

	НАИМЕНОВАНИЕ		
	Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения		
	АВТОР	Метальников	2022-11-28
	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ	СТРАНИЦА
	РИМТЭ-003-001 ТО	1	1 ИЗ 26

Система накопления электрической энергии ЭнБАНК

Примеры применения
РИМТЭ-003-001 ТО

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Условные обозначения:.....	3
1. Назначение и основные функции системы накопления энергии.	4
1.1. Общее назначение	4
2. Функции и применения систем СНЭЭ в различных энергосистемах.	5
2.1. Временный резервный источник питания при исчезновении сетевого напряжения	5
2.2. Ограничение потребления мощности сети в пиковые периоды потребления	7
2.3. Повышение качества электроэнергии для удаленных объектов	9
2.4. Выравнивание графиков генерации и потребления в удаленных энергосистемах с объектами микрогенерации	10
2.5. Выравнивание графика нагрузки ДГУ (ГПУ) для автономных систем энергоснабжения .	12
2.6. Компенсация резких сбросов – набросов мощности нагрузки	13
2.7. Компенсация реактивной мощности по функции $Q(U)$;	13
2.8. Регулирование активной мощности при изменении частоты сети $P(f)$	14
2.9. Потребление и выдача мощности по расписанию	15
2.10. Функция активного фильтра высших гармоник тока	16
3. Техничко-экономические факторы применения СНЭЭ.	18
3.1. Возможное применение на объектах сетевого хозяйства	18
3.2. Применение СНЭЭ в инфраструктуре зарядных станций для электромобилей.....	20
3.3. Применение СНЭЭ для тарифного арбитража.	22
3.4. Применение СНЭЭ в изолированных сетях с резкопеременной нагрузкой.....	22
3.5. Применение СНЭЭ в составе энергосистемы с гибридной генерацией	25

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

Введение

Настоящий документ предназначен для описания возможных функций СНЭЭ типа ЭнБАНК в составе различных энергосистем, обозначения преимуществ их использования и возможных достигаемых эффектов.

Для подробного ознакомления с конструкцией СНЭЭ ЭнБАНК устройством, возможными исполнениями, модификациями необходимо ознакомиться с Техническим описанием РИМТЭ-003-000 ТО.

Условные обозначения:

BMS – Battery management system, система управления аккумуляторной батареей;

АКБ – аккумуляторная батарея;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ВЭС – ветряная электрическая станция;

ГПУ – газо-поршневая установка;

ДГУ – дизель-генераторная установка;

ДЭС – дизельная электростанция (состоящая из нескольких ДГУ);

ОВиК – отопление, вентиляция и кондиционирование;

ОПС – охранно-пожарная сигнализация;

ПН – подсистема накопления;

ПП – подсистема преобразования;

ПР – подсистема распределения;

ПТЭЭП – правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;

ПУ – подсистема управления;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

СНЭЭ – система накопления электрической энергии;

СУПП – система управления подсистемой преобразования;

СЭС – солнечная электрическая станция;

ЧМИ – человеко-машинный интерфейс

ЭнБАНК – энергетический блочный аккумуляторный накопительный комплекс

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

2. Функции и применения систем СНЭЭ в различных энергосистемах.

2.1. Временный резервный источник питания при исчезновении сетевого напряжения

Обеспечение надежности энергоснабжения – одна из основных задач любой энергосистемы. В случае кратковременного исчезновения питающего напряжения СНЭЭ способен выполнить функции временного резервного источника. Однако данное применение имеет ряд ограничений, обусловленных особенностями конструкции и подключения системы. В зависимости от требований по качеству электроэнергии у потребителей, длительности допустимых пауз в подаче напряжения, необходимости исполнения дополнительных функций, задача может быть решена применением различных классов устройств ЭнБАНК.

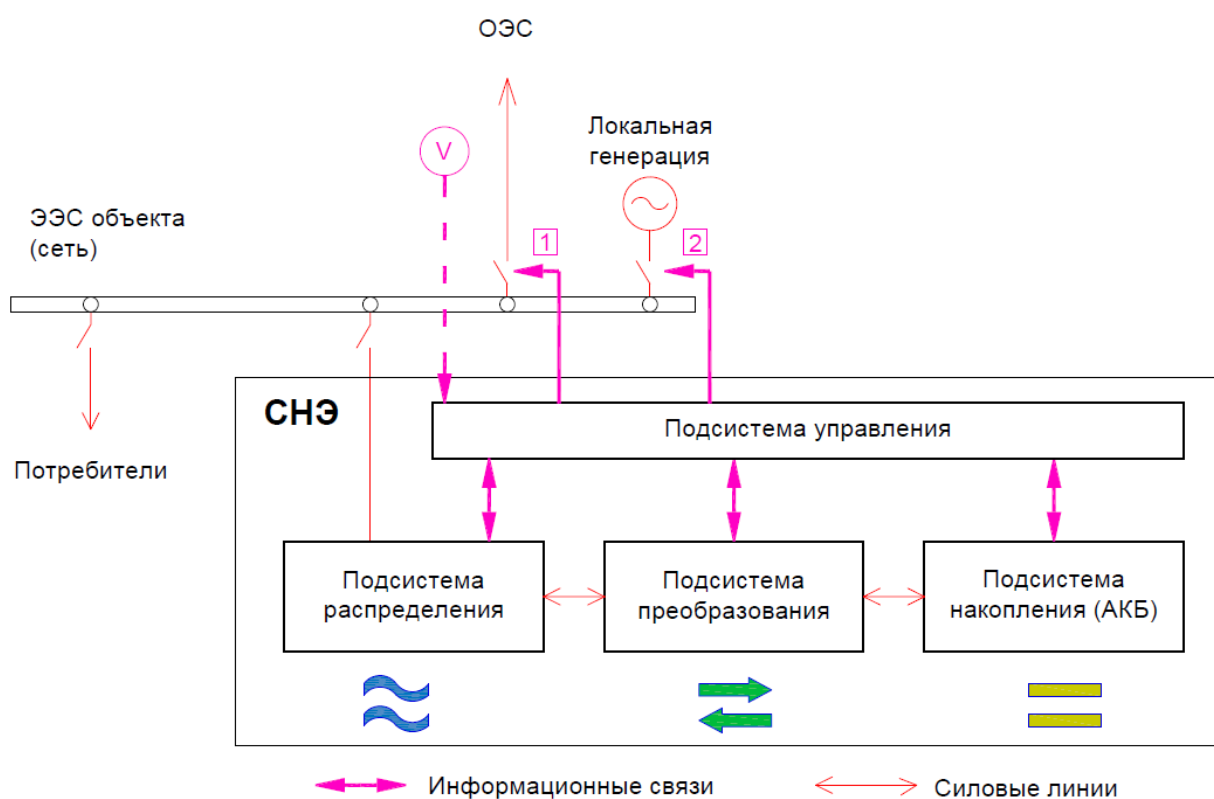


Рисунок 2 – Схема подключения СНЭЭ для работы в качестве временного резервного источника питания

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

В связи с тем, что СНЭЭ подключается параллельно к источникам мощности (ОЭС) и нагрузке (в отличие, например, от систем бесперебойного питания, которые подключены последовательно и постоянно находятся в работе), для исполнения функции резервного источника схема подключения должна предусматривать:

- контроль напряжения до ввода основного источника;
- возможность подачи сигнала управления на коммутационный аппарат ввода основного источника питания;
- возможность управления локальным генератором и его коммутационным аппаратом (опционально для автоматического перевода системы в длительное питание по резервной схеме).

Алгоритм работы СНЭЭ может быть настроен по-разному, в зависимости от требований системы к времени переключения на резервное питание, наличия локальных генераторов. В общем случае последовательность работы следующая:

1. При исчезновении напряжения основного ввода система управления детектирует событие с помощью датчиков напряжения
2. Система управления СНЭЭ подает команду на отключение коммутационного аппарата основного ввода [1] для перехода в «островной» режим работы энергосистемы.
3. После отключения выключателя [1] СНЭЭ начинает работать в режиме источника напряжения, обеспечивая нагрузку электроэнергией.
4. В случае возобновления подачи напряжения основного ввода [1] подсистема управления синхронизирует работу преобразователя с сетевым напряжением, затем подает команду на включение коммутационного аппарата [1] и прекращает подачу мощности в нагрузку. Система возвращается к основному режиму работы.
5. В случае длительной паузы в подаче напряжения основным источником и при наличии локального (например, дизельного) генератора, система перестраивается для длительной работы по временной схеме. Алгоритм допускает гибкую настройку этого перехода: по остаточному заряду аккумуляторной батареи, фиксированной выдержке, превышении мощностью потребления заданного значения.
6. Подсистема управления СНЭЭ подает команду на включение локального генератора и его коммутационного аппарата. Опять же, настройка может быть гибкой и предусматривать, например, фиксированное время прогрева генератора перед приемом мощности.
7. СНЭЭ синхронизирует работу преобразователя с локальным генератором и передает мощность локальному генератору. При этом, во избежание мгновенного броска мощности на генераторе, СНЭЭ может постепенно снижать генерируемую мощность в нагрузку.
8. Опционально подсистема управления СНЭЭ может аналогично управлять процессом переключения на основной источник при возобновлении подачи напряжения (синхронизация генератора с сетью, включение основного ввода, отключение генератора).

При этом следует понимать, что существуют следующие ограничения применения СНЭЭ в качестве временного резервного источника напряжения

1. Мощность преобразователя СНЭЭ должна быть достаточной для принятия нагрузки. В противном случае произойдет отключение преобразователя по перегрузке, и система останется без напряжения.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

2. СНЭЭ нельзя рассматривать как постоянный резервный источник – количество запасенной энергии ограничено зарядом батарей.
3. Пауза в подаче напряжения на нагрузку при переключении с основного источника на СНЭЭ и от СНЭЭ на локальный генератор обусловлены скоростью реакции преобразователей и скоростью коммутации силовых аппаратов. Для систем ЭнБАНК существует опциональная возможность применения в качестве коммутационных аппаратов быстродействующих тиристорных контакторов, что позволяет сократить время паузы в энергопитании до неощутимых нагрузкой 5 – 10 мс.

Однако, преимущества применения систем СНЭЭ также существенны:

1. СНЭЭ одновременно с данной функцией могут выполнять и другие, принося пользу энергосистеме в основном режиме работы.
2. Преобразователь СНЭЭ подключен параллельно нагрузке, что означает, что в основном режиме работы – 99% времени – он не находится в работе, потерь энергии на нем нет, в отличие от систем бесперебойного питания.
3. При применении систем бесперебойного питания, мощность преобразователей должна быть рассчитана на пиковое потребление, поскольку он всегда находится в работе. СНЭЭ может иметь менее мощный преобразователь с оговоркой невозможности питания пиковой нагрузки в островном режиме.

2.2. Ограничение потребления мощности сети в пиковые периоды потребления

Основная задача СНЭЭ в энергосистемах – управление режимами генерации и потребления с целью обеспечения минимальных потерь, оптимизации режимов работы генераторов и сетевых устройств, обеспечения высокого качества электроэнергии потребителей.

Один из наиболее проблемных режимов – пиковое потребление электроэнергии нагрузкой. При этом возможны различные негативные эффекты, в частности:

- повышенные потери в линиях электропередачи;
- перегрузка подстанций, трансформаторов, кабелей;
- недопустимые изменения параметров энергоснабжения у потребителя;
- вынужденное заглубление релейных защит – они должны рассчитываться на пиковое потребление.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

Для нивелирования всех перечисленных факторов можно использовать функцию источника дополнительной мощности СНЭЭ. Для работы этой функции необходимо подключение измерителей мощности в цепь основного источника напряжения (ОЭС). В виде настроек указывается величина допустимого потребления от сети.

При правильном подборе мощности и энергоемкости системы накопления, а также настройке режимов заряда и ограничения мощности потребления сети, все перечисленные выше проблемы могут быть решены. При этом важно, что установка работает в автоматическом режиме, не требуя постоянного управления со стороны оператора.

2.3. Повышение качества электроэнергии для удаленных объектов

На удаленных объектах, питающихся от протяженной и разветвленной сети 0,4 кВ, из-за падения напряжения в период пиковых нагрузок, возникают просадки напряжения с величиной, превышающей допустимые значения. При этом также нередки ситуации, когда из-за неравномерной загрузки по фазам просадки возникают на одной или двух фазах. Характерный суточный график изменения пофазного напряжения в линии, снятый в реальной сети, в точке, близкой к потребителю приведен на рисунке (Рисунок 5).

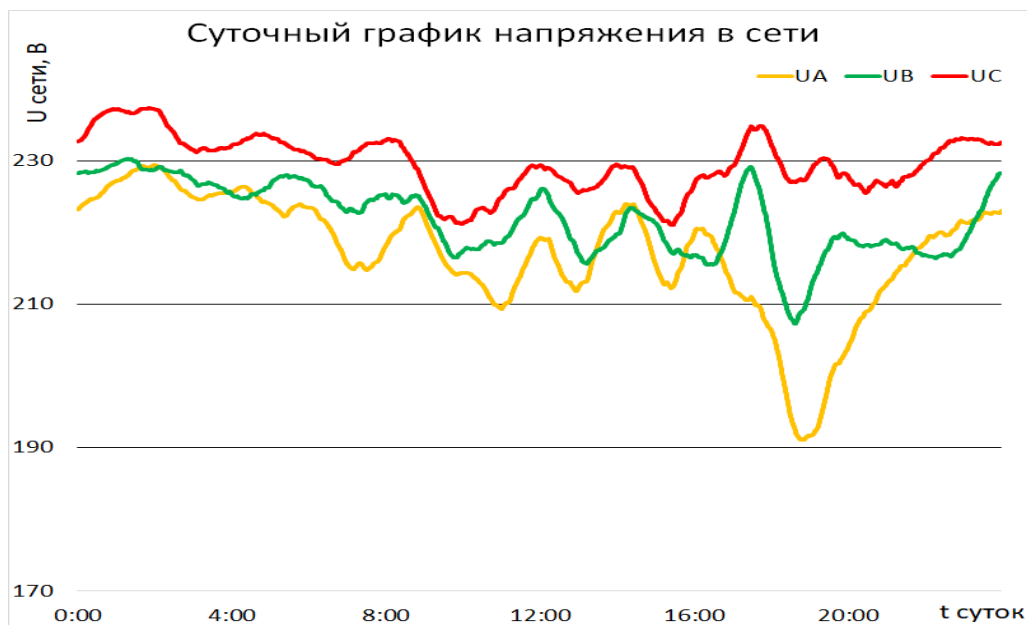


Рисунок 5 – Суточный график изменения напряжения в сети

СНЭЭ может выравнять величину напряжения в сети выдавая дополнительную мощность в сеть (при снижении напряжения) или забирая мощность из сети (при повышении напряжения). Величина выдаваемой мощности может различаться для разных фаз. При этом, недостающая мощность может выдаваться за счет:

- энергии, запасенной в батареях подсистемы накопления СНЭЭ;
- энергии, забираемой из недогруженной фазы.

Для снижения напряжения избыточная мощность может направляться:

- на заряд АКБ подсистемы накопления СНЭЭ;

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

- на компенсацию недостающей мощности в перегруженной фазе.

Включение преобразователя для компенсации мощности может быть реализовано по следующим критериям:

- выход напряжения на одной или нескольких фазах за указанный диапазон;
- превышение потребления по одной или нескольким фазам заданной уставки;
- по расписанию (включающему время суток, дни недели и пр.);
- по команде оператора.

При компенсации мощности по величине напряжения система управления СНЭЭ регулирует мощность преобразователя таким образом, чтобы величина напряжения в точке подключения СНЭЭ к сети всегда была в заданных пределах. При компенсации по превышению мощности преобразователь выдает в нагрузку мощность, равную разности между заданной уставкой и фактически потребляемой мощностью. При компенсации по расписанию, задается величина мощности, которую преобразователь должен выдавать в нагрузку в каждый определенный момент времени.

При значительной величине реактивной составляющей мощности в сети преобразователь генерирует реактивную мощность противоположного знака, тем самым приводя коэффициент мощности ближе к 1. Величина генерируемой реактивной составляющей может различаться для разных фаз.

2.4. Выравнивание графиков генерации и потребления в удаленных энергосистемах с объектами микрогенерации

В соответствии с поправками от 27.12.2019 г. К закону «Об электроэнергетике» каждый потребитель имеет право на получение статуса объекта микрогенерации, и может начать отдавать энергию в сеть в пределах мощности подключения, но не более 15 кВт. Со своей стороны, сеть обязана принять эти излишки, при этом не снимая с себя обязательства по обеспечению потребителя электроэнергией по мере возникновения у него потребности.

По сути, это означает, что сеть должна исполнять для потребителя не только функции источника электроэнергии, но и накопителя с мощностью заряда до 15 кВт и теоретически неограниченной емкостью. Это обстоятельство может создать проблемы для сетевого хозяйства, особенно ощутимые в удаленных узлах с большим количеством подключенных объектов электрогенерации.

Главная проблема заключается в том, что основной объем отдаваемой в сеть объектами микрогенерации энергии придется на пиковые часы солнечной освещенности, как правило, совпадающие со спадом потребления. Это может привести к возникновению излишков энергии, их перетокам в соседние узлы энергосистемы. Такие перетоки приведут к избыточным потерям, возможным сбоям в работе систем РЗА. Кроме того, в эти периоды аналогичные излишки возможны и там.

Решение данной проблемы – применение системы накопления в режиме ограничения обратной мощности.

Система накопления энергии в данном режиме забирает избыточную энергию, не допуская перетоков энергии из данного узла, и возвращает ее потребителю при наступлении пиков потребления.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

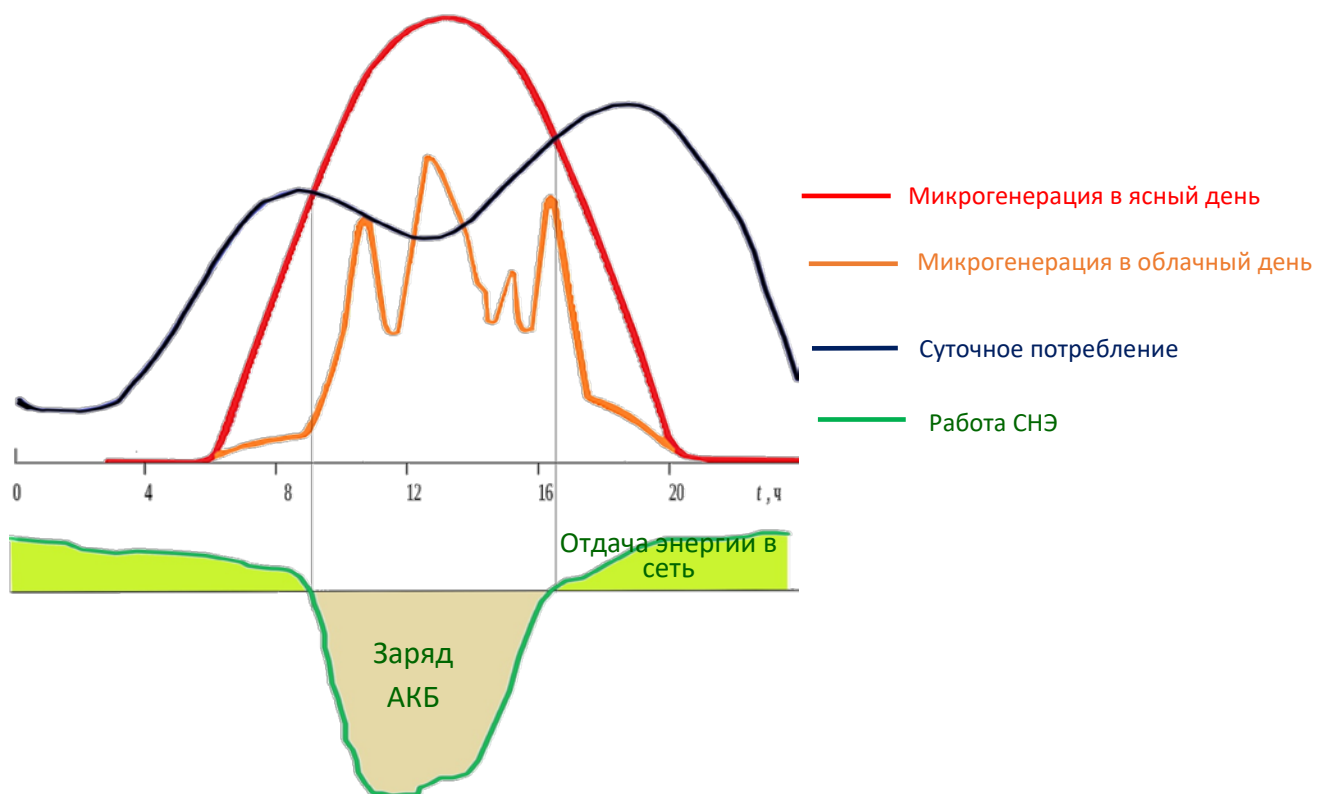


Рисунок 6 – Работа СНЭЭ в режиме согласования графиков генерации и потребления

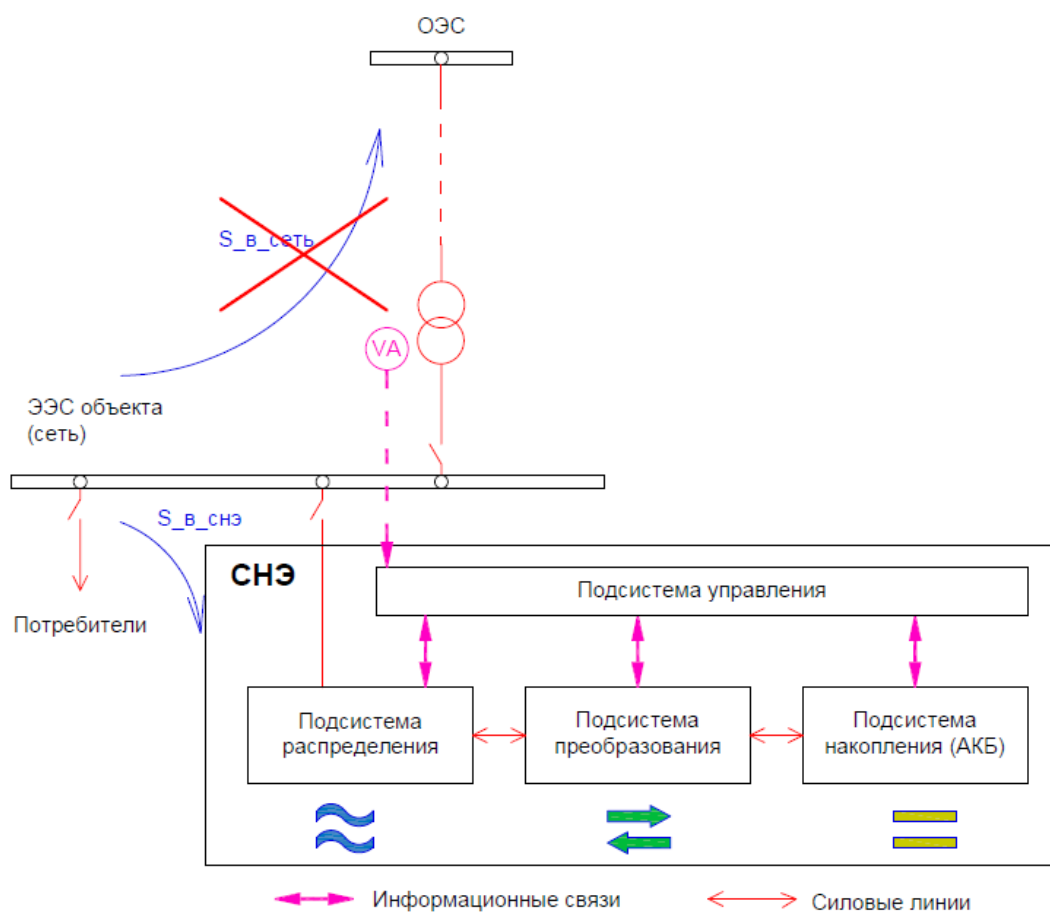


Рисунок 7 – Работа в составе удаленного узла с объектами микрогенерации

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

2.5. Выравнивание графика нагрузки ДГУ (ГПУ) для автономных систем энергоснабжения

В автономных системах электроснабжения, использующих в качестве источников генерации дизель-генераторные установки, важным фактором является обеспечение оптимального режима работы ДГУ. В противном случае возникает или повышенный расход топлива, или увеличенный износ оборудования с уменьшением моторесурса. Для обеспечения работы локальных источников генерации в оптимальном режиме служит режим выравнивание графика нагрузки ДГУ. При этом используется алгоритм ограничения мощности для компенсации пиков потребления (как максимума, так и минимума), с целью поддержания величины мощности, потребляемой от сети, в установленном диапазоне.

Наглядное действие СНЭЭ в режиме выравнивания графика нагрузки представлено на рисунке ниже. ПУ преобразователя следит за мгновенной мощностью нагрузки. При изменении мощности до момента времени t_1 , мощность генератора и нагрузки совпадают. Когда мощность нагрузки переходит порог уставки $\langle P_{max} \rangle$, преобразователь начинает компенсировать разницу за счет энергии АКБ, и мощность генератора ограничивается на уровне $\langle P_{max} \rangle$.

Аналогично алгоритм работает на нижнем пороге ограничения. При изменении мощности до момента времени t_3 , мощность генератора и нагрузки совпадают. Когда мощность нагрузки переходит порог уставки $\langle P_{min} \rangle$, преобразователь начинает компенсировать разницу, забирая энергию из сети и заряжая АКБ, при этом мощность генератора ограничивается на уровне $\langle P_{min} \rangle$. Таким образом, СНЭЭ позволяет использовать источник локальной генерации в наиболее эффективном режиме, избегая как перегрузок, так и неэффективного режима с низким потреблением. За счет этого достигается экономия топлива, появляется возможность использовать источник локальной генерации меньшей мощности.

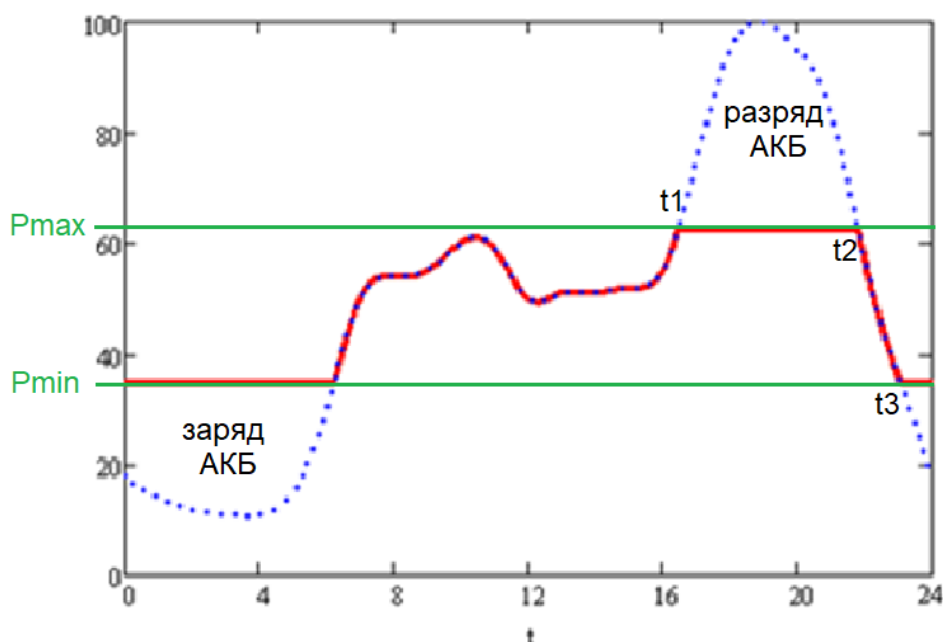


Рисунок 8 – График работы СНЭЭ в режиме ограничения максимума - минимума нагрузки

Этот режим частично пересекается с режимом ограничения потребления мощности сети в пиковые периоды потребления (см.п.2.2), но имеет целью именно оптимизацию работы локальных источников генерации.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

2.6. Компенсация резких сбросов – набросов мощности нагрузки

При резком возрастании (набросе) нагрузки (включении мощного агрегата) или резком ступенчатом спаде (сбросе) нагрузки (отключение мощного агрегата) возникает переходный процесс, характеризующийся изменением напряжения, частоты, и создающий эффекты, нежелательные для некоторых источников напряжения сети (например, газо-поршневых установок). Чтобы сгладить этот переходный процесс СНЭЭ реализует функцию «компенсация сбросов и набросов нагрузки», заключающуюся в том, что для источника генерации СНЭЭ задает плавно изменяющийся график нагрузки, а разницу энергии компенсирует за счет разряда батарей (при набросе) или заряда батарей (при сбросе мощности нагрузки).

Наглядное действие СНЭЭ в режиме ограничения скорости изменения мощности представлено на рисунке.

- токи нагрузки обозначены красным цветом;
- токи сети (ГПУ) обозначены синим цветом;
- токи СНЭЭ обозначены зеленым цветом.

Подсистема управления преобразователя следит за величиной мощности нагрузки. Когда величина *изменения* мощности за определенный период переходит предел, заданный уставкой, включается преобразователь в таком режиме, чтобы для источника генерации изменение мощности было более плавным (допустимая скорость изменения мощности источника также задается уставкой).

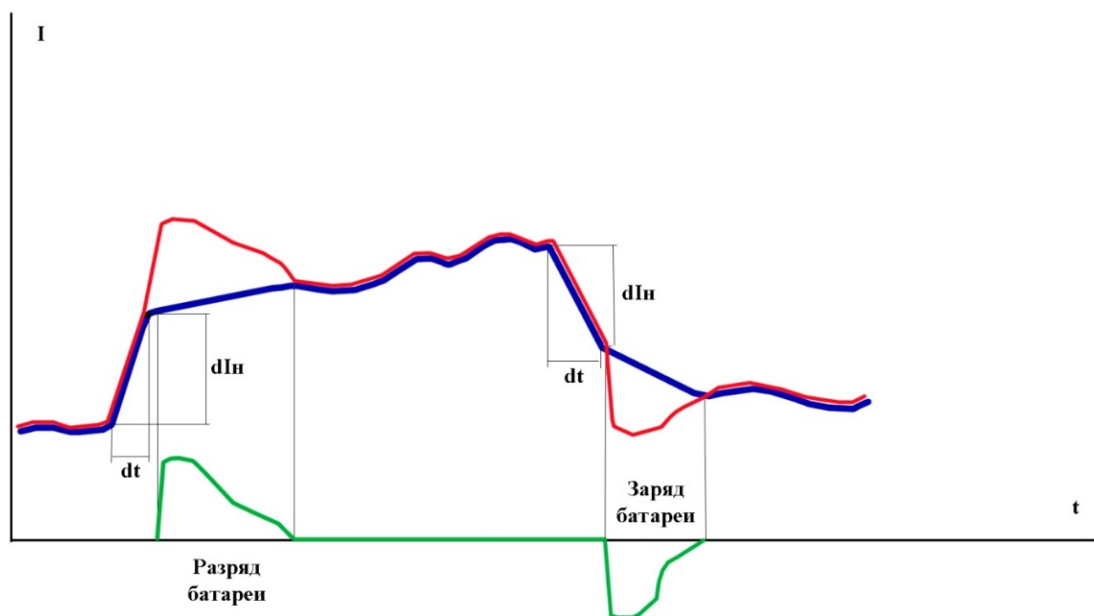


Рисунок 9 – График работы СНЭЭ в режиме компенсации сбросов - набросов нагрузки

2.7. Компенсация реактивной мощности по функции $Q(U)$;

Данная функция предназначена для регулирования напряжения сети путем генерирования или поглощения реактивной мощности. В соответствии с теорией длинной линии, линия представляет собой цепь последовательно соединенных участков с активным сопротивлением, последовательно включенной индуктивностью и параллельно включенной

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

емкостью. Таким образом, падение (изменение) напряжения в линии зависит не только от активной составляющей тока в сети, но и от реактивной его составляющей. СНЭЭ, выдавая реактивную мощность нужной величины и знака в сеть, компенсирует потери, вызванные реактивной мощностью, и выравнивает величину напряжения в сети.

Обеспечение регулирования напряжения путем компенсации реактивной мощности выполняется в соответствии с графиком, представленным на рисунке (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Отрезок между точками ВНУ (верхнее напряжение низкого уровня регулирования) и НВУ (нижнее напряжение верхнего уровня регулирования) является зоной нечувствительности. Далее, при снижении напряжения ниже точки ВНУ происходит линейное увеличение выдачи индуктивной составляющей до максимального значения мощности преобразователя (точка ННУ - нижнее напряжение низкого уровня регулирования). Аналогично, при увеличении напряжения выше точки НВУ происходит линейное увеличение выдачи емкостной составляющей до максимального значения мощности преобразователя (точка ВВУ - верхнее напряжение верхнего уровня регулирования).

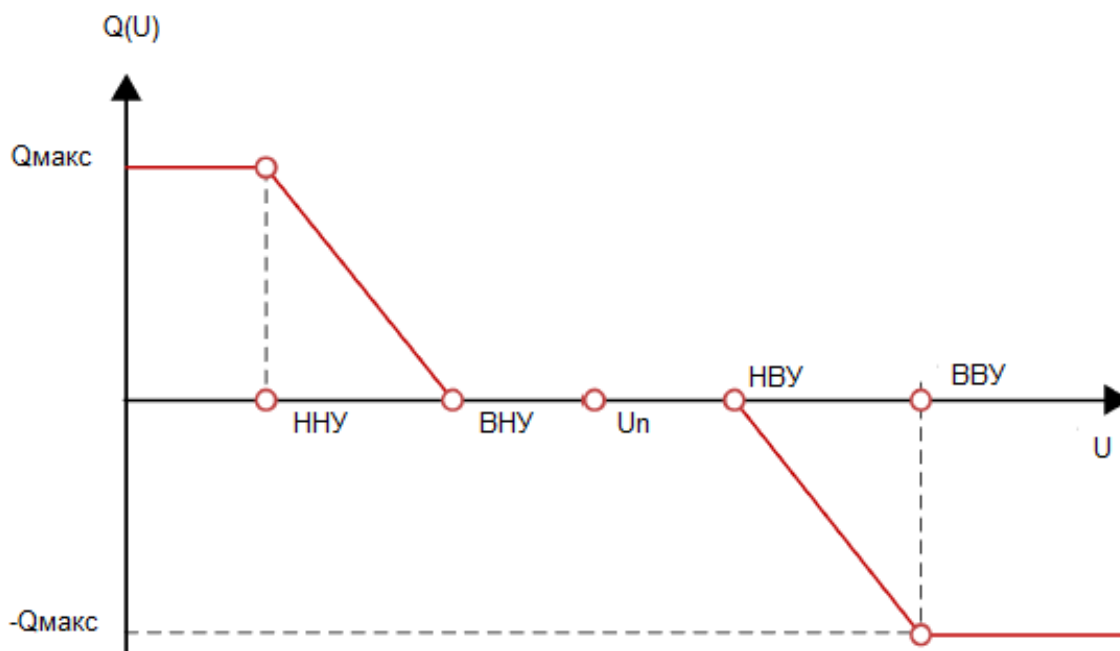


Рисунок 10 – Диаграмма регулирования напряжения реактивной мощностью

Таким способом СНЭЭ старается удерживать значение напряжения сети в заданных пределах. Параметры ключевых точек кривой регулирования гибко настраиваются в зависимости от характеристик сети и преобразователя.

2.8. Регулирование активной мощности при изменении частоты сети $P(f)$

Функция регулирования активной мощности при изменении частоты сети необходима для стабилизации параметров сети, в которой, в качестве источников генерации, используются генераторы ограниченной мощности. У таких генераторов, при изменении нагрузки, происходит изменение частоты генерации (при увеличении нагрузки частота снижается, при уменьшении – повышается). При включении этой функции СНЭЭ обеспечивает регулирование

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

выходной мощности в зависимости от частоты сети. При увеличении частоты сети выше заданного порога, СНЭЭ уменьшает выдачу (или начинает забирать) выходной мощности в соответствии с заданной кривой, таким образом дополнительно нагружая генератор. При уменьшении частоты сети СНЭЭ начинает выдавать (или уменьшает потребление) выходную мощность, соответственно разгружая генератор. График работы функции представлен на рисунке.

Кривая имеет четыре характерные точки для обеспечения наиболее эффективной подстройки частоты. Параметры этих ключевых точек кривой регулирования гибко настраиваются в зависимости от характеристик сети и преобразователя.

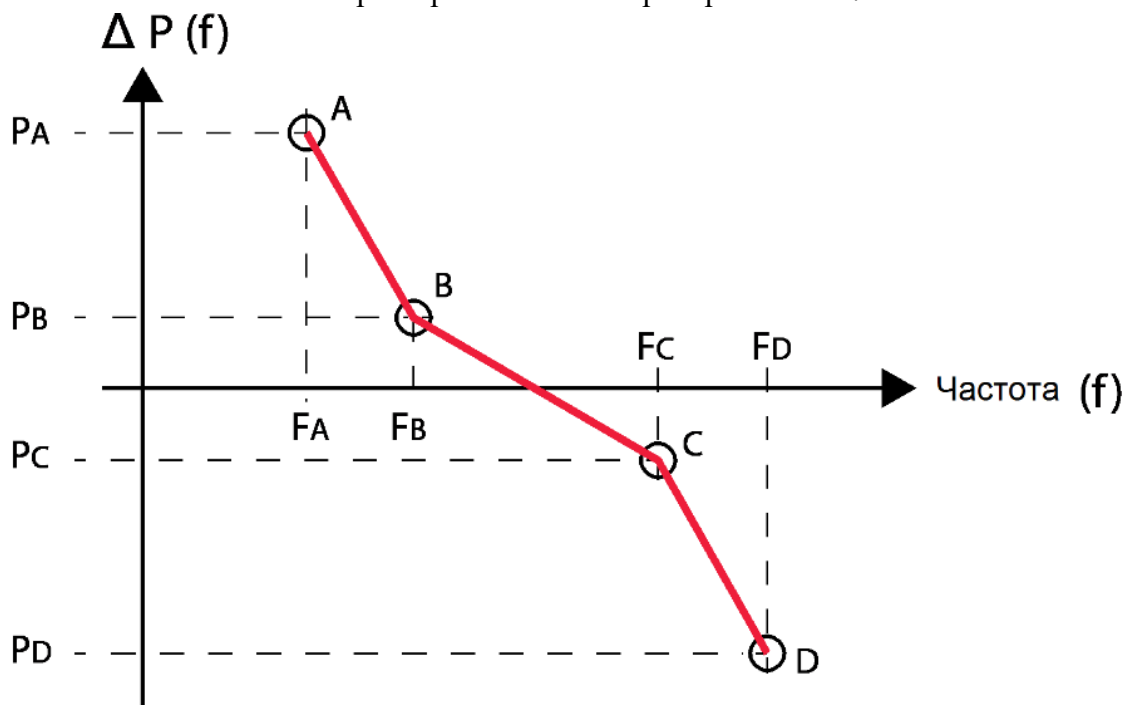


Рисунок 11 – Диаграмма регулирования частоты активной мощностью

2.9. Потребление и выдача мощности по расписанию

Для систем большой мощности алгоритм потребления и выдачи мощности по расписанию является основным. Наглядная диаграмма работы СНЭЭ в режиме работы по расписанию приведена на рисунке. В период, разрешенный для заряда накопителя, СНЭЭ потребляет электроэнергию из сети. В разрешенный для разряда период СНЭЭ выдает мощность в нагрузку.

При этом в качестве задания системе задаются параметры:

- Время начала и окончания разряда;
- Мощность разряда;
- Период, разрешенный для заряда системы;
- Мощность заряда;
- Максимально допустимая общая нагрузка на сеть в периоды заряда

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

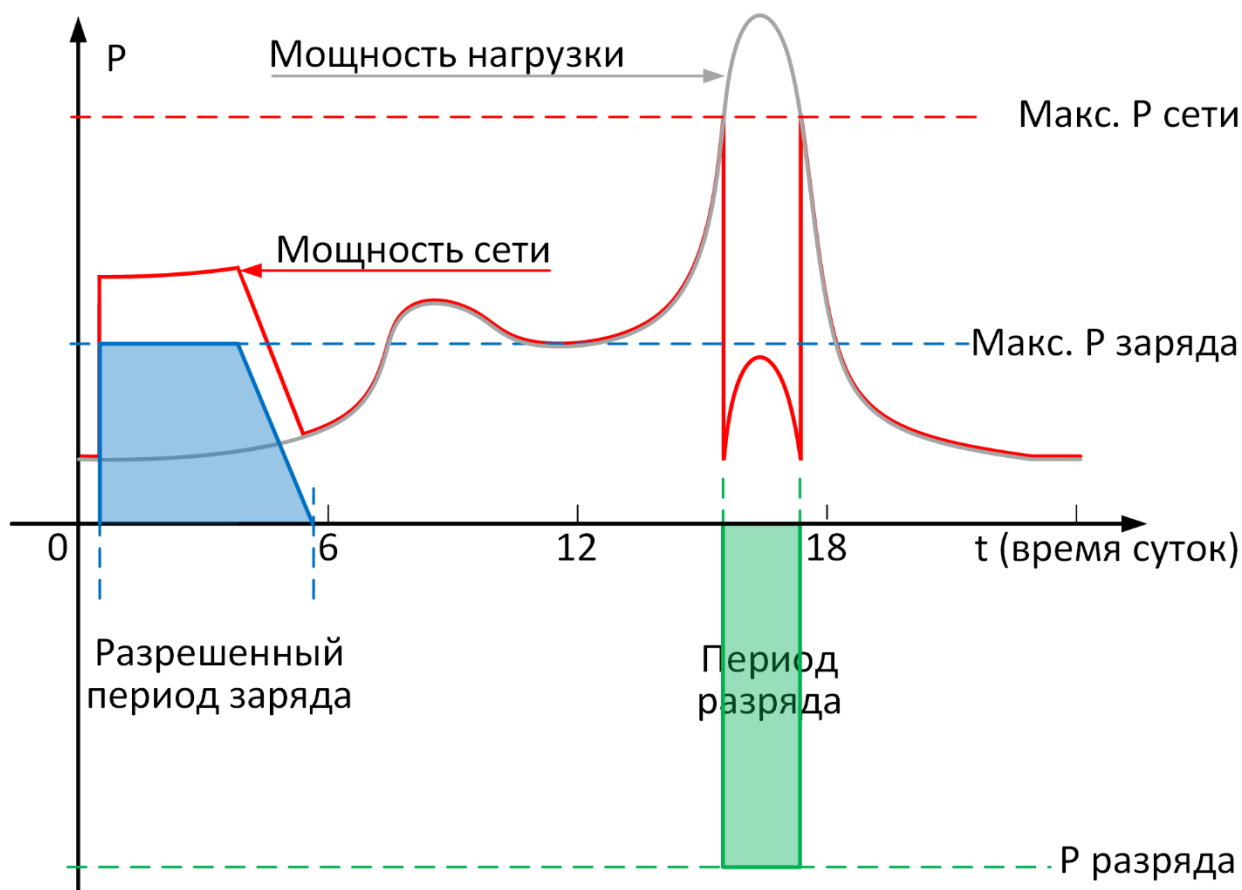


Рисунок 12 – Диаграмма выдачи мощности по расписанию

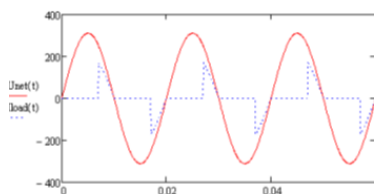
Кроме того, мощность разряда и заряда, а также начало и окончание заряда и(или) разряда может задаваться диспетчером и/или системой управления верхнего уровня.

2.10. Функция активного фильтра высших гармоник тока

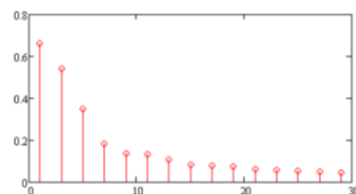
Одной из полезных дополнительных функций СНЭЭ может рассматриваться функция, исполняемая за счет свойств преобразователя без задействования элементов накопления энергии.

Функция активного фильтра гармоник состоит в том, что, анализируя форму напряжения и тока, преобразователь в состоянии, определив высокое содержание высших гармоник, подавлять их, генерируя ток необходимой формы. Пример работы данного алгоритма приведен на рисунке ниже

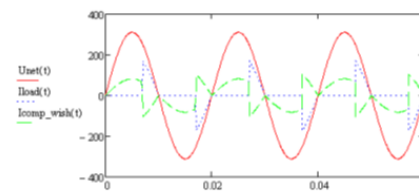
НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1



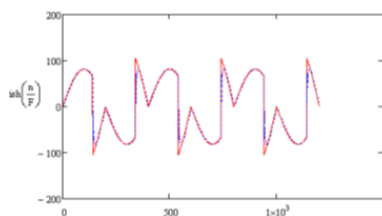
Напряжение и ток нагрузки



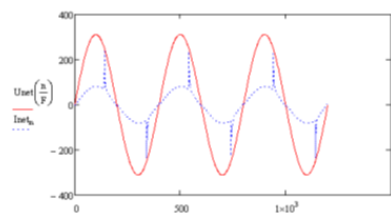
Нормированные значения гармоник тока нагрузки



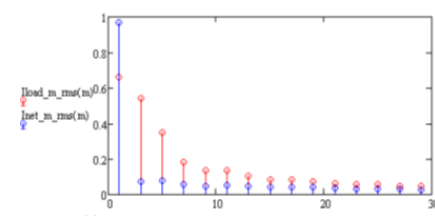
Желаемый ток компенсации



Желаемый и фактический ток накопителя



Напряжение и скомпенсированный ток сети



Нормированные гармоники тока нагрузки и скомпенсированного тока сети

Рисунок 13 – Пример работы преобразователя в режиме активного фильтра с активным подавлением высших гармоник тока

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

3. Технико-экономические факторы применения СНЭЭ.

3.1. Возможное применение на объектах сетевого хозяйства

Сетевое хозяйство Российской Федерации имеет следующие особенности:

- очень большая протяженность сетей;
- большая мощность, передаваемой на значительные расстояния;
- неравномерное развитие сетевого хозяйства на территории страны.

Основные функции, которые могут выполняться СНЭЭ в сетевом хозяйстве, приведены в таблице (Таблица 1):

Таблица 1 Возможные применения СНЭЭ на объектах сетевого хозяйства

№	Применение	Номер функции в описании	Альтернатива применению СНЭ
1	Обеспечение 1 и 2 категории надежности электроснабжения для потребителей 0,4 кВ. Присоединение – на границе балансовой принадлежности	2.1	Строительство сети для подключения резервного ввода
2	Резервирование фидеров 0,4 кВ с социально-значимыми потребителями при потере питания со стороны 6/10 кВ для наиболее эффективной организации аварийно-восстановительных работ	2.1	Строительство сети для подключения резервного ввода
3	Применение в режиме пиковых нагрузок на протяженных фидерах 0,4 кВ для поддержания качества электроэнергии и снижения потерь	2.2	Увеличение мощности существующих линий – замена кабельных линий, ТП и т.д.
4	Выравнивание напряжения и компенсация перекаса на протяженных фидерах 0,4 кВ для поддержания качества электроэнергии	2.3	Увеличение мощности существующих линий – замена кабельных линий, ТП и т.д.
5	Покрывание пиковых нагрузок при выходе из строя одного из трансформаторов перегружаемой подстанции в режиме n-1	2.2	Установка дополнительного трансформатора, реконструкция подстанции
6	Применение в составе комплексных систем обеспечения электроснабжения, в т.ч. автономного вместе с источниками малой генерации	2.2, 2.4	Строительство ветки сетевого подключения, увеличение мощности локальной не возобновляемой генерации
7	Применение в составе удаленных энергосистем с источниками микрогенерации	2.4	Увеличение мощности линии подключения
8	Применение передвижных СНЭЭ для временного резервирования питания объектов на время строительно-монтажных, аварийно-восстановительных работ и т.д.	2.1	Применение классических источников энергии - ДГУ

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

Общие замечания по поводу экономических аспектов применения СНЭЭ:

1. Строительство объектов сетевой инфраструктуры: линий электропередачи, трансформаторных подстанций и т.д., является хорошо освоенной, экономически оптимизированной сферой. При наличии технической возможности производства таких работ, сравнительно небольшой длины организуемых линий и отсутствии дополнительных ограничивающих факторов, данная альтернатива является экономически более предпочтительной;
2. Приложения, связанные с необходимостью длительной работы в автономном режиме (№№ 1, 2, 8, Таблица 1), требуют наличия в составе СНЭЭ аккумуляторных батарей большой ёмкости, что приводит к более высокой стоимости установок по сравнению с другими применениями;
3. Возможны технические и технологические ограничения, которые приведут к значительному росту стоимости реализации альтернативных вариантов решения либо сделают их невозможными, что повысит сравнительную экономическую привлекательность СНЭЭ. Такими обстоятельствами могут быть:
 - трудная доступность районов, что обуславливает увеличение стоимости строительных работ по прокладке линий;
 - удаленность районов – значительная протяженность (оценочно – более 10-15 км) требуемых к строительству линий;
 - отсутствие резервной мощности на вышестоящей подстанции;
 - наличие природоохранных зон – невозможность строительства линий;
 - невозможность работы с дизельными генераторами по п.8 таблицы выше (ограничения по шуму, выхлопу и т.д.);
 - большое количество действующих объектов микрогенерации и ВИЭ в удаленном районе;
4. Возможно производство СНЭЭ, выполняющих одновременно несколько функций и совмещающих преимущества различных подходов. В частности, системы линейки ЭнБАНК опционально могут ОДНОВРЕМЕННО реализовывать следующие функции:
 - временного резервного источника питания при исчезновении сетевого напряжения (п.2.1);
 - ограничения потребления мощности сети в пиковые периоды потребления (п.2.2);
 - выравнивания графиков генерации и потребления в удаленных энергосистемах с объектами микрогенерации (п.2.4).

Кроме того, ОДНОВРЕМЕННО возможно выполнение следующих функций:

- компенсации реактивной мощности нагрузки;
- компенсация перекаса фаз;
- подавления высших гармоник тока;
- приема или генерирования заданной мощности в сеть по команде оператора или по расписанию;

В таком случае, при использовании нескольких опций, экономическую оценку применения устройств необходимо делать не на основе сравнительного подхода, а на базе расходного или доходного метода.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

Выводы по пункту:

1. Системы накопления энергии могут экономически обоснованно применяться в сетевом хозяйстве при наличии технических и технологических ограничений, ведущих к росту стоимости альтернативных решений (как правило, осуществления сетевого строительства) или делающих их реализацию невозможной.
2. При рассмотрении применения СНЭЭ на объектах сетевой инфраструктуры необходимо учитывать мультифункциональность установок и возможность достижения экономического и технического эффектов по нескольким направлениям.

3.2. Применение СНЭЭ в инфраструктуре зарядных станций для электромобилей

В последнее время в мире и в России все большую популярность приобретает электрический транспорт. Одним из недостатков электротранспорта, сдерживающим его широкое распространение, является продолжительное время зарядки, составляющее до нескольких часов. Решением этой проблемы стала схема «быстрой зарядки», позволяющая набрать до 80% от максимального заряда за полчаса и менее. При этом, от зарядной станции требуется значительная мощность – от 100 кВт и выше. Так как инфраструктура зарядных станций должна соответствовать дорожной инфраструктуре, то далеко не к каждой зарядной станции представляется возможным подвести электрическую сеть достаточной мощности.

С другой стороны, на удаленных зарядных станциях заправляется относительно небольшое число электромобилей, и среднее потребление такой зарядной станции относительно невелико. Поэтому экономически нецелесообразно подводить к ним электрическую сеть большой мощности.

Решением проблемы невозможности быстрой зарядки для удаленных зарядных станций и для станций, к которым невозможно подвести сеть большой мощности, является применение СНЭЭ. Установка заряжает собственный накопитель в течение значительного времени относительно небольшой мощностью, при этом выдает большую мощность в нагрузку в момент быстрой зарядки электромобиля. Таким образом, СНЭЭ позволяет сгладить график потребления зарядной станции и, при достаточно большой емкости накопителя, максимально приблизить его к равномерному, равному среднему, потреблению.

Схема работы СНЭЭ в составе электрозаправочной станции и примерный график потребления электроэнергии при работе электрозаправочной станции в комплексе с СНЭЭ приведены на рисунке (Рисунок 14). В зависимости от проектных решений и настроек ЭнБАНК, для работы в составе электрозаправочной станции, они может использовать режимы, описанные в п.2.2 (Ограничение потребления мощности сети в пиковые периоды потребления) или п.2.9 (Потребление и выдача мощности по расписанию). Во втором случае заряд и разряд выполняется по команде системы управления верхнего уровня (системы управления электрозаправочной станции).

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

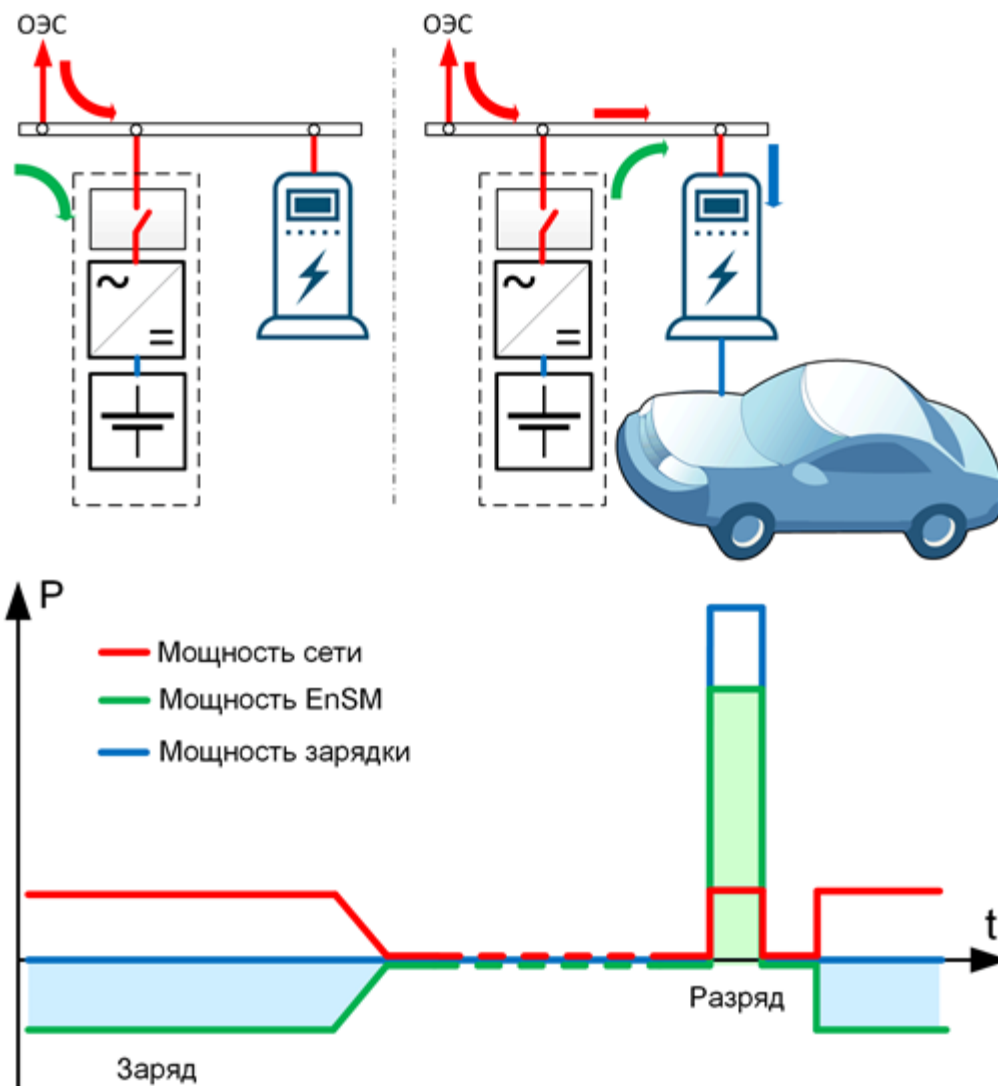


Рисунок 14 – Схема работы и график при совместной работе ЭнБАНК и электрозаправочной станции

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

3.3. Применение СНЭЭ для тарифного арбитража.

Одна из важных задач для потребителей – сокращение расходов на электроэнергию, в частности, оплаты тарифа за максимальную потребляемую мощность. Для этого важно в заранее заданный расчетный час максимально сократить потребление электроэнергии из сети. СНЭЭ большой мощности (ЭнБАНК-К) оптимально подходит для решения этой задачи. Установка накапливает электроэнергию в часы минимального потребления (например, ночью) и отдает ее в нагрузку в заранее заданный час по команде оператора или системы управления верхнего уровня. Наглядная диаграмма работы СНЭЭ в режиме работы по расписанию приведена в п.2.9 (Потребление и выдача мощности по расписанию). СНЭЭ располагается у потребителя, после приборов учета электроэнергии. В период, разрешенный для заряда накопителя, СНЭЭ потребляет электроэнергию из сети, тем самым дополнительно выравнивая общий график потребления. В заранее заданный расчетный час СНЭЭ выдает мощность в нагрузку, сглаживая пик потребления. При этом, приборы учета фиксируют сниженную мощность потребления от сети.

Аналогично, алгоритм работы по расписанию можно использовать для экономии на оплату электроэнергии при двухкомпонентной тарификации, когда в период низкого тарифа СНЭЭ заряжает АКБ, и разряжает в час пик, в период более высокого тарифа.

3.4. Применение СНЭЭ в изолированных сетях с резкопеременной нагрузкой.

Одно из возможных применений СНЭЭ – это использование в качестве компенсатора резкопеременной нагрузки в изолированных сетях, где в качестве основного источника электроэнергии служат газопоршневые или газотурбинные установки (ГПУ / ГТУ), а также дизель-генераторные установки (ДГУ).

3.4.1. Использование СНЭЭ на буровых установках.

Реакция генераторов различного типа на сброс / наброс нагрузки – серьезная проблема, ограничивающая возможность применения генераторов некоторых типов на промышленных объектах, характеризующихся резкопеременным характером нагрузки, например, на буровых установках. Некоторые генераторы (ГПУ, ГТУ) не способны обеспечивать сбросы и набросы выше заданных пределов в силу технологических особенностей. Для других типов генераторов (например, ДГУ) это сопряжено с повышенным расходом топлива и ресурса. Как правило, для таких систем в качестве основных источников применяют ГПУ/ГТУ, а в качестве компенсаторов – ДГУ, мощность которых в несколько раз больше предельно возможных сбросов / набросов нагрузки. Такие вынужденные схемы приводят к большому потреблению дизельного топлива и высокому износу компенсирующих ДГУ.

Применение СНЭЭ для демпфирования фронтов нарастания/убывания мощности нагрузки (для ограничения скорости изменения мощности генераторов) дает возможность генераторам избежать опасных режимов и таким образом снимает ограничения по применению определенных источников энергии, а также позволяет исключить демпфирующие ДГУ из системы.

Алгоритм работы СНЭЭ при компенсации сброса / наброса нагрузки приведен в п.2.6. На рисунке (Рисунок 15) приведен график изменений параметров ГПУ при совместной работе с СНЭЭ работе на резкопеременную нагрузку.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

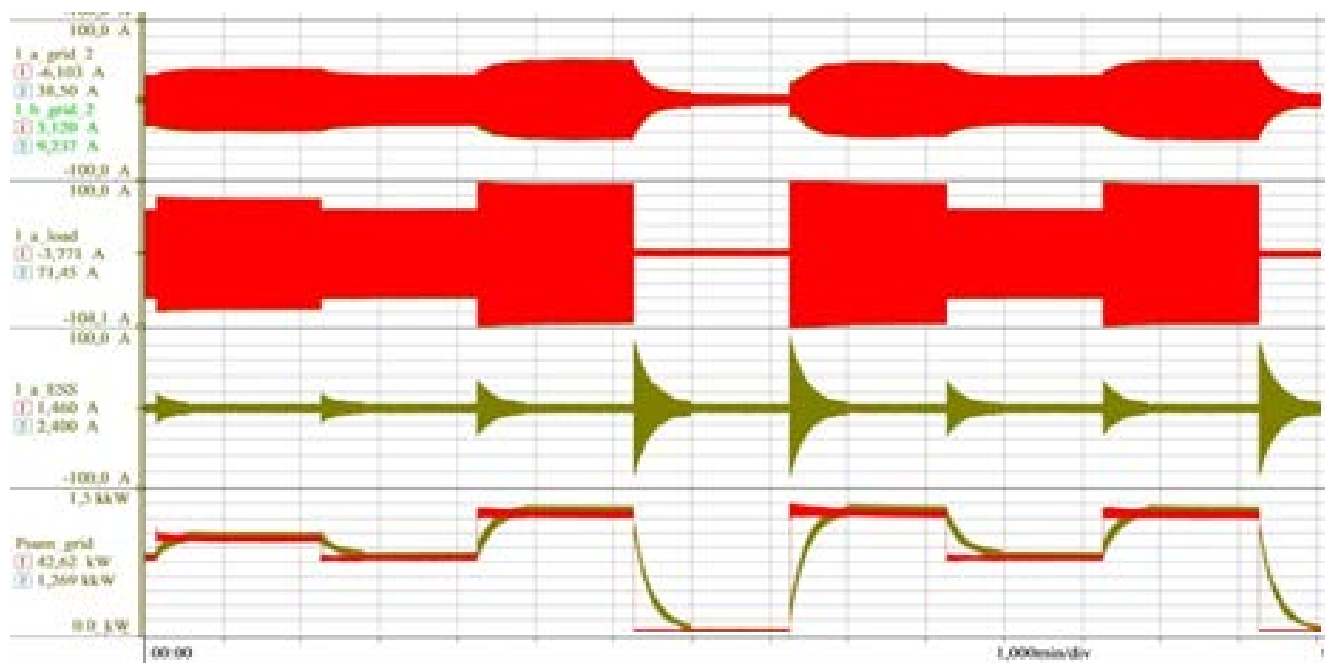


Рисунок 15 Графики совместной работы ГПУ и СНЭЭ на резкопеременную нагрузку

На рисунке представлены следующие графики (сверху вниз):

- график изменения тока ГПУ;
- график изменения тока нагрузки;
- график изменения тока СНЭЭ;
- совмещенный график изменения мощности нагрузки (красная линия) и мощности ГПУ (зеленая линия).

Представленный рисунок наглядно показывает, что изменение токов ГПУ не превышает допустимых значений при любых величинах изменения мощности нагрузки.

3.4.2. Стабилизация параметров изолированной энергосистемы

В изолированной энергосистеме на базе генераторов конечной мощности, СНЭЭ также можно применять для обеспечения динамической устойчивости и стабилизации частоты при резких изменениях (набросах или сбросах) нагрузки, в том числе при коротких замыканиях. При резких изменениях нагрузки происходит изменение частоты сети (из-за локального изменения баланса производства и потребления электрической мощности), вследствие чего генератор может выйти из синхронизма и отключиться. Чтобы избежать этого неблагоприятного явления, в изолированных энергосистемах, в качестве горячего резерва, используются дополнительные генераторы, обеспечивающие необходимый запас мощности. Но применение дополнительных генераторов приводит к тому, что эти генераторы большую часть времени работают в неоптимальном режиме, зачастую с нагрузкой 30 – 40% и менее, что неблагоприятно сказывается на их ресурсе и расходе топлива.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

В этих случаях также можно использовать СНЭЭ с работающим алгоритмом компенсации сброса / наброса нагрузки, который приведен в п.2.6. Если скорость изменения тока превышает уставку, то, в зависимости от знака тока, СНЭЭ либо добавляет мощность в нагрузку (разгружая генератор), либо забирает мощность от генератора (догружая его). При этом не происходит перерегулирование генератора и изменение частоты сети.

Сравнительный график изменения частоты генератора при изменении нагрузки в диапазоне 20 – 90% от максимальной мощности без СНЭЭ (верхний график) и совместно с СНЭЭ (нижний график) приведен на рисунке (Рисунок 16):

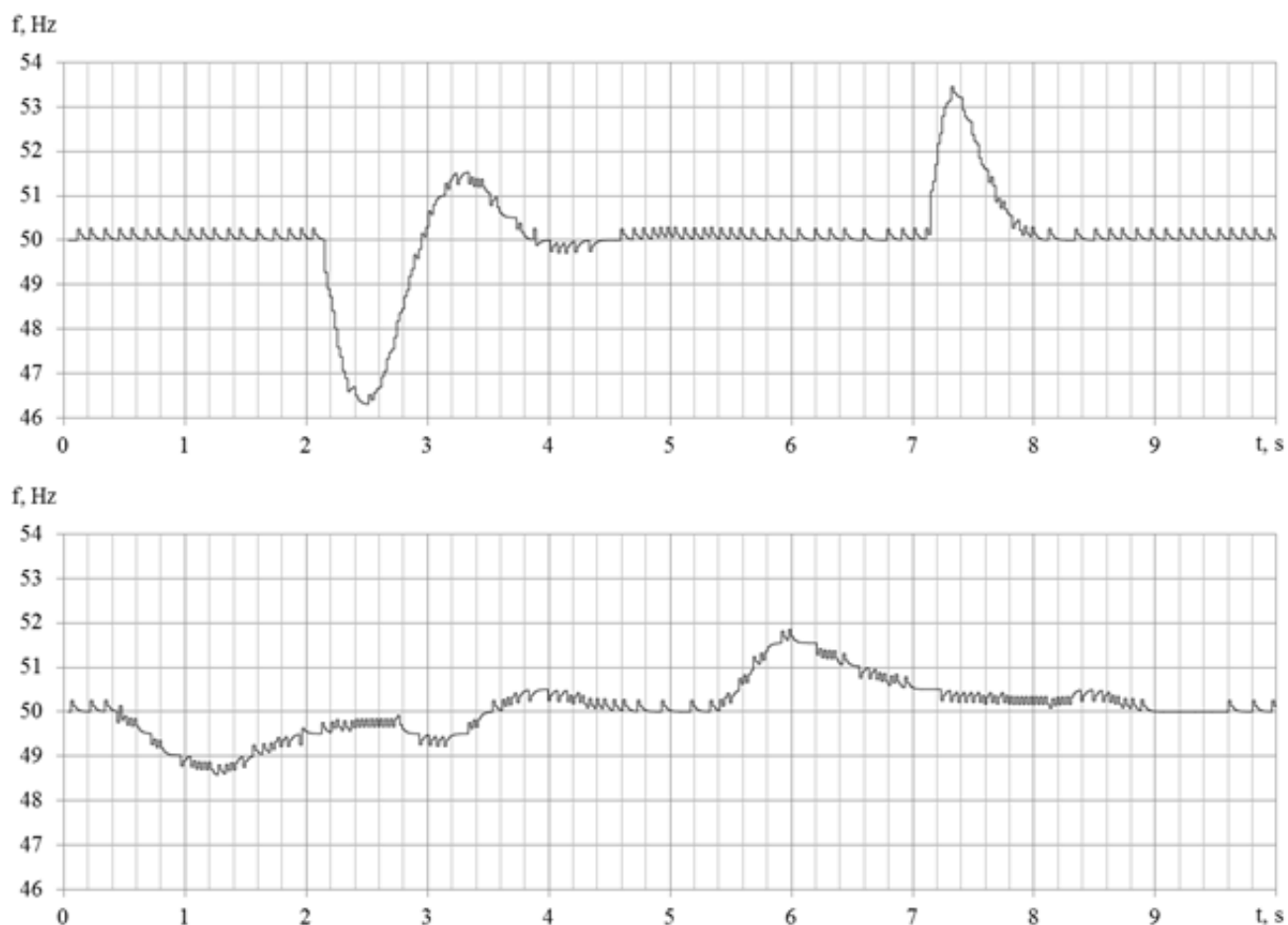


Рисунок 16 – Графики изменения частоты генератора

Из рисунка видно, что СНЭЭ эффективно стабилизирует работу генератора, при этом диапазон изменения частоты снижается более чем в два раза.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

3.5. Применение СНЭЭ в составе энергосистемы с гибридной генерацией

На территории страны, особенно в восточной ее части находится достаточно большое количество удаленных поселений, к которым невозможно протянуть линии электропередачи для подключения их к общей сети электроснабжения. Электроснабжение таких удаленных поселков осуществляется от автономных энергоустановок, построенных на базе дизельных электростанций (ДЭС). Мощность ДЭС, как правило, рассчитывается на максимально возможное потребление. Так как нагрузка в поселках не является постоянной, то ДЭС часто работает не в оптимальном режиме. Для оптимизации и для повышения надежности электроснабжения в состав ДЭС включают несколько дизель-генераторных установок, но и при такой схеме ДГУ также часто работают не в оптимальном режиме, что приводит к повышенному износу и увеличенному расходу топлива.



Рисунок 17 – Схема подключения СНЭЭ в составе гибридной электроустановки

Для сокращения расходов на дизельное топливо в таких автономных энергоустановках используют фотоэлектрические станции (ФЭС), то есть создается *гибридная* энергоустановка, совмещающая несколько типов генерации. Но эффективность применения ФЭС оказывается невысокой в связи с тем, что максимум солнечной освещенности приходится на дневное время, когда потребление небольшое, а в утренние и вечерние часы максимумов потребления солнечная освещенность существенно снижается. Применение СНЭЭ позволяет существенно

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Система накопления электрической энергии ЭнБАНК. Варианты применения	РИМТЭ-003-001 ТО	1

повысить эффективность применения ФЭС, а также позволяет использовать ДГУ в режимах, близких к оптимальным. Схема включения СНЭЭ представлена на рисунке.

Диаграммы работы СНЭЭ и график выработки электроэнергии, показывающие принцип работы СНЭЭ, представлены на рисунке (Рисунок 19).

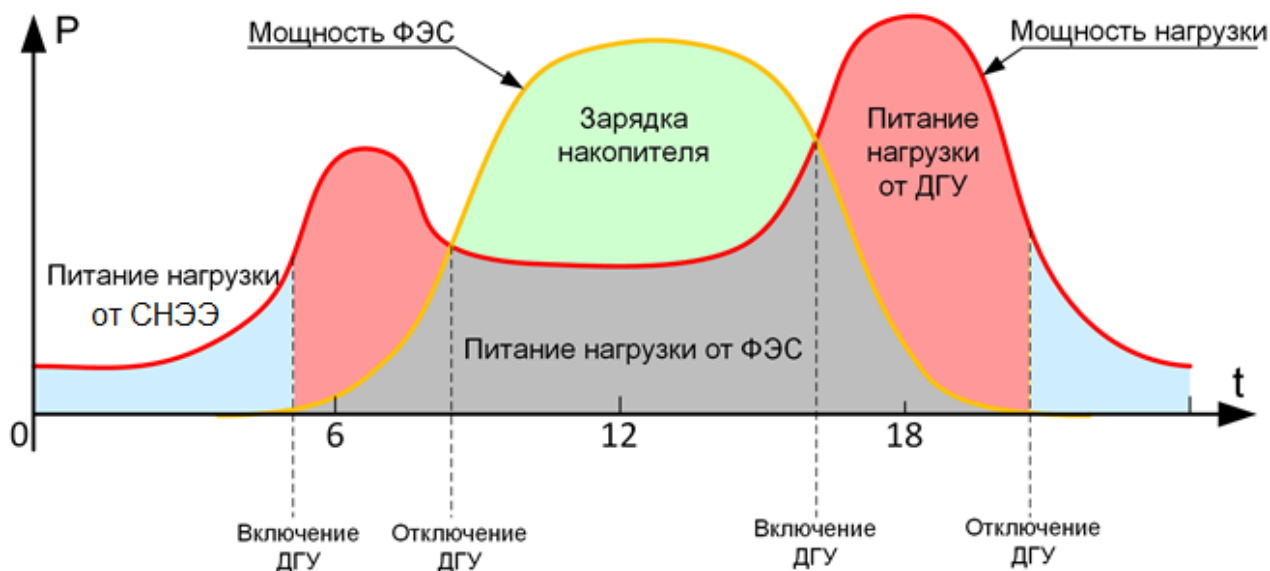


Рисунок 18 – Диаграмма работы гибридной энергосистемы, в состав которой входит СНЭЭ

- в утренние и вечерние часы пик нагрузка питается от ДЭС, при этом СНЭЭ в зависимости от величины нагрузки и от степени заряженности своей подсистемы накопления добавляет мощность, разгружая ДГУ или забирает мощность на заряд, догружая ДГУ;
- в дневные часы максимума солнечной освещенности и снижения потребления СНЭЭ забирает избыток мощности от ФЭС, заряжая АКБ подсистемы накопления, при этом ДЭС может быть остановлена;
- в ночные часы с минимумом потребления нагрузка питается за счет накопленной энергии СНЭЭ, при этом ДЭС также остановлена.