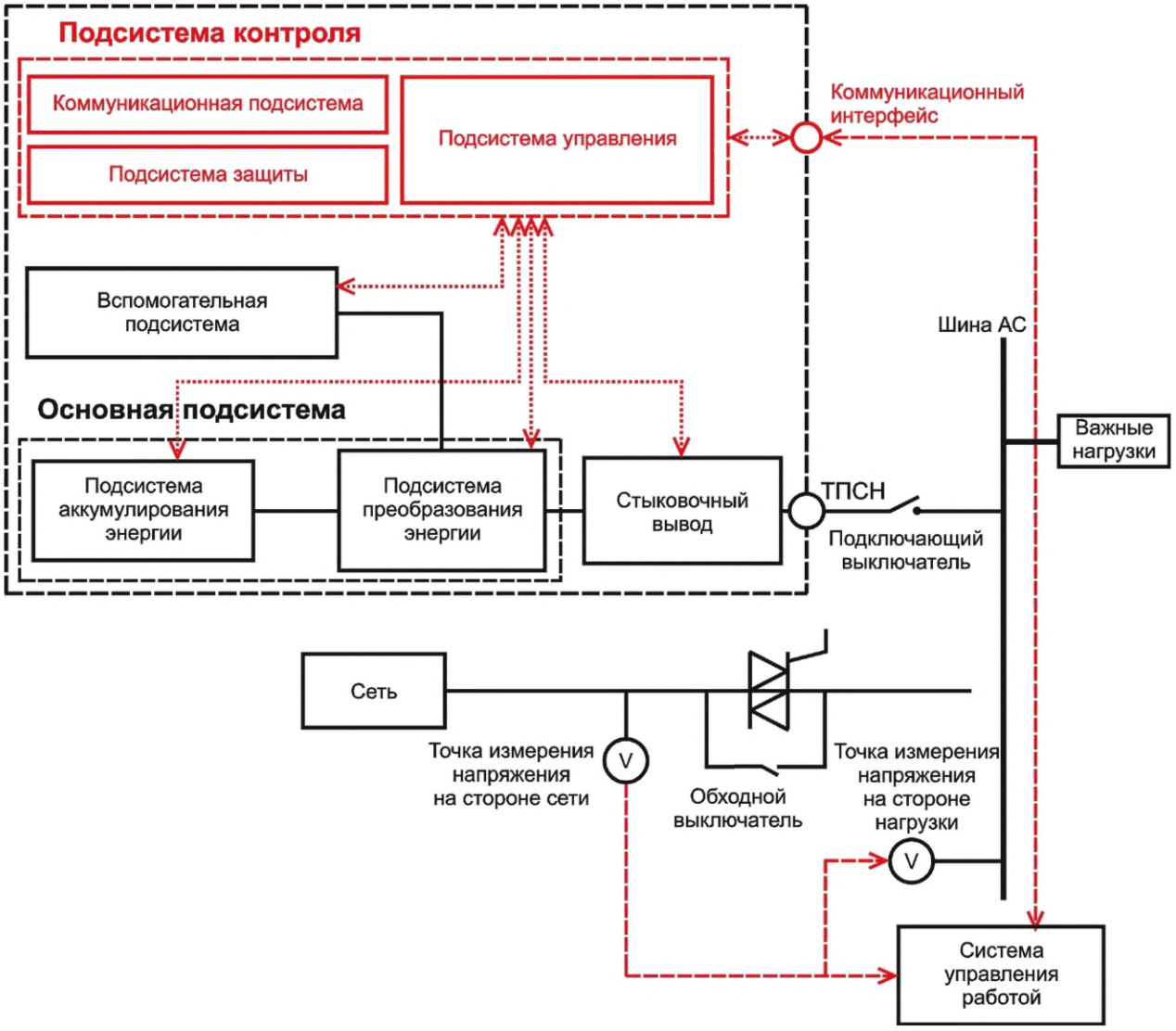


Рисунок 28 — Пример архитектуры СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения

7.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

Пример стратегии управления СНЭЭ для применения по нивелированию провалов напряжения показан на рисунке 29. Если напряжение электросети находится в нормальном состоянии, то статический выключатель находится в замкнутом состоянии и сеть подает питание на важные нагрузки и СНЭЭ. Система контроля напряжения измеряет напряжение электрической сети и напряжение важной нагрузки в режиме реального времени. При падении среднеквадратичного значения напряжения электрической сети до 90 % номинального значения статический выключатель размыкается и питание на важную нагрузку подает СНЭЭ. После того как напряжение в электрической сети возвращается к нормальному значению, статический выключатель переходит в замкнутое состояние, СНЭЭ перестает разряжаться, и нагрузка получает электропитание от восстановившейся электрической сети.

7.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

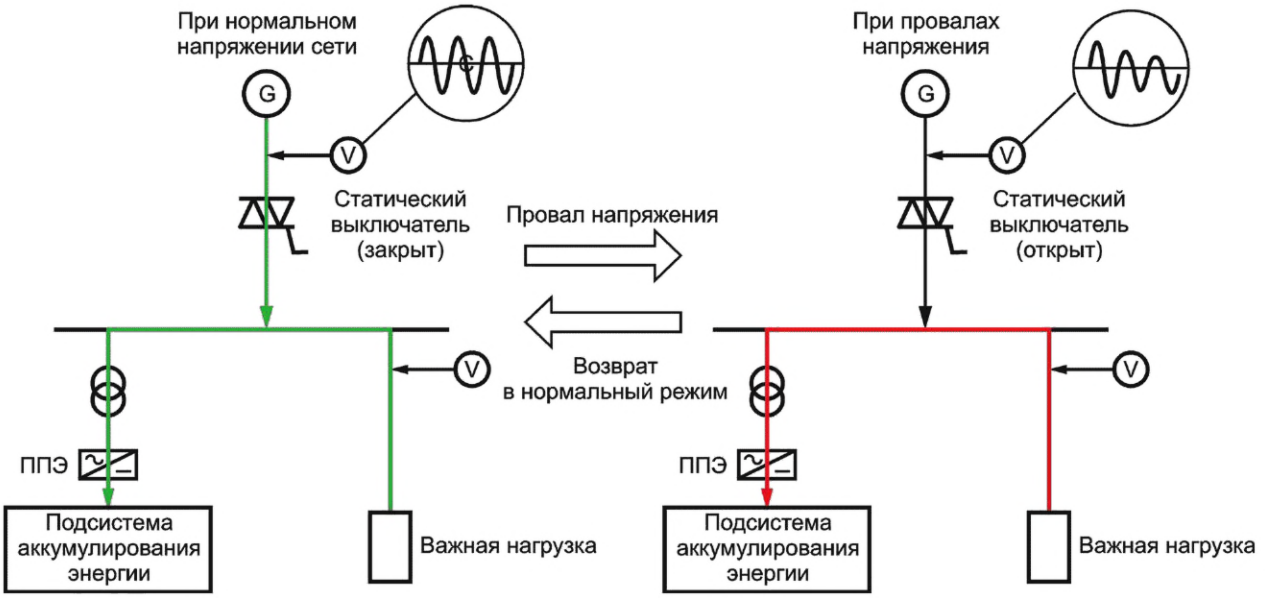


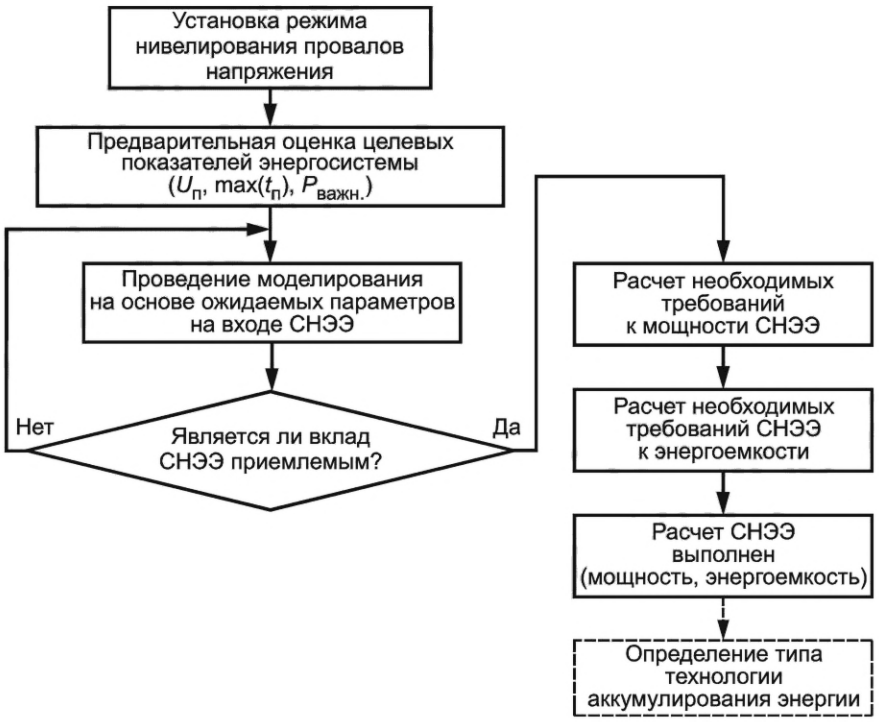
Рисунок 29 — Пример стратегии управления для применения СНЭЭ по нивелированию провалов напряжения

7.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

7.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения показан на рисунке 30.



$U_п$ — пороговое значение напряжения, используемое для определения начала и конца провала напряжения; max($t_п$) — максимальная продолжительность времени провала напряжения для достижения $U_п$; $P_{важн.}$ — мощность важной нагрузки

Рисунок 30 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для нивелирования провалов напряжения

б) Требования к расчету энергетических параметров

При выполнении процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для функции нивелирования провалов напряжения должны быть соблюдены требования по учету следующих параметров:

- характеристики динамического регулирования напряжения ППЭ;
- анализ кривых провалов напряжения, выявленных за время эксплуатации (длительность провалов, с, глубина провалов, %, и длительность восстановления сети, с или мин);
- анализ устойчивости и пусковой мощности важной нагрузки (устойчивость нагрузки, %/с, пусковая мощность нагрузки, кВт);
- принятие решения о характеристиках и энергоемкости СНЭЭ:

$$T_{\text{перекл.}} = T_{\text{обн.}} + T_{\text{выкл.}} + T_{\text{ППЭ}} < T_{\text{н.уст.}}, \quad (4)$$

$$P_{\text{кратк.}} > P_{\text{пуск.}}, \quad (5)$$

$$T_{\text{к}} > T_{\text{ист.}} + T_{\text{рег.}} + T_{\text{вкл.}} > T_{\text{восст.}}, \quad (6)$$

$$E > P_{\text{н.нр.}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (7)$$

$$T_{\text{инт.}} = T_{\text{след.}} < T_{\text{ист.инт.}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{перекл.}}$ — длительность переключения системы;
$T_{\text{обн.}}$ — длительность обнаружения провала напряжения;
$T_{\text{выкл.}}$ — длительность выключения главного выключателя;
$T_{\text{ППЭ}}$ — длительность активации ППЭ или изменения режима ее работы (от заряд-разряд к обособление-разряд);
$T_{\text{н.уст.}}$ — длительность устойчивости важной нагрузки к провалу напряжения;
$P_{\text{кратк.}}$ — кратковременная мощность системы;
$P_{\text{пуск.}}$ — пусковая мощность важной нагрузки;
$T_{\text{к}}$ — длительность компенсации;
$T_{\text{ист.}}$ — длительность происходивших ранее провалов напряжения;
$T_{\text{рег.}}$ — длительность регулирования напряжения;
$T_{\text{вкл.}}$ — длительность включения главного выключателя;
$T_{\text{восст.}}$ — продолжительность восстановления сети (в зависимости от ее типа);
E — энергоемкость СНЭЭ;
$P_{\text{н.нр.}}$ — нормированная мощность важной нагрузки;
$T_{\text{инт.}}$ — интервал времени события в энергосистеме;
$T_{\text{след.}}$ — интервал времени до события следующего провала напряжения;
$T_{\text{ист.инт.}}$ — интервалы времени между провалами напряжения, зафиксированные ранее.

7.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

7.5 Срок службы СНЭЭ

7.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

7.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

7.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

Процесс управления СНЭЭ при возникновении провала напряжения в электросети должен быть следующим:

- в нормальных рабочих условиях статический переключатель замкнут и нагрузка получает электропитание от сети;
- СУР измеряет напряжение электрической сети в реальном времени;
- при обнаружении неисправности СУР отправляет команду на статический выключатель и ППЭ. Статический выключатель быстро выключается после получения команды, и нагрузка отключается от сети.

После получения команды ППЭ устанавливает уставку нормированного выходного напряжения и начинает подавать мощность, чтобы обеспечить электропитание важной нагрузки от СНЭЭ после выключения статического переключателя. Применение для нивелирования провалов напряжения требует взаимодействия различных компонентов системы.

7.5.4 Мониторинг

Система мониторинга СНЭЭ должна:

- автоматически выполнять обнаружение провала напряжения, начало компенсации, остановку компенсации и другие операции, чтобы гарантировать, что напряжение на стороне нагрузки находится в допустимом диапазоне;
- иметь человеко-машинный интерфейс для локальной работы и коммуникационный интерфейс для удаленного мониторинга и управления;
- выполнять следующие операции на локальном интерфейсе мониторинга: блокировку переключателя, запуск и останов устройства, а также сброс сигнала;
- автоматически завершать операцию отключения, за исключением разъединителя обособления;
- отображать необходимую информацию, позволяющую обслуживающему персоналу наблюдать за работой оборудования и определять причину неисправности.

Данные контролируемых коммутационных устройств включают:

- состояние переключения статического выключателя и переключателя байпаса на стороне сети;
- статус замкнутости выключателя доступа на ТПСН.

Система мониторинга должна иметь как минимум следующие функции:

а) отображение рабочего состояния;

б) отображение основной схемы системы (включая информацию о положении каждого переключателя);

в) аналоговое отображение (напряжение системы, напряжение нагрузки, ток устройства, напряжение постоянного тока);

г) функции записи событий и индикации запросов;

д) функция записи и отображения: когда напряжение в системе ненормальное или устройство неисправно, оно должно иметь возможность автоматически записывать важные данные (напряжение, ток, положение переключателя и т. д.) до и после события. Записываемый интервал времени должен быть более 2 мин при частоте дискретизации не менее 5 кГц;

е) отображение рабочего состояния системы охлаждения.

8 Применения, связанные с интеграцией возобновляемых источников энергии и СНЭЭ

8.1 Сглаживание мощности, генерируемой возобновляемыми источниками энергии

8.1.1 Применение СНЭЭ

8.1.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

СНЭЭ должна сглаживать неравномерность мощности генерации ВИЭ, имеющей стохастический характер, поглощая или выдавая энергию в соответствующее время. Ключевая задача этого применения — обеспечить соответствие требованиям энергосистемы к скорости нарастания мощности. Продолжительность сглаживания определяется системой управления и составляет, как правило, интервал от секунд до нескольких минут.

8.1.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

Для обеспечения должной функциональности СНЭЭ в применении сглаживания мощности, генерируемой ВИЭ к используемому оборудованию должны быть установлены требования по следующим параметрам.

а) Эффективность сглаживания мощности ВИЭ

Для характеристики эффективности сглаживания СНЭЭ энергии генерации ВИЭ установлены следующие показатели.

1) Уменьшение стандартного отклонения мощности

Мерой количественной оценки воздействия СНЭЭ на сглаживание генерации ВИЭ является уменьшение стандартного отклонения мощности (УОМ) $\eta_{УОМ}$:

$$\eta_{УОМ} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\hat{\sigma}_{сглаж.}}{\hat{\sigma}_{несглаж.}}\right), \quad (9)$$

где $\hat{\sigma}_{сглаж.}$ — стандартное отклонение мощности генерации ВИЭ при совместной работе с СНЭЭ;

$\hat{\sigma}_{несглаж.}$ — стандартное отклонение мощности генерации ВИЭ без применения СНЭЭ.

2) Уменьшение стандартного отклонения скорости изменения мощности

Мерой количественной оценки воздействия СНЭЭ на снижение скорости изменения мощности генерации возобновляемой энергии является уменьшение стандартного отклонения скорости изменения мощности (УОСМ) $\eta_{УОСМ}$:

$$\eta_{УОСМ} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\hat{\zeta}_{сглаж.}}{\hat{\zeta}_{несглаж.}}\right), \quad (10)$$

где $\hat{\zeta}_{сглаж.}$ — стандартное отклонение скорости изменения мощности генерации ВИЭ при совместной работе с СНЭЭ;

$\hat{\zeta}_{несглаж.}$ — стандартное отклонение скорости изменения мощности генерации ВИЭ без применения СНЭЭ.

3) Сужение размаха диапазона генерируемых мощностей

Сужение диапазона генерируемых мощностей $\eta_{колеб.}$ представляет собой оценочный критерий эффективности СНЭЭ путем количественной оценки того, насколько уменьшены самые большие колебания мощности ВИЭ за сутки $P_{колеб.макс.}$:

$$\hat{R}(n) = X(n) - \frac{1}{N+1} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} X(n), \quad (11)$$

$$P_{колеб.макс.} = \max\left|\hat{R}(n)\right|, \quad (12)$$

$$\eta_{колеб.} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\hat{R}_{сглаж.}(m)}{P_{колеб.макс.}}\right), \quad (13)$$

где N — количество выборок в минуту выхода генерации ВИЭ;

$X(n)$ — сигнал мощности ВИЭ;

$\hat{R}(n)$ — остаток $X(n)$;

m — линейный индекс $P_{колеб.макс.}$.

Оценив максимум описанной выше функции остатка $\hat{R}(n)$, основанной на наборе данных о мощности генерируемой ВИЭ без применения СНЭЭ, можно определить величину наибольшего колебания мощности ВИЭ в эти конкретные сутки.

б) Требования к энергосодержанию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.4.

в) Требования к эффективности СНЭЭ

Применяют 4.1.2.5.

г) Требования к быстродействию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.6.

8.1.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2.

8.1.3 Конструирование СНЭЭ

8.1.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют к применениям сглаживания стохастической мощности генерируемой ВИЭ. Дополнительные требования приведены ниже. СНЭЭ устанавливают совместно с ВИЭ (фотоэлектрическая установка, ветрогенератор и т. д.). Пример архитектуры СНЭЭ, работающей совместно с ВИЭ, показан на рисунке 31. СНЭЭ и ВИЭ должны быть связаны с СУР через коммуникационный интерфейс.

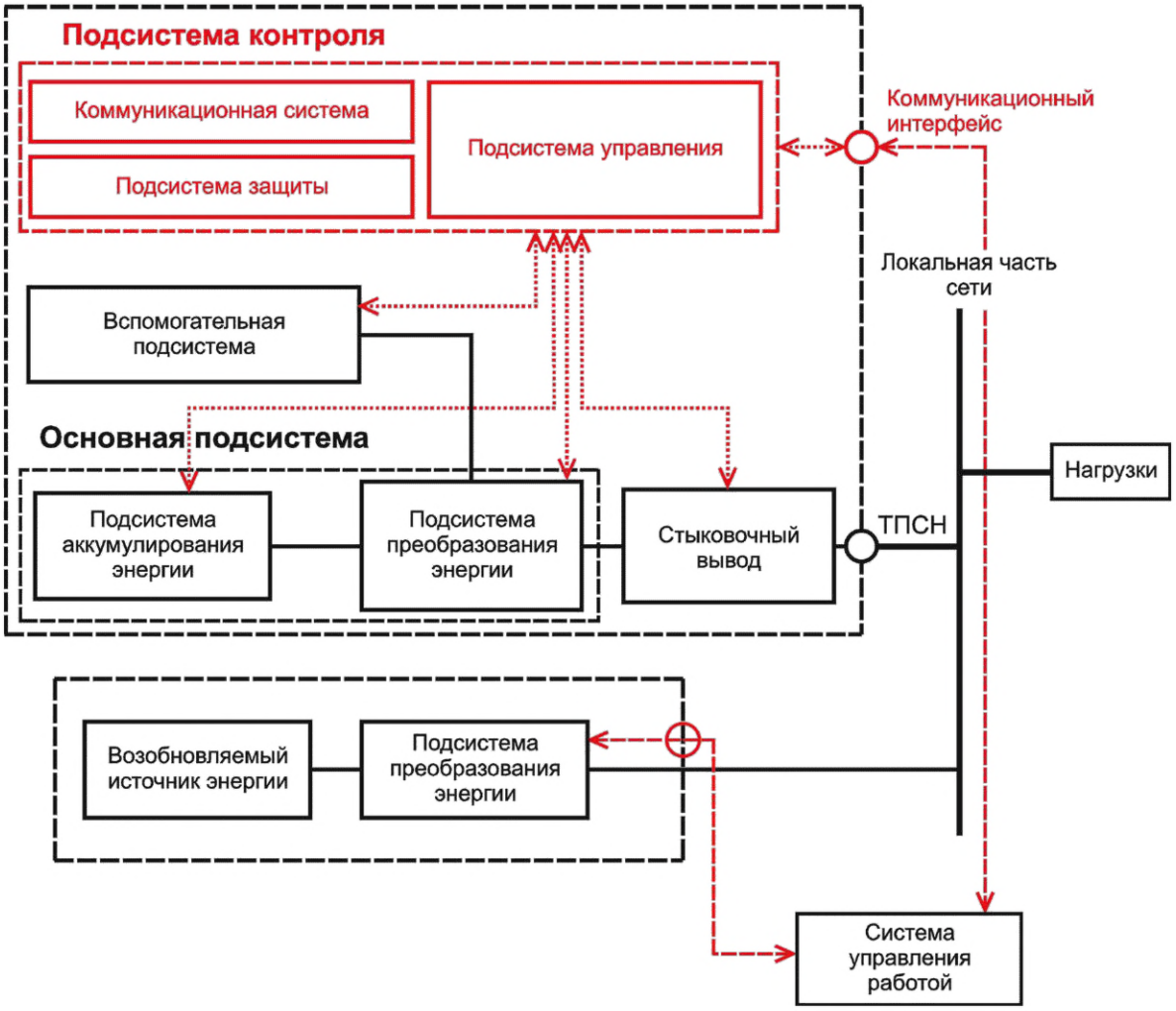


Рисунок 31 — Пример архитектуры СНЭЭ, работающей совместно с ВИЭ

8.1.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

8.1.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой/электрической сетью

Применяют 4.3.4. Дополнительно следует учитывать требования ГОСТ Р 59949.

8.1.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

В соответствии с эксплуатационными требованиями к сглаживанию мощности ВИЭ программа автоматического сглаживания в подсистеме управления управляет СНЭЭ для работы в соответствии с уставкой диапазона сглаживания. Пример стратегии управления при работе в режиме сглаживания мощности ВИЭ показан на рисунке 32.

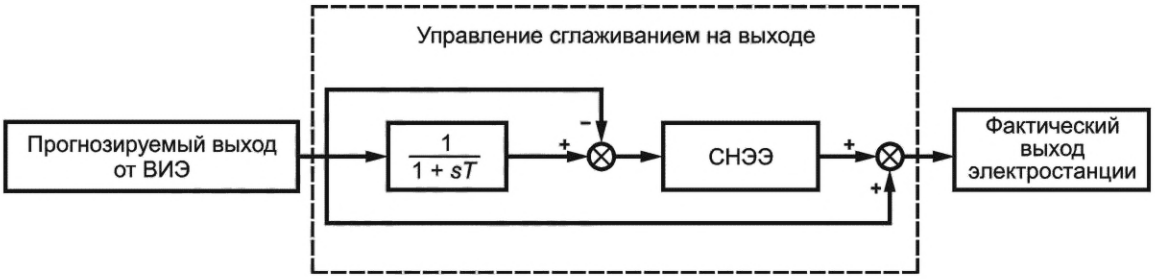


Рисунок 32 — Пример стратегии управления для применения сглаживания мощности ВИЭ

При работе в составе энергосистемы в режиме оперативно-диспетчерского управления следует учитывать требования ГОСТ Р 59949.

8.1.3.5 Коммуникационный интерфейс

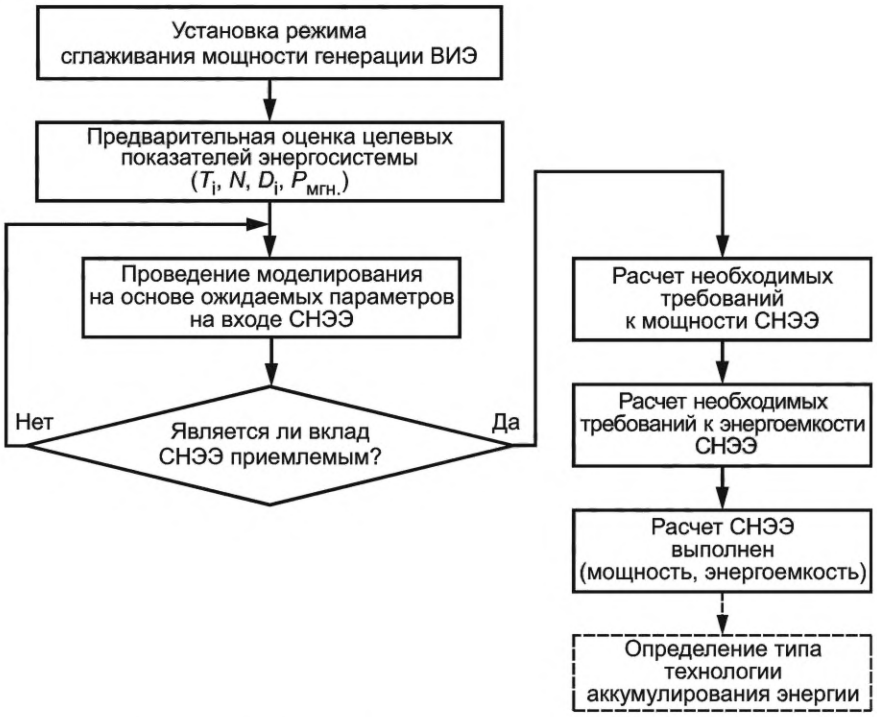
Применяют 4.3.8.

8.1.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

8.1.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для сглаживания мощности генерации ВИЭ показан на рисунке 33.



T_i — установленная шкала времени; N — количество выборок в минуту выхода генерируемой ВИЭ мощности; D_i — допустимый предел изменения выходной мощности по шкале времени T_i.

Рисунок 33 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для сглаживания мощности ВИЭ

Примечание — Существует три различных вида математических выражений для ограничений изменения выхода генерируемой ВИЭ стохастической мощности по шкале времени T_i:

а) предел мгновенного колебания мощности: для любых двух моментов времени t, $t - T_i$ с интервалом T_i, мгновенная мощность $P_{мгн.}(t)$, $P_{мгн.}(t - NT_i)$ должна удовлетворять ограничению предельного колебания, описанному в формуле:

$$-D_i \le P_{мгн.}(t) - P_{мгн.}(m) \le D_j \qquad (-NT \le m < 0); \tag{14}$$

б) предел колебаний средней мощности: для двух соседних периодов $t - T_i \sim t$, $t \sim t + T_i$, с интервалом времени между ними T_i, разница средней мощности между ними должна быть в диапазоне пределов колебаний D_i.

$$-D_i \le \frac{1}{NT_i} \sum_{m=t}^{t+NT_i-1} (P_{мгн.}(m) - P_{мгн.}(m - NT_i)) \le D_i; \tag{15}$$

в) предел максимального колебания мощности: для периода $t \sim t + T_i$ с интервалом времени между ними T_i, разница между максимальной и минимальной мощностью в этот период должна быть менее предела изменения выходной мощности D_i:

$$\max_{m=t,t+1,\ldots t+NT_i} P_{мгн.}(m) - \min_{m=t,t+1,\ldots t+NT_i} P_{мгн.}(m) \le D_i. \tag{16}$$

б) Требования к расчету энергетических параметров

При выполнении процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ при ее использовании в составе гибридной энергоустановки совместно с ВИЭ должны быть соблюдены требования по учету следующих параметров:

- возможности по мощности гибридной энергоустановки и СЭ СНЭЭ;
- требования для ВИЭ при их подключении к сети;
- различные стратегии управления;
- срок службы ПАЭ, зарядно-разрядные характеристики, оптимальный интервал заряда-разряда и экономические вопросы;
- изменения характеристик генерации ВИЭ, выявленные за время предыдущей эксплуатации, и сезонная разница выходной мощности генерации.

8.1.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

8.1.5 Срок службы СНЭЭ

8.1.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

8.1.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

8.1.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

Основные процедуры СНЭЭ для сглаживания стохастической мощности генерации ВИЭ показаны на рисунке 34.

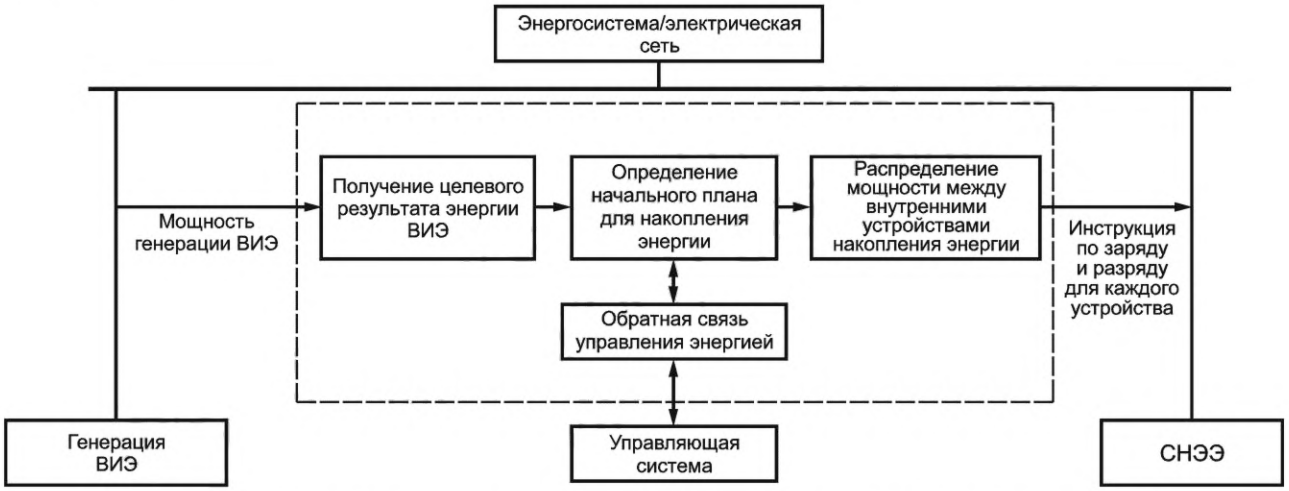


Рисунок 34 — Пример основных процедур сглаживания мощности стохастической генерации ВИЭ

В первую очередь достигается целевой выход возобновляемой энергии. Затем на основе целевого выхода энергии, генерируемого ВИЭ, формируется первоначальный план управления мощностью СНЭЭ, который в дальнейшем корректируется с помощью управления с обратной связью по состоянию СЭ. Уточненный план управления мощностью, распределяется для выполнения между внутренними блоками ПАЭ для определения команд заряда и разряда каждого блока. Результат сглаживания мощности на ТПСН следует сравнивать с требованиями для такого типа гибридных электростанций при их наличии в стандартах и/или действующих НПА. Ядром стратегии сглаживания мощности ВИЭ является получение целевой мощности генерации ВИЭ и управление с обратной связью по энергетическому состоянию.

Целевой выход генерации ВИЭ относится к мощности, которая ожидается после сглаживания СНЭЭ. Методы получения целевого выхода ВИЭ в основном включают алгоритмы управления фильтрацией, такие как фильтрация первого порядка, фильтрация Калмана и вейвлет-фильтрация[1)], и другие алгоритмы управления, такие как скользящее среднее, взвешенное скользящее среднее и управление с прогнозированием модели.

[1)] Вейвлет-фильтрация — нелинейная операция, основанная на обработке сигнала в плоскости время — масштаб (в области вейвлет-преобразования) и предназначенная для удаления шума внутри и вне частотного диапазона сигнала.

Ключевые параметры управления каждого алгоритма управления различны, что влияет на достижение цели использования ВИЭ и на сглаживающий эффект СНЭЭ.

8.1.5.4 Мониторинг

Пример системы мониторинга для СНЭЭ, эксплуатирующейся совместно с ВИЭ в режиме сглаживания мощности, приведен на рисунке 35. Сплошные линии на рисунке 35 указывают направление потока мощности. Генерирующая электростанция ВИЭ поставляет электроэнергию в сеть через СУР. Поток мощности между СНЭЭ и СУР является двунаправленным, что отражает поведение СНЭЭ при заряде и разряде. Пунктирными линиями обозначены сигналы измерения и сигналы управления между станций генерации ВИЭ, СНЭЭ, СУР и системой мониторинга. Обмен информацией между системой мониторинга и вышестоящей системой диспетчеризации единообразно передается через СУР.

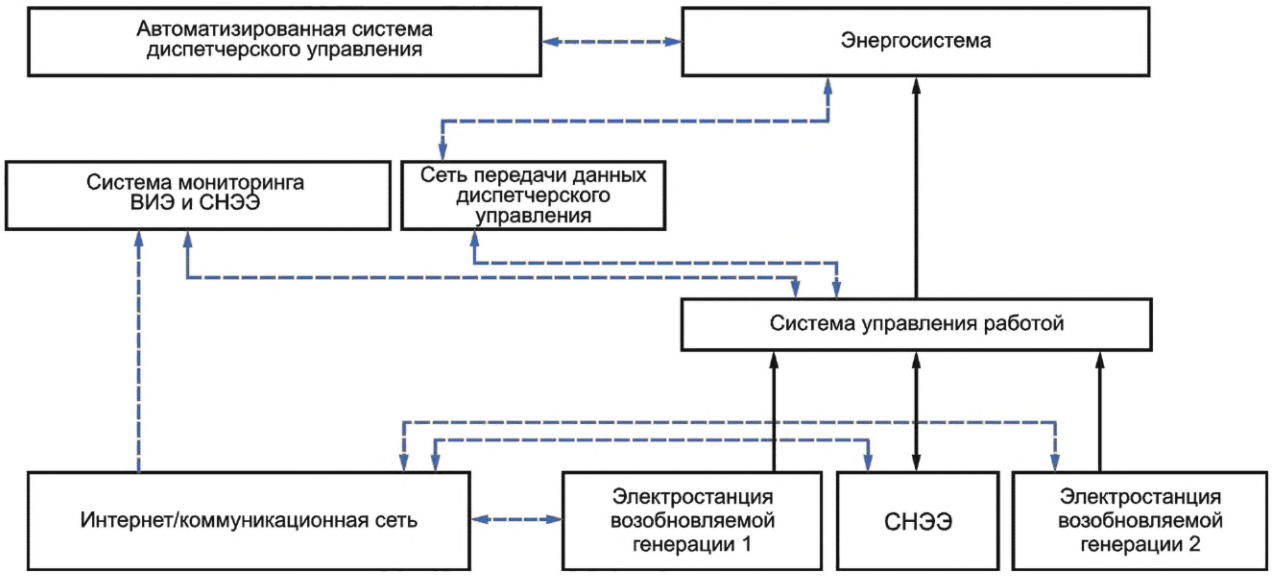


Рисунок 35 — Пример системы мониторинга СНЭЭ для ВИЭ (мощности)

Если СНЭЭ используется для сглаживания мощности генерации ВИЭ, она должна работать автоматически или под диспетчерским управлением в соответствии с задачами в сценарии. Необходимо контролировать рабочее состояние СНЭЭ для проверки, в норме ли сигнал удаленного управления и удаленного измерения параметров СНЭЭ.

Должна контролироваться информация о напряжении, токе, активной мощности, реактивной мощности, аварийной сигнализации и неисправности СНЭЭ. Дополнительно следует отслеживать такую информацию, как аварийные сигналы другого оборудования.

Функции системы мониторинга должны включать в себя поддержку SCADA [10], диагностику и раннее предупреждение, панорамный анализ, управление активной и реактивной мощностью, сбор в реальном времени информации о рабочем состоянии оборудования и рабочих параметров, прогнозирование мощности, передачу данных на вышестоящий уровень планирования, распределение мощности на основании команд диспетчеризации и рабочего состояния СНЭЭ, изменение режима работы.

8.2 Регулирование выработки энергии при работе возобновляемых источников энергии

8.2.1 Применение СНЭЭ

8.2.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

Применение для поддержки энергии при стохастической работе ВИЭ использует СНЭЭ для обеспечения энергией в дополнение к энергии, получаемой при генерации ВИЭ. СНЭЭ должна выдавать энергию путем разряда, когда генерация ВИЭ не достигает установленного порогового значения, и использовать энергию для заряда, когда ситуация обратная. Совокупный выход энергии СНЭЭ и генерации ВИЭ должен быть стабильным в течение требуемого интервала времени. Продолжительность интервала времени, как правило, составляет от 15 мин до нескольких часов. Пороговое значение совокупного выхода энергии определяют исходя из прогнозируемой генерации ВИЭ в течение желаемого временного интервала.

8.2.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

Чтобы должным образом обеспечивать функциональность для применения поддержки энергии ВИЭ к используемому оборудованию, должны быть установлены требования по следующим параметрам.

а) Надежность отслеживания системой выходных данных ПДГ

Степень соответствия между кривой, полученной при диспетчеризации, и кривой выходных данных ПДГ может быть выражена величиной:

$$z(x,y) = \sum_{i=1}^{N} \left| x_i - y_i \right|, \tag{17}$$

где x_i — значения кривой, полученной при диспетчеризации в i-м периоде;

y_i — значения кривой выходных данных ПДГ в i-м периоде;

N — количество сегментов в сутки;

$z(x, y)$ — это расстояние между кривыми x и y.

б) Требования к энергосодержанию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.4.

в) Требования к эффективности СНЭЭ

Применяют 4.1.2.5.

г) Требования к быстродействию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.6.

8.2.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2 с учетом требований ГОСТ Р 59949.

8.2.3 Конструирование СНЭЭ

8.2.3.1 Архитектура СНЭЭ

Применяют 4.3.2.

8.2.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

8.2.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

Применяют 4.3.4.

8.2.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

При функционировании в режиме поддержки энергии при работе ВИЭ целевой задачей СНЭЭ является отслеживание плана выработки электроэнергии электростанции на основе ВИЭ и оптимизация ее работы с учетом имеющейся энергии СНЭЭ, нормированной мощности, СЭ и других ограничений. Пример стратегии управления для поддержки стохастической генерации энергии ВИЭ показан на рисунке 36.



Рисунок 36 — Пример стратегии управления применения поддержки стохастической генерации энергии ВИЭ

Обмен энергией и управление СНЭЭ должны состоять из двух этапов. Вначале ожидаемое значение обмена энергии СНЭЭ формулируется в модуле управления отслеживанием плана генерации электростанции. Далее ожидаемое значение обмена энергии СНЭЭ корректируется в реальном времени в модуле управления СНЭЭ с обратной связью. Ожидаемое значение обмена энергии СНЭЭ основано на отклонении между значением краткосрочного прогноза выходной мощности и планом генерации электроэнергии электростанции ВИЭ. Обмен энергии СНЭЭ в реальном времени определяется нормированной мощностью и остаточной энергией СНЭЭ.

8.2.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

8.2.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

8.2.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для поддержки энергии при работе ВИЭ показан на рисунке 37.

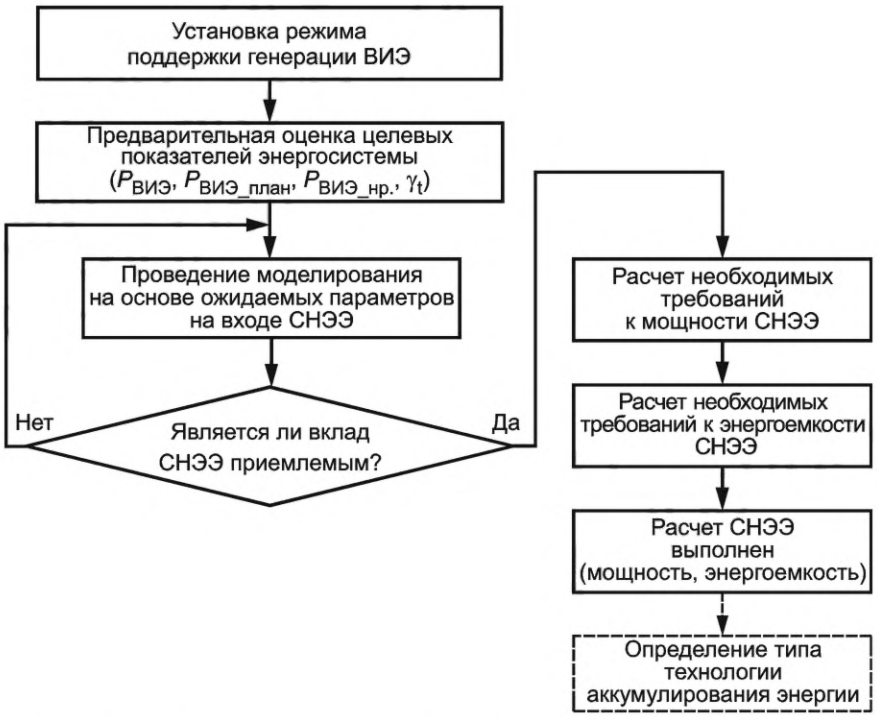


Рисунок 37 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для поддержки энергии при работе ВИЭ

Примечания

1 $P_{ВИЭ}$ — фактическая выходная мощность ВИЭ; $P_{ВИЭ,план}$ — план-график выходной мощности ВИЭ; $P_{ВИЭ,нр.}$ — нормированная мощность ВИЭ; γ — коэффициент отклонения.

2 Фактический выход ВИЭ после СНЭЭ должен находиться, насколько это возможно, в максимально допустимом диапазоне выхода электроэнергии. Допустимый интервал выхода ВИЭ [$P_{ВИЭ,план}(t) - \gamma P_{ВИЭ,нр.}$, $P_{ВИЭ,план}(t) + \gamma P_{ВИЭ,нр.}$] состоит из $P_{ВИЭ}(t)$ и допустимого интервала ошибок прогноза [$-\gamma P_{ВИЭ,нр.}$, $\gamma P_{ВИЭ,нр.}$], а допустимый интервал ошибки прогноза, как правило, принимается как положительное и отрицательное отклонение γ, умноженное на нормированный выход ($\gamma P_{ВИЭ,нр.}$).

б) Требования к расчету энергетических параметров

При выполнении процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ при ее использовании в составе гибридной энергоустановки совместно с ВИЭ должны быть соблюдены требования по учету следующих параметров:

- возможности по мощности гибридной энергоустановки и СЭ СНЭЭ;
- различные стратегии управления;
- срок службы ПАЭ, зарядно-разрядные характеристики, оптимальный интервал заряда-разряда и экономические вопросы;
- соответствие требованиям ПДГ генерации. Поглощаемая и отдаваемая мощность СНЭЭ должна быть совместима с выходной мощностью электростанции ВИЭ и ПДГ генерации;
- ПДГ генерации, изменения характеристик генерации ВИЭ, выявленные за время предыдущей эксплуатации, и сезонная разница выходной мощности генерации ВИЭ.

8.2.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

8.2.5 Срок службы СНЭЭ

8.2.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

8.2.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

8.2.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

Применяют 8.1.5.3.

8.2.5.4 Мониторинг

Применяют 8.1.5.4.

8.3 Совместное применение СНЭЭ и ВИЭ на электрических зарядных станциях для электромобилей

8.3.1 Применение СНЭЭ

8.3.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

СНЭЭ совместно с ВИЭ используется для аккумулирования электроэнергии в периоды малой нагрузки для заряда ЭМ и поддержки быстрого заряда ЭМ в периоды пиковой нагрузки, что эффективно снижает потребность в мощности для заряда ЭМ от электрической сети и улучшает эффективность работы зарядной станции при одновременном снижении требований по установленным мощностям.

Используя СНЭЭ, можно получить более высокую мощность заряда ЭМ, чем максимальная мощность, доступная от внешней электросети, что способствует более широкому внедрению таких зарядных станций и реализации высокой выгоды от дневного и ночного арбитража цен.

8.3.1.2 Требования к СНЭЭ, связанные с выполняемыми функциями

Для обеспечения функциональности при применении СНЭЭ на гибридных электрических зарядных станциях ЭМ, имеющих в своем составе ВИЭ, к используемому оборудованию должны быть установлены требования по следующим параметрам:

а) снижение разницы максимальной и минимальной нагрузки во времени;

б) увеличение доли использования ВИЭ

Доля использования ВИЭ для производства электроэнергии — это отношение использования энергии, полученной при генерации ВИЭ к общему потреблению энергии;

в) требования к энергосодержанию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.4.

г) требования к эффективности СНЭЭ

Применяют 4.1.2.5.

д) требования к быстродействию СНЭЭ

Применяют 4.1.2.6.

8.3.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2.

8.3.3 Конструирование СНЭЭ

8.3.3.1 Архитектура СНЭЭ

Архитектуру и компоненты СНЭЭ, определенные в 4.3.2, также используют к применениям в зарядных станциях ЭМ, имеющих в своем составе ВИЭ. Дополнительные требования приведены ниже. Пример архитектуры СНЭЭ в гибридных электрических зарядных станциях в сочетании с ВИЭ показан на рисунке 38.

8.3.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

8.3.3.3 Интеграция СНЭЭ с энергосистемой

Применяют 4.3.4.

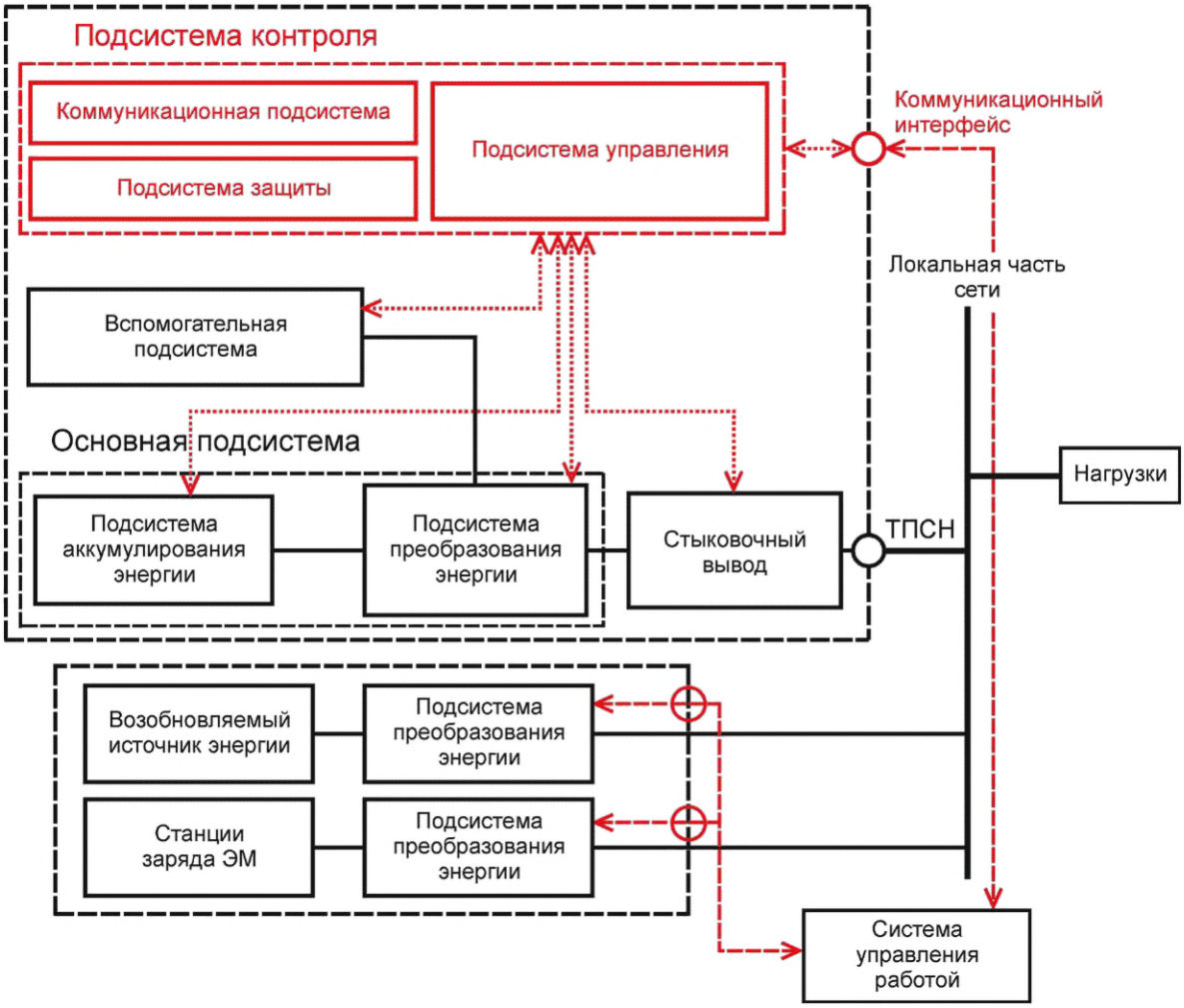


Рисунок 38 — Пример архитектуры СНЭЭ в гибридных электрических зарядных станциях ЭМ, использующих ВИЭ

8.3.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

Так как зарядная нагрузка непостоянна в течение 24 ч, СНЭЭ работает в течение суток в разных режимах работы. Типичные режимы применения включают режим сглаживания мощности, режим формирования нагрузки и режим арбитража цены по времени использования. Чтобы в полной мере использовать преимущества СНЭЭ в различных режимах применения, интервалы сегментации и сегментация режимов заряда и разряда СНЭЭ должны быть основаны на всестороннем анализе мощности нагрузки и тарифных планов в течение полных суток.

8.3.3.5 Коммуникационный интерфейс

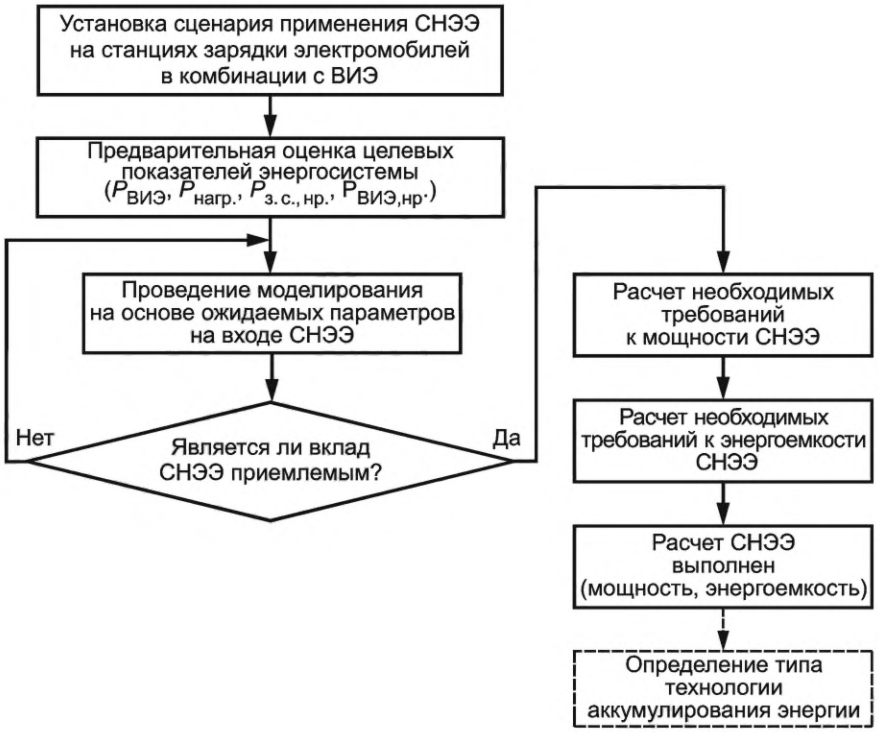
Применяют 4.3.8.

8.3.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

8.3.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ на электрических зарядных станциях в сочетании с ВИЭ показан на рисунке 39.



$P_{ВИЭ}$ — фактическая выходная мощность ВИЭ; $P_{нагр.}$ — мощность нагрузки; $P_{з.с.,\ нр.}$ — нормированная мощность зарядных станций; $P_{ВИЭ,нр.}$ — нормированная мощность ВИЭ

Рисунок 39 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ на электрических зарядных станциях в сочетании с ВИЭ

б) Требования к расчету энергетических параметров

При выполнении процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ должны быть соблюдены следующие требования.

- Расчет энергоемкости СНЭЭ должен учитывать характеристики ПАЭ, характеристики заряда-разряда, а также оптимальный временной интервал заряда-разряда и экономические вопросы.

- СНЭЭ, используемая для формирования нагрузки, должна быть настроена в соответствии с фактическими условиями нагрузки и возможностями по аккумулированию энергии. В зависимости от уровня напряжения доступной сети станции накопления энергии, используемые для формирования нагрузки, как правило, бывают следующих типов: 400 В, 10 кВ и 35 кВ. Максимальная мощность подключенной к электрической сети СНЭЭ должна соответствовать уровню напряжения в ней.

- Предпочтительные периоды времени разряда и заряда, как правило, согласуют с периодами высокого и низкого спроса. Мощность СНЭЭ должна быть настроена в диапазоне 5 %—20 % мощности трансформатора или определена после расчета.

- СНЭЭ, рассчитанная на реагирование на спрос, должна соответствовать требованиям к мощности и временным параметрам спроса. Энергоемкость СНЭЭ должна быть определена на основе ее собственной стратегии работы, мощности спроса и периодов времени, а также экономических соображений.

8.3.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

Применяют 4.4.3.

8.3.5 Срок службы СНЭЭ

8.3.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

8.3.5.2 Оценка рабочих характеристик СНЭЭ

Применяют 4.5.3.

8.3.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

После того как ЭМ прибывает на зарядную станцию, режим заряда выбирается в соответствии с возможностями по отдаче мощности каждой единицы энергооборудования. Если генерация ВИЭ пре-

вышает потребность в нагрузке при заряде, электромобиль заряжается от энергии, генерируемой ВИЭ, а оставшаяся мощность генерации ВИЭ передается в СНЭЭ или в электрическую сеть. Если мощность генерации электрической энергии ВИЭ не удовлетворяет потребность нагрузки для заряда батареи ЭМ, необходимая часть энергии восполняется СНЭЭ или поступает от электрической сети. Если генерация ВИЭ отсутствует, нагрузка запитывается от электрической сети. Если потребность нагрузки в мощности для заряда ЭМ превышает возможности электрической сети по подаче электроэнергии, непокрытая потребность в мощности восполняется за счет СНЭЭ. Алгоритм выбора конкретного режима заряда ЭМ показан на рисунке 40.

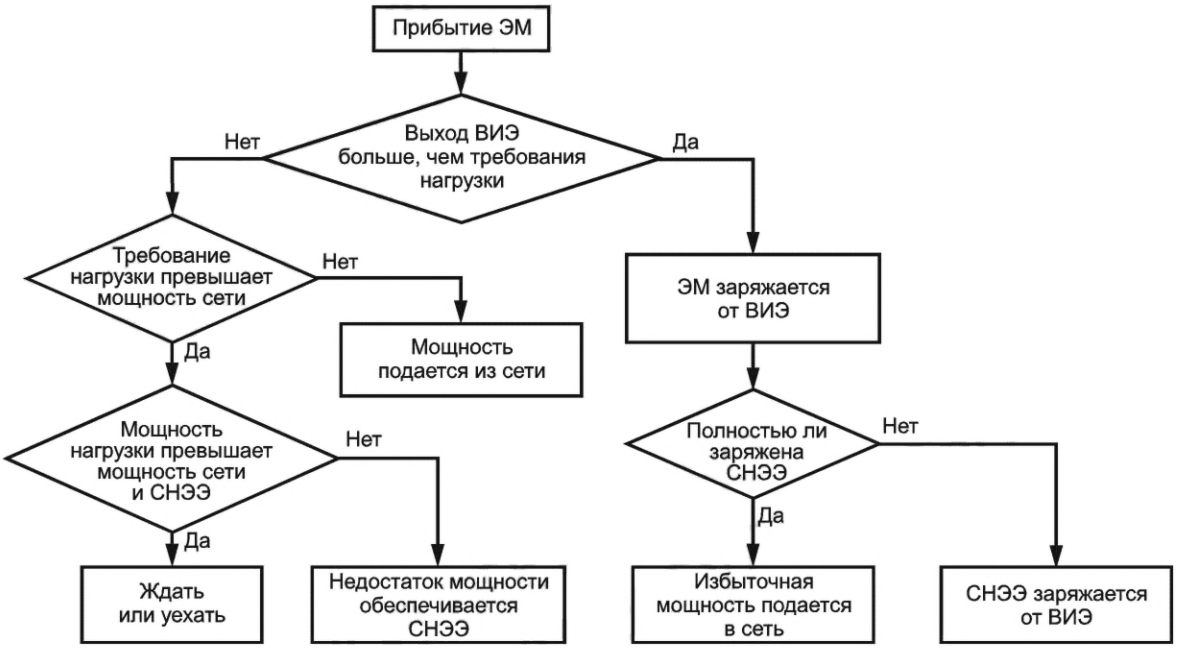


Рисунок 40 — Пример выбора режима заряда ЭМ

8.3.5.4 Мониторинг

Архитектура системы мониторинга зарядных станций ЭМ, имеющих в своем составе ВИЭ и СНЭЭ, показана на рисунке 41. Информационное взаимодействие между различными системами показано в таблице 3.

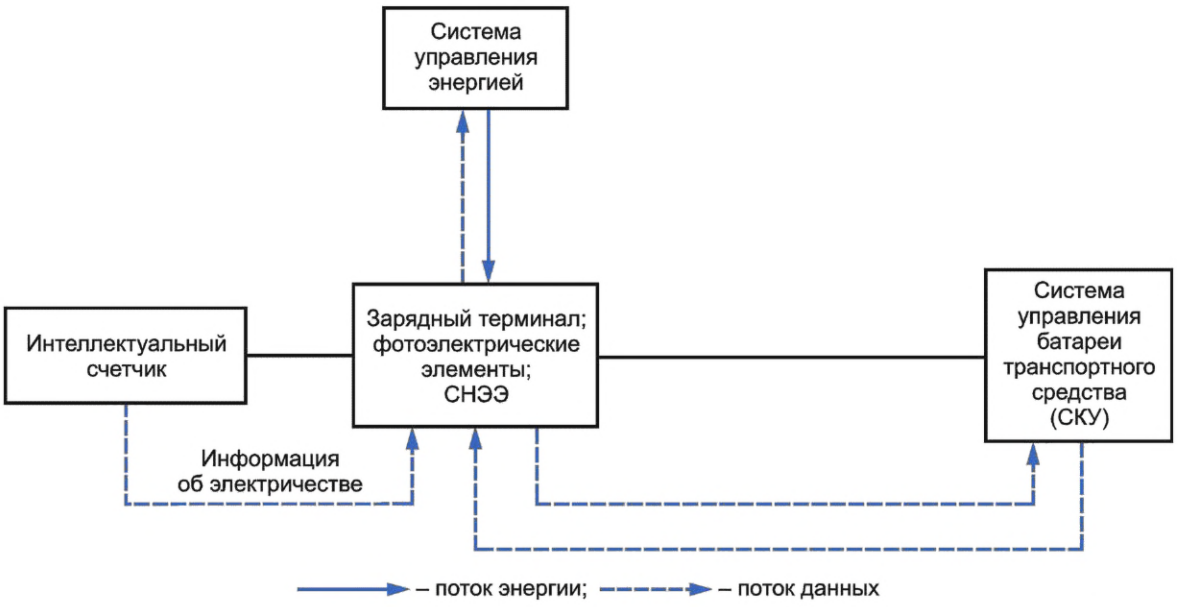


Рисунок 41 — Пример архитектуры системы мониторинга зарядных станций с ВИЭ и СНЭЭ

Таблица 3 — Пример информационного взаимодействия между различными системами зарядной станции

Сборщик информации	Информация, контролируемая мониторингом	Метод/протокол связи	Терминал приема информации
Интеллектуальный счетчик	Информация об электричестве	RS485	Зарядные терминалы, ВИЭ; СНЭЭ
Зарядные терминалы, ВИЭ; СНЭЭ	Энергоемкость накопителя энергии; время участия; состояние оборудования; информация о пользователе и т. д.	Ethernet	Система управления энергией
Система управления энергией	Команды заряда и разряда, ток, мощность; информация о времени	Ethernet	Зарядные терминалы, ВИЭ; СНЭЭ
Зарядные терминалы, ВИЭ; СНЭЭ	Состояние оборудования; статус подключения; напряжение заряда и разряда, ток, мощность; информация об электричестве; рабочий режим; ограничения по максимальному напряжению и току	CAN	СКУ батареи ЭМ
СКУ батареи ЭМ	Информация о пользователе; рабочий режим; время участия; верхний и нижний пределы заряда и разряда накопителя энергии; команда пуска/останова; актуальная информация об аккумулировании энергии; напряжение заряда и разряда; значение тока; информация о состоянии СКУ и о максимальном/оптимальном токе и времени заряда и разряда и т. д.	CAN	Зарядные терминалы, ВИЭ; СНЭЭ

9 Демпфирование колебаний мощности

9.1 Применение СНЭЭ

9.1.1 Функциональное назначение СНЭЭ

В больших взаимосвязанных электроэнергетических системах могут возникать колебания, вызывающие возмущения в системе. ДКМ необходимо для компенсации негативных эффектов таких колебаний. Применение СНЭЭ позволяет улучшать ДКМ посредством перетока активной мощности (ДКМ-P) и перетока реактивной мощности (ДКМ-Q), как показано на рисунках 42 и 43. Однако влияние ДКМ на статическую и динамическую устойчивость энергосистемы за счет СНЭЭ отличается для конкретных энергосистем. При расчете энергетических показателей СНЭЭ следует учитывать характеристики ПАЭ, характеристики заряда-разряда, оптимальные диапазоны заряда-разряда и экономические вопросы. Применение для ДКМ является, как правило, одной из функций СНЭЭ и накладывается на выполняемые ею другие функции. Конкретные требования к характеристикам подсистем СНЭЭ должны учитывать значения мощности и энергии для осуществления ДКМ под управлением СОДУ, в дополнение к начальным параметрам, требуемым для осуществления других функций СНЭЭ. При добавлении контроллера ДКМ в СНЭЭ должны быть проверены и учтены длительность времени отклика и скорость нарастания мощности для применения ДКМ.

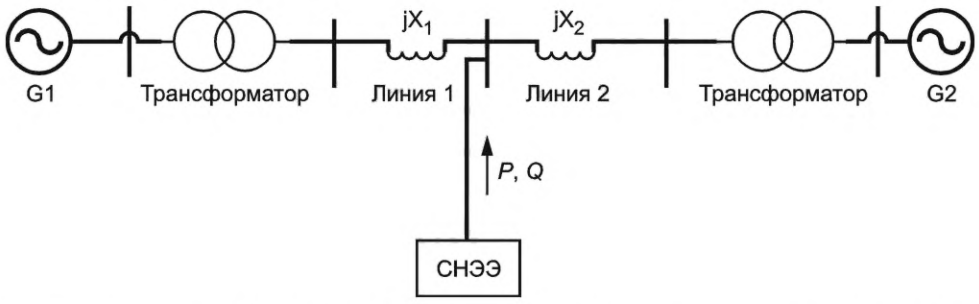


Рисунок 42 — Пример архитектуры одиночной несекционированной системы шин, подключенной к СНЭЭ

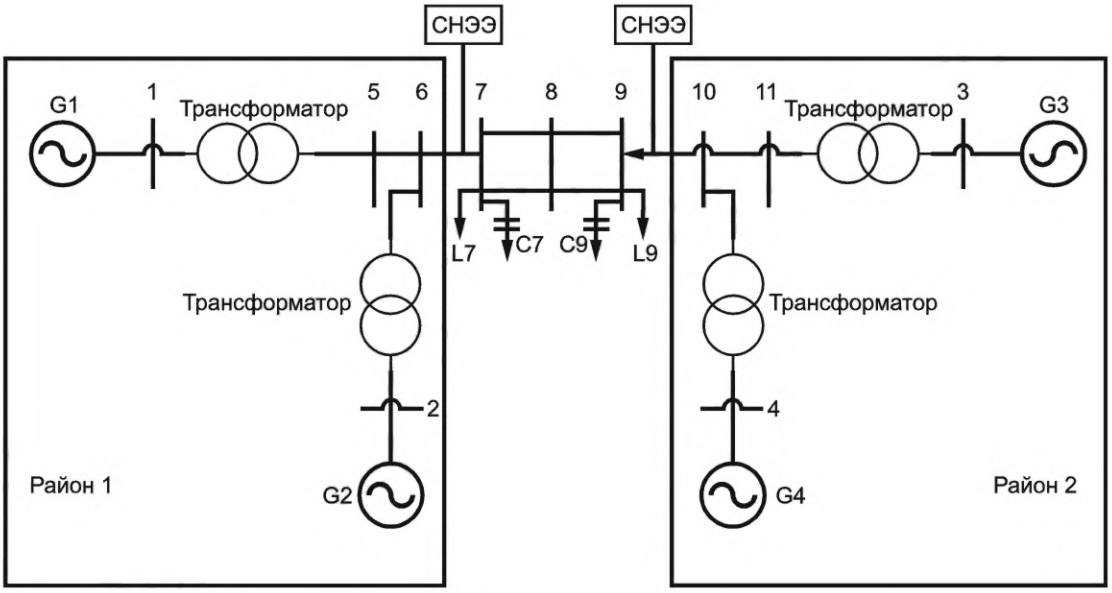


Рисунок 43 — Пример архитектуры двухзонной системы с четырьмя генераторами, соединенной с СНЭЭ

Следует учитывать следующие типы колебаний:

а) электромеханические колебания (местные и межзональные) — могут возникать из-за слабых связей между энергосистемами или генераторами. Колебания включают обмен энергией, а также колебания напряжения и тока, которые могут вызвать отключение линий или генераторов и, таким образом, привести к серьезным авариям;

б) другие колебания, вызванные ССР, который может появиться в воздушных линиях с последовательной компенсацией или в высоковольтных линиях электропередачи постоянного тока (в основном ПЛК), или при субсинхронном взаимодействием между генерацией, подключенной к силовой электронике (фотоэлектрическая и ветровая), и воздушными линиями с последовательной компенсацией и/или высоковольтными линиями электропередачи постоянного тока (в основном ПЛК);

в) колебания, связанные с генерацией, осуществляемой электронными устройствами (фотоэлектрическая и ветровая), подключенной к слабой системе с очень низким ККЗ. Частота колебаний может составлять от 4 до 35 Гц;

г) вынужденные колебания из-за управляющего взаимодействия.

9.1.2 Требования, связанные с выполняемыми функциями

Для вышеуказанных четырех режимов колебаний СНЭЭ должна предоставлять необходимые ДКМ-P и ДКМ-Q для улучшения демпфирования энергосистемы в соответствии с частотой колебаний, временным циклом и другими характеристиками энергосистемы.

Чтобы должным образом обеспечивать функциональность для применения демпфирования колебаний мощности к используемому оборудованию, должны быть установлены требования по следующим параметрам.

а) Электромеханические колебания

В энергосистемах существует опасность низкочастотных колебаний (НЧК) параметров режима в диапазоне частот 0,1—2,0 Гц. При недостаточности демпфирующих свойств в энергосистеме может проявиться тенденция к «развитию» колебательного процесса, что может приводить к нарушениям устойчивости и каскадному развитию аварии, а в некоторых случаях может быть ограничивающим фактором для передаваемой мощности.

Колебания могут возникать также в случае больших возмущений, например в случае короткого замыкания после устранения неисправности.

Поскольку колебания мощности являются устойчивым динамическим событием, необходимо варьировать компенсацию прикладываемой активной и реактивной мощности, чтобы противодействовать ускоряющим и замедляющим колебаниям возбужденных электроустановок и, следовательно, гасить колебания мощности, частоты и напряжения в энергосистеме.

Быстродействие СНЭЭ позволяет подавлять НЧК при первых признаках их появления. Установка СНЭ в узле нагрузки с резкопеременным характером изменения мощности позволяет парировать все

нежелательные отклонения режимных параметров и стабилизировать их в заданных пределах. На рисунке 44 показан результат моделирования колебаний мощности с пятью должным образом размещенными в энергосистеме СНЭЭ (выделено зеленым цветом) и без СНЭЭ (красным). Снижение амплитуды нерегулярных колебаний при помощи СНЭЭ позволяет увеличить допустимый переток по сечению.

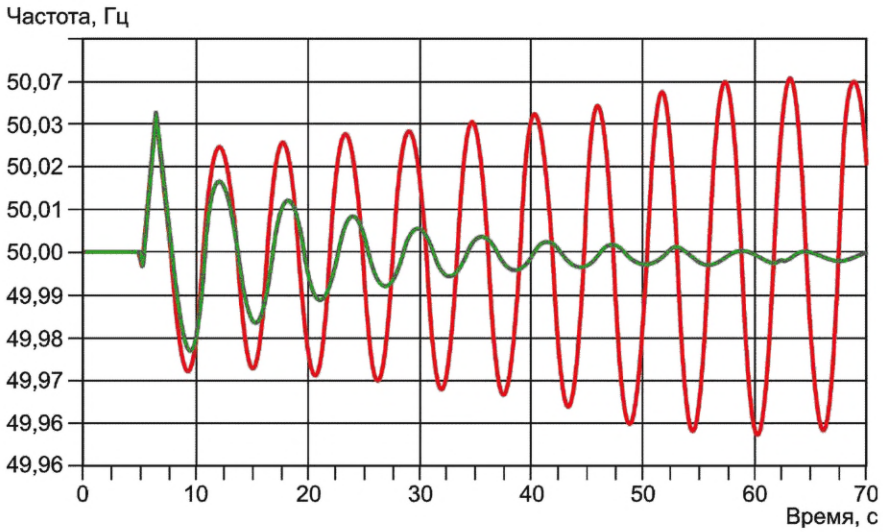


Рисунок 44 — Пример моделирования колебаний мощности с пятью демпфирующими СНЭЭ в узлах нагрузок энергосистемы

б) Колебания субсинхронного резонанса

Колебания могут возникать из-за резонансов между электроэнергетической системой и механической системой синхронных генераторов (субсинхронный резонанс, ССР). Электрическая частота колебаний в энергосистеме с частотой 50 Гц может составлять от 15 Гц до 35 Гц. Для эффективного применения СНЭЭ должна быть рассчитана на очень короткую длительность времени отклика, так как выходная мощность должна измениться за интервал времени порядка (1/30 Гц) = 33 мс. В этом случае ДКМ-Q является предпочтительным, поскольку оно не нагружает ПАЭ, но следует учитывать число раз, когда требуется ДКМ-Р (во избежание быстрого старения СНЭЭ).

Также могут возникать колебания между электростанциями, соединенными силовой электроникой и энергосистемой (субсинхронное взаимодействие, ССВ).

в) Колебания, связанные с генерацией, подключенной к силовой электронике (фотоэлектрическая и ветровая и т. д.)

Колебания могут возникать между генерацией, соединенной с силовой электроникой и энергосистемой, или между несколькими электростанциями ВИЭ, соединенными силовой электроникой, из-за слабости энергосистемы в ТПСН.

г) Вынужденные колебания

Колебания могут появиться из-за проблем в органах управления электростанции.

9.2 Условия и требования для присоединения СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

Применяют 4.2.

Дополнительно при гашении межзональных колебаний от СНЭЭ может потребоваться надлежащий прием и обработка сигналов удаленного оборудования измерения сдвига фазы (ИСВ).

9.3 Конструирование СНЭЭ

9.3.1 Архитектура СНЭЭ

СНЭЭ для ДКМ должна учитывать очень точное измерение частоты и напряжения не только в точке ТПСН, но и в удаленном месте, которое будет служить эталоном для реакции всей энергосистемы на колебания мощности при выполнении ДКМ в качестве координированной стратегии. Могут потребоваться дополнительные компоненты, такие как устройства ИСВ, и соответствующие системы связи не только для управления диспетчерской связью, но и для удаленного сбора данных о частоте и мощности (см., например, [11]), если необходимо улучшить мониторинг на ТПСН.

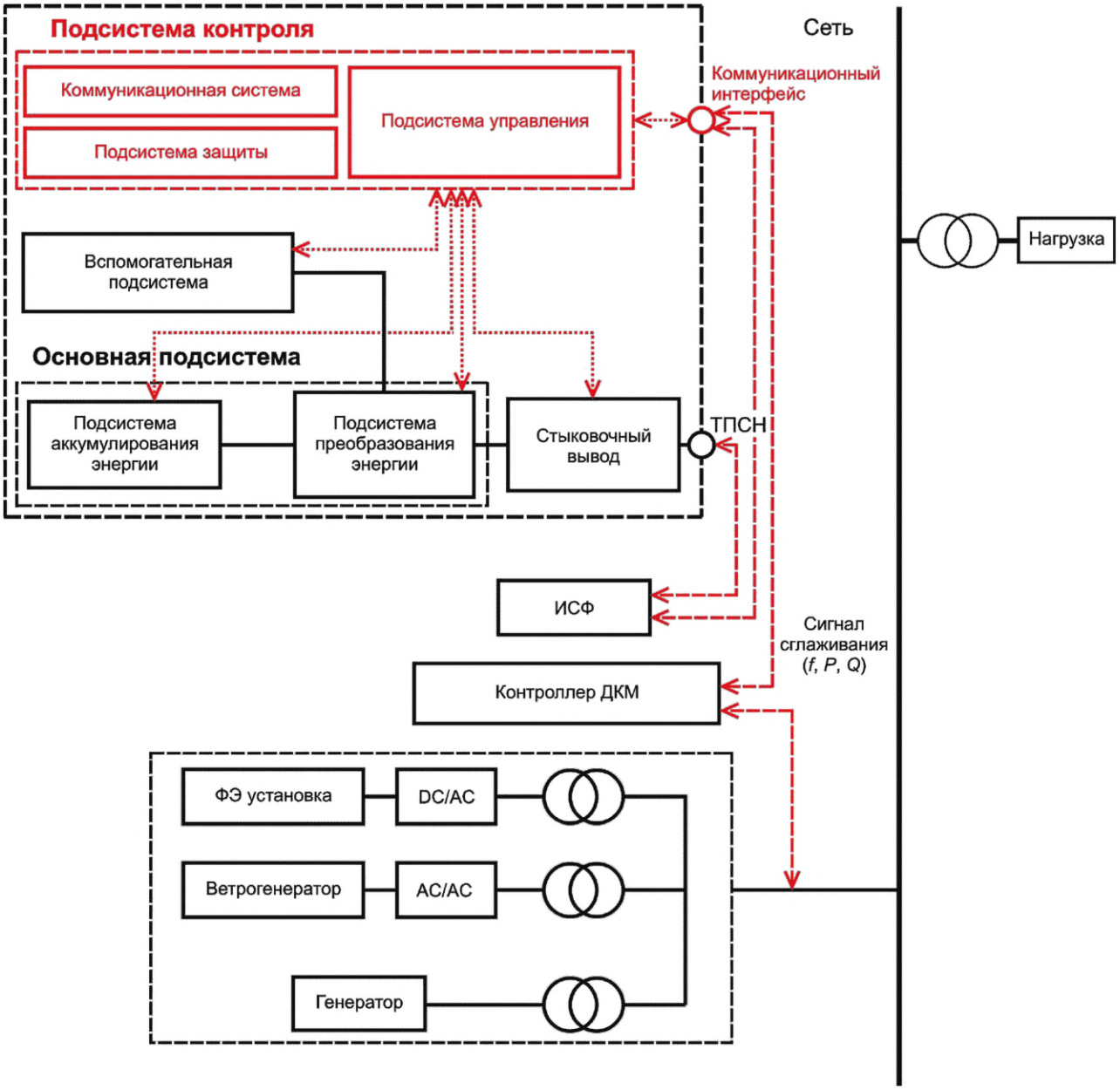


Рисунок 45 — Пример архитектуры СНЭЭ для ДКМ

Как показано на рисунке 45, контроллер ДКМ будет принимать активную мощность (P), частоту (f) или напряжение (U) энергосистемы в качестве локального или дистанционного входного сигнала будет обеспечивать соответствующую активную или реактивную выходную мощность СНЭЭ для противодействия колебаниям.

9.3.2 Требования к подсистемам СНЭЭ

Применяют 4.3.3.

9.3.3 Подключение СНЭЭ к энергосистеме/электрической сети

ДКМ может быть реализовано с помощью СНЭЭ, как показано на схеме, показанной на рисунке 45. Согласно этой схеме контроллер ДКМ будет получать измерения частоты или напряжения в ТПСН или измерения активной мощности соседней линии. Дополнительно, для лучшей наблюдаемости явлений межзональных колебаний и для улучшения эффективности ДКМ, контроллер ДКМ может получать удаленные сигналы частоты и активной мощности через ИСФ, следуя соответствующим протоколам связи, установленным в действующих стандартах серии ГОСТ Р МЭК 61850 и [12]. При разработке СНЭЭ, предназначенных на экспорт, следует руководствоваться требованиями стандартов, действую-

щих в стране поставки, например [13]. Если локальное измерение обеспечивает достаточную/хорошую наблюдаемость колебаний, оно должно преобладать над дистанционным сигналом. Контроллер ДКМ должен быть настроен на выбор локального или удаленного сигнала и обеспечивать соответствующую активную или реактивную мощность для противодействия колебаниям.

9.3.4 Функционирование и управление СНЭЭ

СНЭЭ должна включать управление демпфированием колебаний посредством модуляции активной мощности (ДКМ-Р) и модуляции реактивной мощности (ДКМ-Q).

Подлежащие гашению колебания находятся в диапазоне [$f_{ДКМ_мин.}$; $f_{ДКМ_макс.}$]. Типичные значения для этого диапазона в зависимости от каждого типа колебаний мощности включены в 9.1.1.

Контроллер ДКМ-Р генерирует сигнал модуляции, который накладывается на значение уставки опорной активной мощности $P_{уст.о}$. Это вызывает модуляцию активной выходной мощности СНЭЭ, приводящей к демпфированию колебаний.

Контроллер ДКМ-Q генерирует сигнал модуляции, который накладывается на значение уставки опорного напряжения $U_{уст.о}$. Это вызывает модуляцию выходной реактивной мощности СНЭЭ, приводящей к демпфированию. Чтобы избежать чрезмерной нагрузки на СНЭЭ вследствие ускоренного старения, следует учитывать управляемую мертвую полосу.

В качестве входного сигнала контроллер ДКМ должен опираться на активную мощность *P* или частоту *f* энергосистемы.

Требования к управлению ДКМ:

- ДКМ_Q должно иметь возможность быть активировано вместе с ДКМ_Р, а также с остальными контроллерами энергосистемы (регулирование частоты, регулирование напряжения и т. д.) без каких-либо возможных нарушений работы;
- контроллер ДКМ должен иметь возможность быть активирован/деактивирован в любой момент. О любых изменениях должно сообщаться в/из СОДУ;
- функция управления должна иметь возможность плавной активации и деактивации как с локальной, так и с удаленной станции диспетчерского управления (SCADA) без резких изменений рабочих величин;
- ДКМ_Q не должен терять эффективность при работе одновременно с *Q*(*U*);
- при необходимости должна быть возможность использовать дистанционный сигнал как для активации, так и для модуляции активной и реактивной мощности;
- распределение активного тока для управления частотой и ДКМ-Р должно быть управляемым и иметь возможность изменения в любой момент. Мощность, выделенная для контроллера ДКМ-Р, должна быть регулируемой и быть менее определенного предела ($P_{ДКМ_макс.}$), установленного на этапе проектирования;
- распределение реактивного тока для управления напряжением и ДКМ-Q должно быть управляемым и иметь возможность изменения в любой момент. Мощность, выделенная для контроллера ДКМ-Q, должна регулироваться и быть менее максимального предела ($Q_{ДКМ_макс.}$), установленного на этапе проектирования. Если для подавления колебаний требуется большая *P*, чем мощность, доступная в данный момент в системе, контроллер ДКМ-Р должен иметь приоритет над регулированием частоты и вся необходимая активная мощность до максимального предела ($P_{ДКМ_макс.}$) должна использоваться для ДКМ;
- если для подавления колебаний требуется большая *Q*, чем мощность, доступная в данный момент в системе, контроллер ДКМ-Q должен иметь приоритет над регулированием напряжения, и весь необходимый реактивный ток до максимального предела ($Q_{ДКМ_макс.}$) должен использоваться для ДКМ.

9.3.5 Коммуникационный интерфейс

Применяют 4.3.8.

Если используются дистанционные сигналы *f*/*P*, но они предоставляются не СОДУ, необходим дополнительный порт связи с особыми требованиями для сигналов *f*/*P*, например удовлетворяющий требованиям серии стандартов ГОСТ Р МЭК 61850 или [13].

9.4 Расчет энергетических параметров и результирующие показатели СНЭЭ

9.4.1 Расчет энергетических параметров СНЭЭ

а) Общие положения

- Энергоемкость СНЭЭ следует определять в соответствии с экономическими показателями, ограничениями площадки и техническими показателями, которые должны быть достигнуты (например, продолжительность времени реакции, максимально допустимая амплитуда, максимальная длительность стабилизации и т. д.).

- Общие принципы подходов к площадке размещения СНЭЭ:
- предпочтительнее устанавливать СНЭЭ на стороне приема электроэнергии, чем на стороне передачи электроэнергии при тех же условиях;
- установка СНЭЭ в узле, находящемся на небольшом электрическом расстоянии от места возбуждений, имеет возможность большего влияния на устойчивость энергосистемы к малым помехам;
- установка СНЭЭ на шину генератора с большим коэффициентом участия (относящимся к низкочастотным колебаниям) больше влияет на подавление низкочастотных колебаний;
- СНЭЭ предпочтительнее устанавливать на месте с небольшой нагрузкой.

б) Процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ

Общий процесс расчета энергетических параметров СНЭЭ для применения ДКМ показан на рисунке 46.

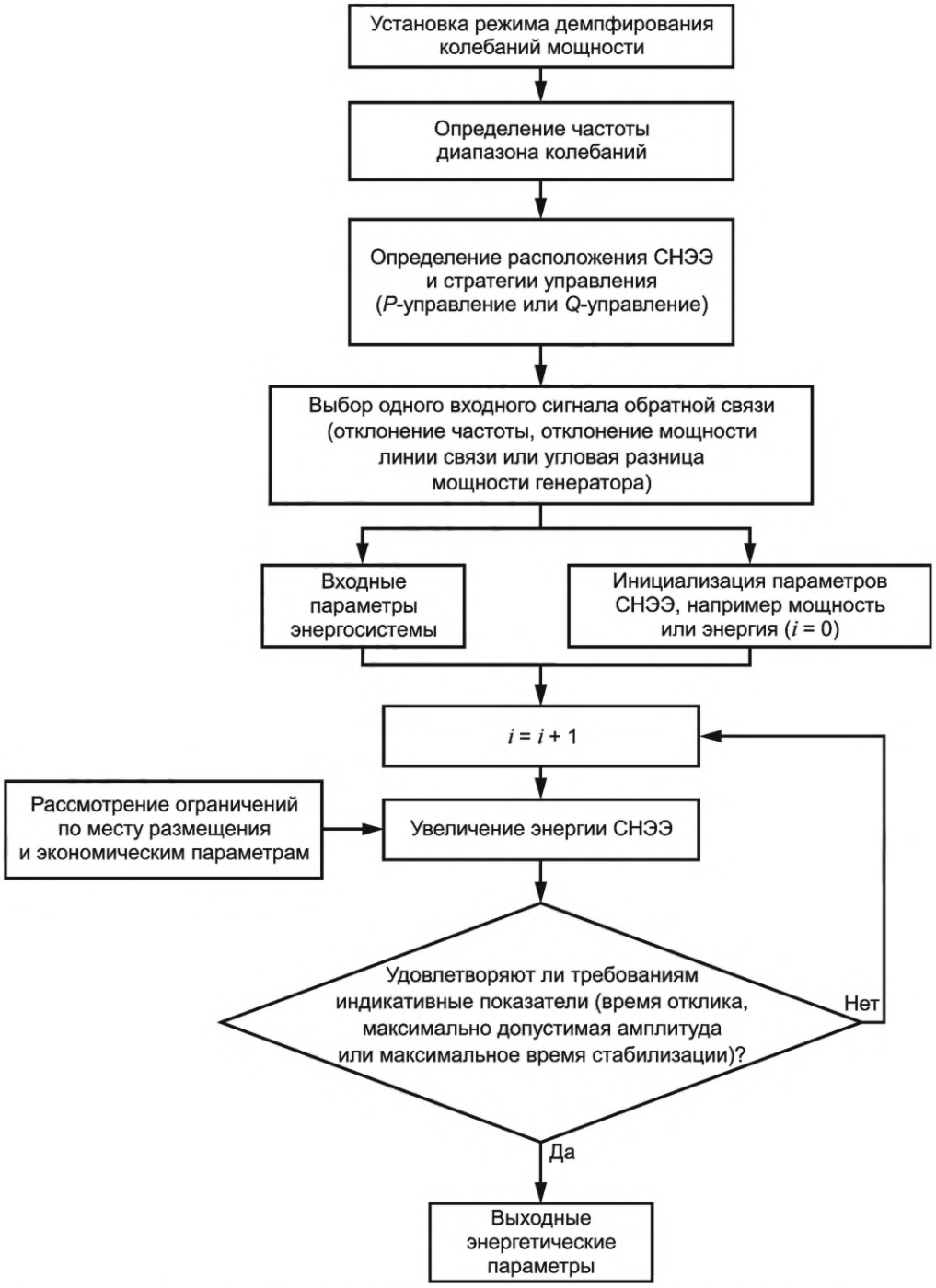


Рисунок 46 — Пример процесса расчета энергетических параметров СНЭЭ для применения ДКМ

в) Требования к расчету энергетических параметров

Для расчета энергетических параметров СНЭЭ для ДКМ и определения наилучшего места для оптимальной работы контроллера ДКМ должны быть приняты во внимание следующие факторы:

- чтобы определить колебания, которые необходимо гасить, частота колебаний должна быть в пределах диапазона частот, для которого разработан контроллер ДКМ;

- активная и реактивная мощность, используемые в контроллере ДКМ, должны быть пропорциональны амплитуде колебаний Δf. Как правило, величина демпфирования определяется частотой или активной мощностью. Необходимо учитывать значение допустимого демпфирования, которое должно быть достигнуто. Коэффициент демпфирования определяется как

$$\varepsilon = -\sigma \cdot 100/(\omega^2 + \sigma^2)^{1/2}, \%, \quad (18)$$

где σ — коэффициент затухания экспоненциального члена режима колебаний, $\omega = 2\pi f$;

- при определении элементов управления ДКМ_Р и ДКМ_Q следует учитывать ККЗ, который определяет $Q_{ДКМ_макс.}$, $P_{ДКМ_макс.}$;

- способность к мониторингу: СНЭЭ следует размещать в таком месте, чтобы контроллер ДКМ мог осуществлять мониторинг колебаний. Для межзональных участков лучшими местоположениями являются те, которые удалены от центра колебаний, то есть местоположения в конце систем, подверженных колебаниям. Если СНЭЭ размещена на подстанции, которая не находится в конце системы, для улучшения наблюдаемости может возникнуть необходимость использовать удаленные сигналы с концов системы;

- управляемость: Для размещения СНЭЭ на подстанции, где каждый тип колебаний мощности имеет хорошую управляемость необходимо обеспечить эффективное уменьшение амплитуды колебаний. Управляемость ДКМ должна быть рассчитана для каждой ТПСН и ожидаемого типа, величины колебаний и т. д. Она должна определяться СОДУ энергосистемы;

- старение: В зависимости от технологии, используемой для СНЭЭ, и характеристик колебаний работа ДКМ может привести к значительному сокращению срока службы из-за большого количества рабочих циклов. Это следует учитывать на этапе проектирования, чтобы проверить, как должны быть определены средства управления для каждого типа колебаний, и оценить ожидаемое количество операций;

- чтобы избежать колебаний напряжения, превышающих допустимые критерии (типичные значения 4—5 %), допускается ограничить реакцию контроллера ДКМ-Q;

- чтобы повысить эффективность контроллеров ДКМ и иметь возможность противостоять ситуациям по критерию *N*-1, следует рассредоточить СНЭЭ в нескольких местах.

9.4.2 Характеристики и ограничения СНЭЭ

При реализации применений ДКМ следует учитывать следующие характеристики:

- процентная доля количества нормированной активной мощности, выделенной для обеспечения ДКМ-Р (вход/выход), $P_{ДКМ_макс.}$, от активной мощности СНЭЭ, P;

- процентная доля количества нормированной реактивной мощности, выделенной для обеспечения ДКМ-Q (вход/выход), $Q_{ДКМ_макс.}$, от реактивной мощности СНЭЭ, Q;

- процентная доля энергоемкости, выделенной для обеспечения ДКМ;

- длительность задержки: Длительность времени, необходимого для передачи входного сигнала на контроллер (чем больше подавляемая частота колебаний, тем короче требуется длительность задержки);

- длительность времени отклика: Длительность времени, необходимого для ответа на колебание частоты модуляцией выходной мощности СНЭЭ P или Q (чем больше подавляемая частота колебаний, тем короче требуется длительность времени отклика);

- длительность времени стабилизации: Чем больше подавляемая частота колебаний, тем короче требуется длительность времени стабилизации.

9.5 Срок службы СНЭЭ

9.5.1 Установка СНЭЭ

Применяют 4.5.2.

9.5.2 Оценка эффективности

а) Показатели прямой оценки:

- угловое отклонение ротора генератора;

- отклонение угловой скорости ротора генератора;
- скорость изменения угловой скорости ротора генератора;
- отклонение мощности передачи линии транзитной связи;
- отклонение частоты в определенных точках энергосистемы.

б) Косвенные оценочные показатели:

- амплитуда колебаний J в последующий период, которую можно рассчитать по формуле

$$J = \frac{1}{T}\int_{t=0}^{t} \left| P_{\text{line}} - P_{\text{line},0} \right| t\mathrm{d}t, \tag{19}$$

где P_{line} — мощность, передаваемая в линии электропередачи в момент времени t;

$P_{\text{line},0}$ — мощность, передаваемая в линии электропередачи в начальный момент времени;

- изменение коэффициента демпфирования с использованием СНЭЭ и без нее.

9.5.3 Функционирование и управление СНЭЭ

Управление ДКМ должно работать в автономном режиме. Однако должна быть возможность плавно активировать и деактивировать его как с локальной, так и с удаленной станции диспетчерского управления (SCADA). Ряд входных параметров (такие как установка частоты для обеспечения рабочих характеристик ДКМ, управляющий коэффициент коррекции по частоте, возможные «мертвые полосы» и т. д.) должны иметь возможность установки как локально, так и удаленно.

Стратегия функционирования и управления СНЭЭ, участвующей в ДКМ, пример которых приведен на рисунке 47, описывается следующим образом.

В отношении конкретного устройства должны быть установлены конкретные пороговые значения скорости ротора ω_1, ω_2, $\Delta\omega_{\text{макс.}}$ и R_{B}:

- если $\Delta\omega > \omega_2$ и $|\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t| > R_{\text{B}}$, что означает большую нехватку мощности энергосистемы, то СНЭЭ должна быстро обеспечить подачу активной мощности в энергосистему. Команда уставки мощности СНЭЭ должна быть немедленно увеличена до предельной выходной мощности СНЭЭ, после чего СНЭЭ должна обеспечивать подачу постоянной положительной максимальной мощности $P_{\text{макс.}}$ в сеть для подавления $\Delta\omega$, $\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$;
- если $\Delta\omega < -\omega_2$ и $|\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t| > R_{\text{B}}$, что означает большой избыток мощности энергосистемы, то СНЭЭ должна обеспечить быстрый прием мощности из энергосистемы. Команда уставки мощности СНЭЭ должна быть немедленно изменена до значения предельной входной мощности СНЭЭ, чтобы обеспечить отбор максимальной мощности $-P_{\text{макс.}}$ из сети;
- если $\omega_1 < |\Delta\omega| < \omega_2$ и $|\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t| \le R_{\text{B}}$, СНЭЭ должна переключиться в режим регулирования скоростью изменения частоты и обеспечить необходимый демпфирующий момент в сети согласно $P = K_{\text{p}}\Delta\omega$ для уменьшения колебаний частоты сети;
- если $\omega_0 - \omega_1 < \omega < \omega_{0+}$ ω_1 и $|\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t| \le R_{\text{B}}$, что указывает на то, что процесс колебания системы полностью закончился, СНЭЭ немедленно должна перейти в режим восстановления количества энергии СЭ, чтобы вернуть СЭ в допустимый диапазон.

Примечание — СЭ СНЭЭ в состоянии ожидания должен быть установлен на средний диапазон (например, $СЭ_1$ = 0,4 ~ 0,45, $СЭ_2$ = 0,5 ~ 0,55), что позволяет СНЭЭ участвовать как в действиях по регулированию с повышением частоты, так и в действиях по регулированию с понижением частоты.

9.5.4 Мониторинг

Мониторинг и обслуживание, связанные с реализацией этого применения, не должны отличаться от мониторинга и обслуживания, требуемого для других функций, поскольку в большинстве случаев ожидается, что данный вид функции будет добавлен к другим функциям СНЭЭ.

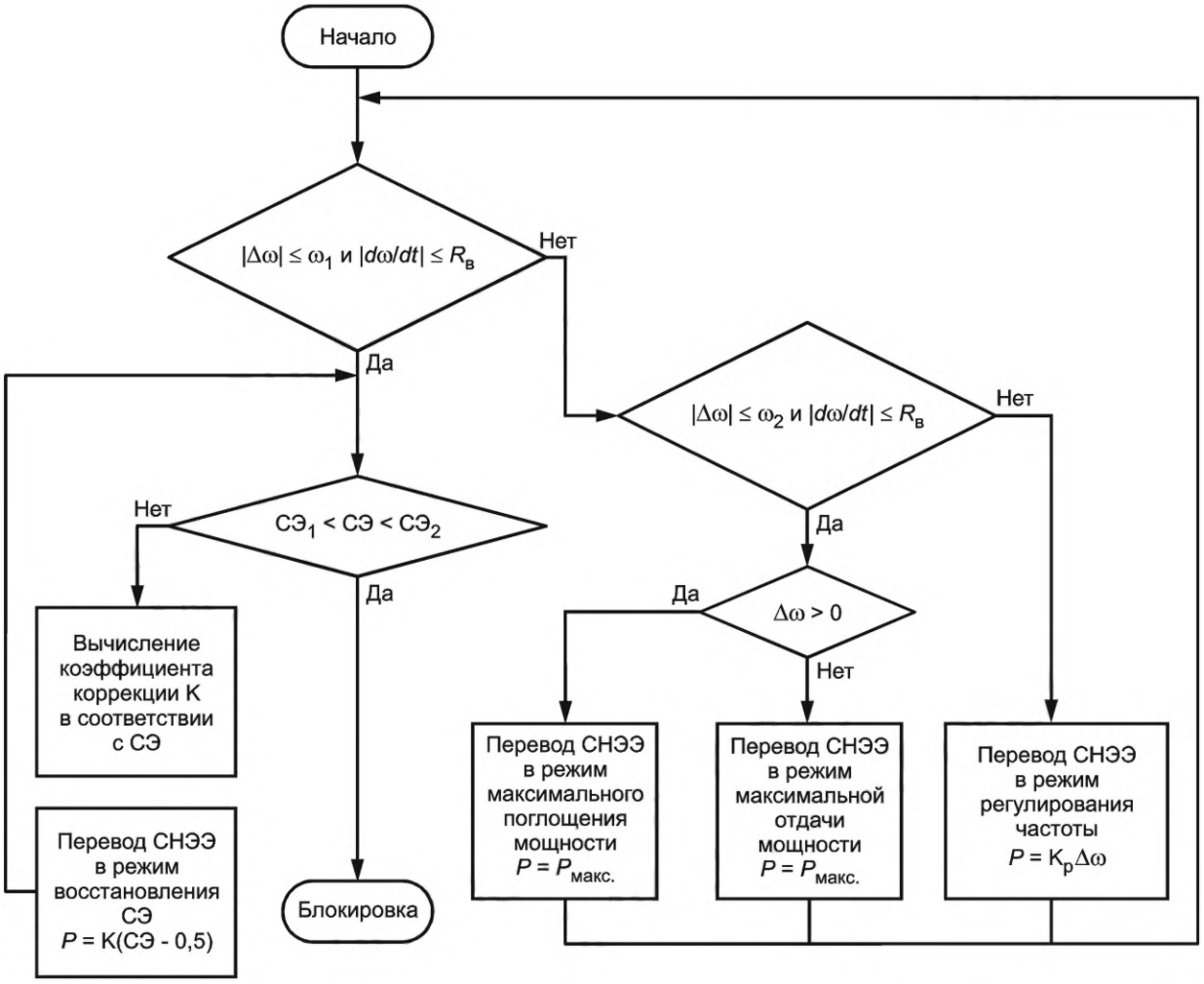
Учитывая, что СНЭЭ может работать с очень большой скоростью заряда или разряда в ДКМ, следует контролировать дополнительные параметры:

а) температура модулей СНЭЭ;

б) максимальная мощность заряда/разряда.

Любой обмен информацией относительно локальных измерений ТПСН и срабатывания систем во время событий ДКМ должен осуществляться в соответствии с требованиями [2] или потребностями СОДУ.

Для последующего изучения событий следует вести журнал событий с соответствующей точностью.



ω_1, ω_2 — максимально и минимально допустимое значение отклонения скорости вращения (об/мин); $R_В$ — максимально допустимое значение $d\omega/dt$; K — коэффициент коррекции для характеристики P-ΔСЭ СНЭЭ, МВт; K_p — коэффициент коррекции по частоте для характеристики P-$\Delta\omega$ СНЭЭ, МВт/(об/мин)

Рисунок 47 — Пример стратегии управления СНЭЭ, участвующей в ДКМ

Приложение А
(справочное)

Ключевые показатели эффективности применений СНЭЭ

Ключевые показатели, относящиеся к каждому применению СНЭЭ, приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 — Показатели, относящиеся к применениям СНЭЭ

Показатель	Регулирование частоты	Регулирование напряжения сети ($Q(U)$, В/вар)	Поддержка КЭ ($P(U)$, нивелирование провалов напряжения)	Применения, связанные с интеграцией ВИЭ			Демпфирование колебаний мощности (ДКМ)
				Сглаживание мощности, генерируемой ВИЭ	Регулирование выработки ВИЭ (энергии) и отслеживание ПДГ генерации	СНЭЭ на электрических зарядных станциях с ВИЭ	
Накопленная энергия	√	√		√	√	√	√
Эффективность зарядно-разрядного цикла	√			√	√	√	
Длительность времени отклика и скорости нарастания	√	√	√	√	√	√	√
Скорость потери энергии в состоянии ожидания					√	√	
Скорость саморазряда					√	√	
Выход степени энергосодержания за пределы допустимого диапазона	√	√		√	√	√	√
Эффективность рабочего цикла	√			√	√		
Опорный сигнал отслеживания		√		√	√		√
Стабильность энергии	√	√		√	√	√	√
Количество отданной энергии		√					
Количество поглощенной энергии		√					
Количество обмениваемой энергии		√					
Пиковая мощность заряда	√						
Пиковая мощность разряда	√		√				

Приложение Б
(справочное)

Назначение пользователям разрешений по умолчанию

Пример назначения пользователям различных категорий разрешений по умолчанию приведен в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Пример назначения разрешений по умолчанию категориям пользователей в различных состояниях мониторинга и обслуживания

Разрешение	Роль						
	Оператор распределительной сети	СОДУ, устанавливающий ПДГ энергосистемы	Агрегатор третьей стороны	Оператор сети промышленного предприятия	Обслуживающий персонал	Поставщик СНЭЭ	Гость
СНЭЭ находится в нормальном состоянии							
Просмотр текущего рабочего состояния	√	√	√	√	√	√	
Установка СНЭЭ в рабочее состояние блокировки				√			
Установка подсистем СНЭЭ в режим обслуживания/проверки				√	√		
Просмотр ролей и разрешений	√	√	√	√	√	√	
Изменение ролей и разрешений				√		√	
Мониторинг информации СНЭЭ в месте размещения				√	√	√	
Мониторинг состояния, режимов и измерений СНЭЭ	√	√	√	√	√	√	√
Мониторинг журналов работы	√	√	√	√	√	√	
Мониторинг журналов безопасности				√			
Мониторинг архивных данных	√	√	√	√			
Информация о конфигурации монитора				√	√	√	
Обновление параметров функциональных режимов	√	√	√	√			
Включение функциональных режимов	√		√	√			
Отключение функциональных режимов	√		√	√			
Выдача команды отключения от сети	√		√	√	√		
Выдача команды подключения к сети				√			
Выдача команды оперативного управления	√		√	√			
Установление расписания	√		√	√			
Включение расписания	√		√	√			
Отключение расписания	√		√	√			
Добавление элемента в операционный журнал	√		√	√	√		
Выполнение диагностических проверок					√		

Продолжение таблицы Б.1

Разрешение	Роль						
	Оператор распределительной сети	СОДУ, устанавливающий ПДГ энергосистемы	Агрегатор третьей стороны	Оператор сети промышленного предприятия	Обслуживающий персонал	Поставщик СНЭЭ	Гость
Выдача команд проверок							
Исправление или обновление программного обеспечения СНЭЭ							
Обновление мер безопасности							
Изменение конфигурации							
СНЭЭ находится в состоянии блокировки							
Просмотр текущего рабочего состояния	√	√	√	√			
Установка СНЭЭ в рабочее состояние блокировки				√			
Установка подсистем СНЭЭ в режим обслуживания/проверки				√			
Просмотр ролей и разрешений				√			
Изменение ролей и разрешений				√			
Мониторинг информации СНЭЭ в месте размещения				√			
Мониторинг состояния, режимов и измерений СНЭЭ	√		√	√			
Мониторинг журналов работы				√			
Мониторинг журналов безопасности				√			
Мониторинг архивных данных				√			
Обновление параметров функциональных режимов				√			
Включение функциональных режимов				√			
Отключение функциональных режимов				√			
Выдача команды отключения от сети	√		√	√			
Выдача команды подключения к сети				√			
Выдача команды оперативного управления				√			
Установление расписания				√			
Включение расписания				√			
Отключение расписания				√			
Добавление элемента в операционный журнал				√			
Выполнение диагностических проверок							
Выдача команд проверок							

Окончание таблицы Б.1

Разрешение	Роль						
	Оператор распределительной сети	СОДУ, устанавливающий ПДГ энергосистемы	Агрегатор третьей стороны	Оператор сети промышленного предприятия	Обслуживающий персонал	Поставщик СНЭЭ	Гость
Исправление или обновление программного обеспечения СНЭЭ							
Обновление мер безопасности							
СНЭЭ находится в состоянии автономной работы или технического обслуживания							
Просмотр текущего рабочего состояния	√	√	√	√			
Установка СНЭЭ в рабочее состояние блокировки				√			
Установка подсистем СНЭЭ в режим обслуживания/проверки				√			
Просмотр ролей и разрешений				√			
Изменение ролей и разрешений				√			
Мониторинг информации СНЭЭ в месте размещения				√			
Мониторинг состояния, режимов и измерений СНЭЭ				√			
Мониторинг журналов работы				√			
Мониторинг журналов безопасности				√			
Мониторинг архивных данных				√			
Обновление параметров функциональных режимов				√			
Включение функциональных режимов							
Отключение функциональных режимов				√			
Выдача команды отключения от сети				√			
Выдача команды подключения к сети							
Выдача команды оперативного управления							
Установление расписания							
Включение расписания							
Отключение расписания							
Добавление элемента в операционный журнал				√			
Выполнение диагностических проверок							
Выдача команд проверок							
Исправление или обновление программного обеспечения СНЭЭ							
Обновление мер безопасности							
Изменить конфигурации							

Библиография

[1] Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-Ф «Об электроэнергетике»

[2] Правила технологического функционирования электроэнергетических систем (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 2018 г. № 937)

[3] Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 января 2003 г. № 6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»

[4] Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 854 об утверждении правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике

[5] МЭК 60721-1(1990) Классификация условий окружающей среды. Часть 1. Параметры окружающей среды и степени их жесткости (Classification of environmental conditions — Part 1: Environmental parameters and their severities)

[6] Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

[7] Правила отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг (утверждены постановлением Правительства РФ от 3 марта 2010 г. № 117) в редакции Постановления Правительства России от 20 марта 2019 г. № 287

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

[9] ПНСТ 404-2020 (МЭК 62933-5-2:2020) Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Безопасность систем, работающих в составе сети. Электрохимические системы

[10] СТО 59012820.35.240.50.004—2011 Системы диспетчерского управления в электроэнергетике. Система сбора данных и оперативного контроля (SCADA) в диспетчерском управлении

[11] IEC/IEEE 60255-118-1, Реле измерительные и защитное оборудование. Часть 118-1. Синхрофазор для энергосистем. Измерения (Measuring relays and protection equipment — Part 118-1: Synchrophasor for power systems — Measurements)

[12] СТО 56947007-25.040.30.309-2020, Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС»

[13] IEEE C37.118, Стандарты IEEE для синхрофазоров для энергосистем (IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems)

УДК 621.355:006.354 ОКС 29.220

Ключевые слова: системы накопления электрической энергии, расчет, проектирование

Редактор *Г.Н. Симонова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 01.02.2023. Подписано в печать 08.02.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 8,79.

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