Круглый стол НП «НТС ЕЭС» в рамках Российского международного энергетического форума (РМЭФ-2025)

Способы эффективного применения систем накопления электроэнергии для повышения гибкости энергосистем

Илюшин Павел Владимирович

Доктор техн. наук, руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ИНЭИ РАН, председатель секции НП «НТС ЕЭС»

г. Санкт-Петербург, 10 апреля 2025 г.

Существующее положение

- В последние годы СНЭЭ находят все большее применение в энергосистемах различных стран мира для решения актуальных задач
- Крупнейшая СНЭЭ Gateway Energy (Калифорния) введена компанией LS Power с литий-ионными АБ мощностью 250 МВт (1 ГВт·ч) в 2020 г.
- По данным Bloomberg NEF к концу 2030 г. суммарная установленная мощность СНЭЭ в мире составит 411 ГВт, а их энергоемкость 1194 ГВт·ч
- Малое время отклика, значительные величины мощности и энергоемкости открывают широкие перспективы применения СНЭЭ для управления как переходными, так и установившимися режимами в ЭЭС
- Пилотное внедрение СНЭЭ с ВЭС и СЭС (Бурзянская СЭС – 10 МВт с СНЭЭ 8 МВт·ч; Кош-Агачская СЭС – 5 МВт с СНЭЭ 580 кВт·ч; АГЭУ «Канчалан» – 400 кВт с СНЭЭ 200 кВт·ч; АГЭУ «Тура» – 2,5 МВт с СНЭЭ 450 кВт·ч)
- На энергообъектах России СНЭЭ используются совместно с ДГУ, в качестве РИСЭ, в т.ч. в СОПТ, а также для поддержания ПКЭЭ
- Литий-ионные аккумуляторные батареи за последнее десятилетие подешевели в 2 раза (повысило их инвестиционную привлекательность)
- В микросетях СНЭЭ получили широкое применение, что позволяет содействовать повышению энергосбережения и надежности электроснабжения потребителей при авариях в питающих сетях

Возможные варианты эффективного применения СНЭЭ в ЭЭС (механизмы окупаемости)

№ п/п	Вид услуг СНЭЭ	Место размещения СНЭЭ			Бенефициар
1.	Регулирование частоты – 1 место	В сетях внутреннего электроснабжения конечных потребителей (за счетчиком)	Распределительные сети	Магистральные сети	Системный оператор и электросетевые компании
2.	Резервный источник электроснабжения (РИСЭ) – 3 место				
3.	Увеличение доли генерации ВИЭ в балансе мощности – 4 место				
4.	Поддержание напряжения в узлах				
5.	Горячий (вращающийся) резерв				
6.	Ликвидация перегрузок ЛЭП и СТ				
7.	Договорная поставка электроэнергии				Генерирующие компании
8.	Обеспечение маневренных характеристик электростанций				
9.	Сдвиг вправо сроков строительства ЛЭП в магистральных сетях			Услуги недоступны	
10.	Сдвиг вправо сроков строительства ЛЭП в распределительных сетях		Услуги недоступны		
11.	Снижение затрат на электроэнергию и мощность – 2 место				Потребители электро-энергии
12.	Автономное электроснабжение				
13.	Ценовой арбитраж				
14.	Расширение области допустимых режимов ГУ объектов РЭ – 5 место				

В настоящее время отсутствуют законодательные ограничения на установку СНЭЭ «за счетчиком» для инвесторов/собственников СНЭЭ

С учетом процедурной простоты установки СНЭЭ на стороне потребителя, имеются возможности для оказания максимального количества услуг со стороны СНЭЭ в ЭЭС

! **Интеграция СНЭЭ небольшой мощности и энергоемкости в сети внутреннего электроснабжения конечных потребителей (за счетчиком) может стать значимым драйвером для развития отрасли СНЭЭ в России**

Механизм окупаемости СНЭЭ для потребителей

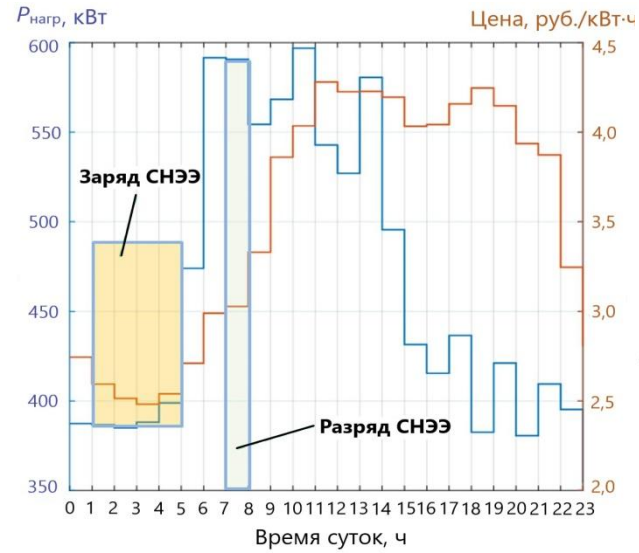


Рис. 1. График нагрузки предприятия и цена на электроэнергию

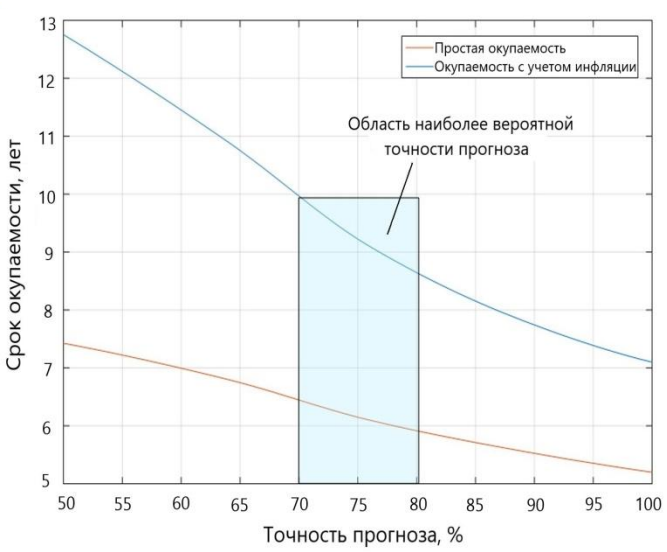


Рис. 2. Зависимость срока окупаемости СНЭЭ от точности прогноза часа максимума региона

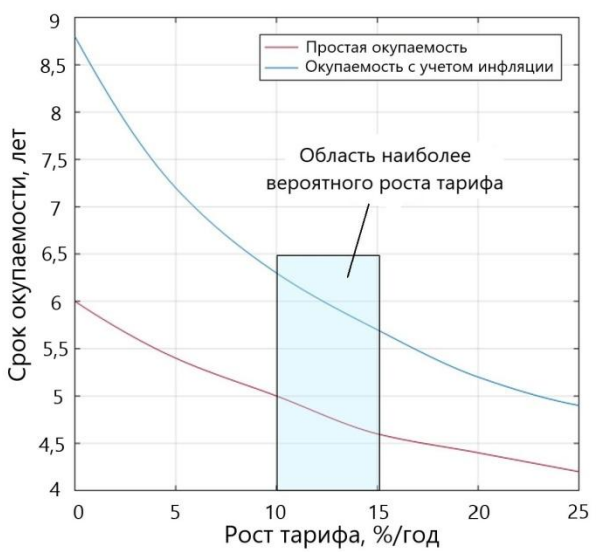


Рис. 3. Зависимость срока окупаемости СНЭЭ от величины роста тарифа на мощность

- заряд осуществляется с 01:00 до 05:00, а разряд с 06:59 до 08:01, когда фиксируется час пиковой нагрузки региона
- простой период окупаемости СНЭЭ составит 5,5 лет, а с учётом дисконтирования (инфляция 12,3% в год) и ежегодном росте стоимости обслуживания СНЭЭ на 1% – около 7,5 лет
- с учетом точности прогноза часа максимума региона в районе 70-80% срок окупаемости составит 8,5-10 лет

Чем выше тариф на покупную мощность в регионе, и больше величина ежегодной индексации тарифов, тем меньше срок окупаемости СНЭЭ

Предотвращение отключений ГУ в изолированном энергорайоне при набросе нагрузки (пуск группы АД)

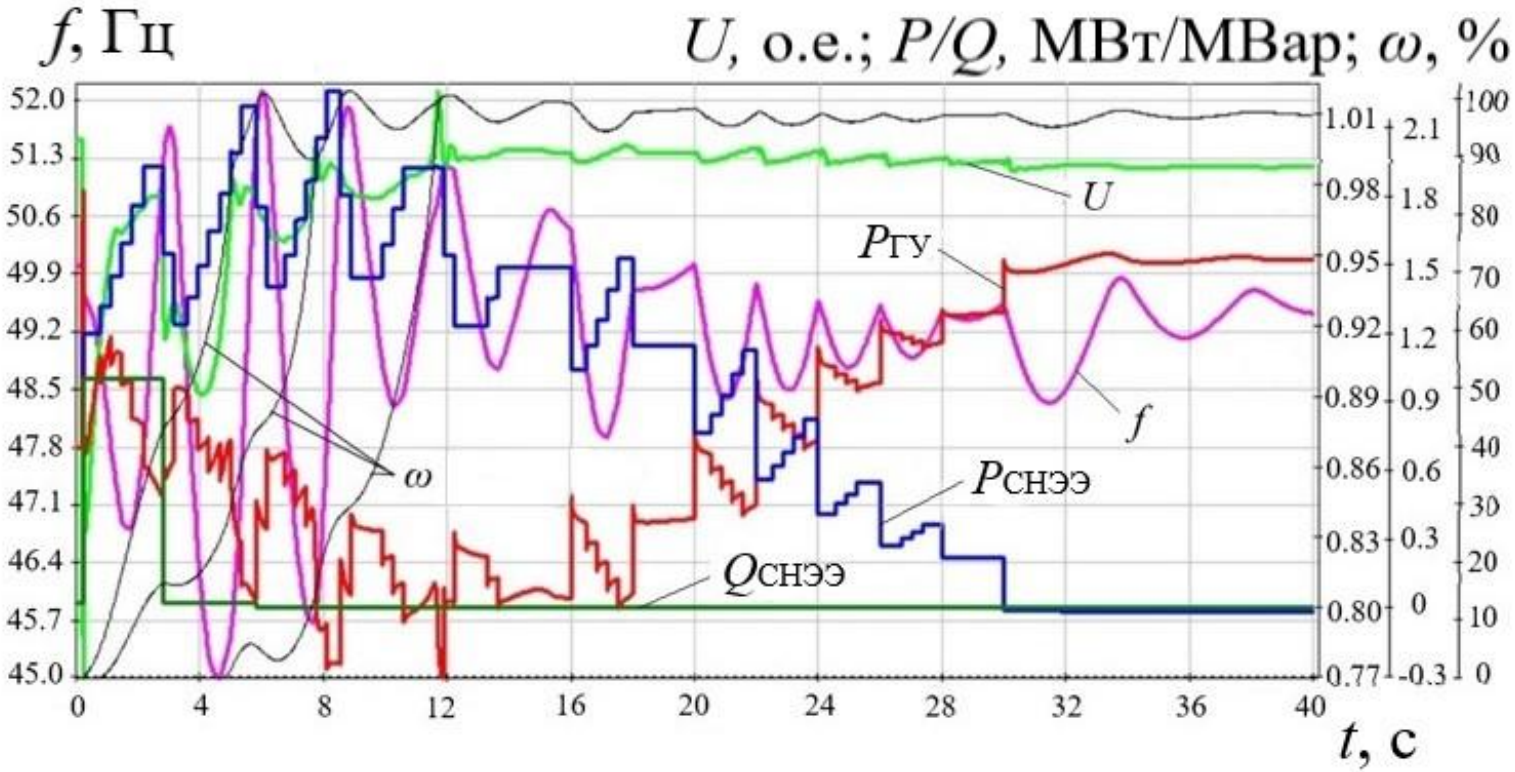


Рис. 4. Расчетное возмущение – пуск 3-х эквивалентных АД (исходная загрузка ГУ перед набросом мощности – 30% от $P_{ном}$)

!

Суммарная номинальная мощность пускаемых АД составляет 37,5% от номинальной мощности ГУ, что значительно превышает возможности групповых пусков в островном режиме работы объекта РЭ без использования дополнительных ГУ

Предотвращение отключений ГУ в изолированном энергорайоне при 3-х фазном КЗ

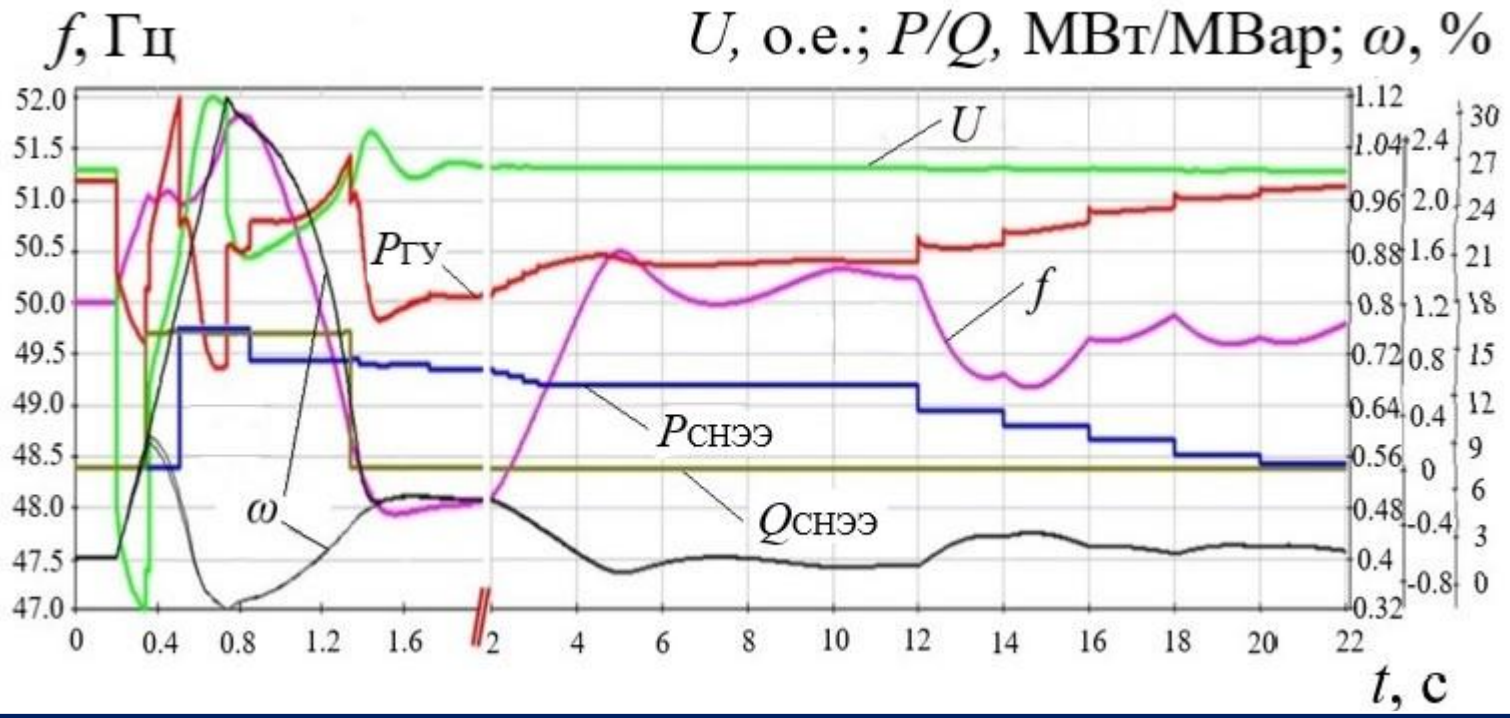


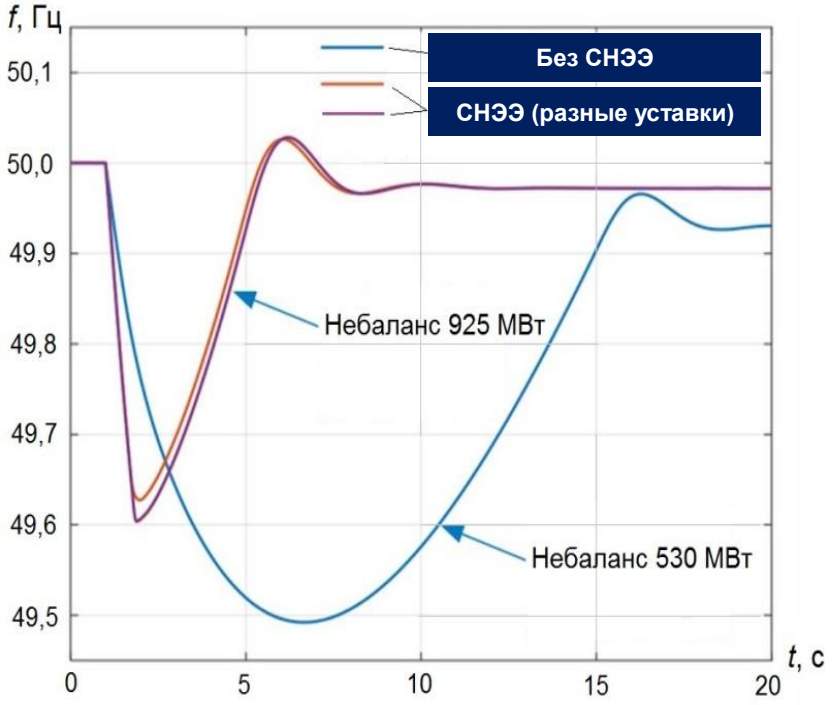
Рис. 1. ПС с нагрузкой равной 27% от *P*ном ГУ, в результате КЗ теряет питание, а его восстановление реализуется посредством устройства АВР через 0,38 с

!

- **При разных длительностях КЗ и существенно разных параметрах электроприемников оптимальные параметры УВ на НЭЭ различны**
- **Определение объемов УВ должен предшествовать анализ вероятностей КЗ и выбор обычных средств повышения динамической устойчивости нагрузки: сокращение длительности КЗ; применение автоматики восстановления нормальной работы электродвигателей и др.**

Участие СНЭЭ в нормированном первичном (интенсивном) регулировании частоты

Требования к маневренности ГУ: уменьшение продолжительности пусковых операций; расширение регулировочного диапазона; повышение допустимой скорости изменения нагрузок в его пределах

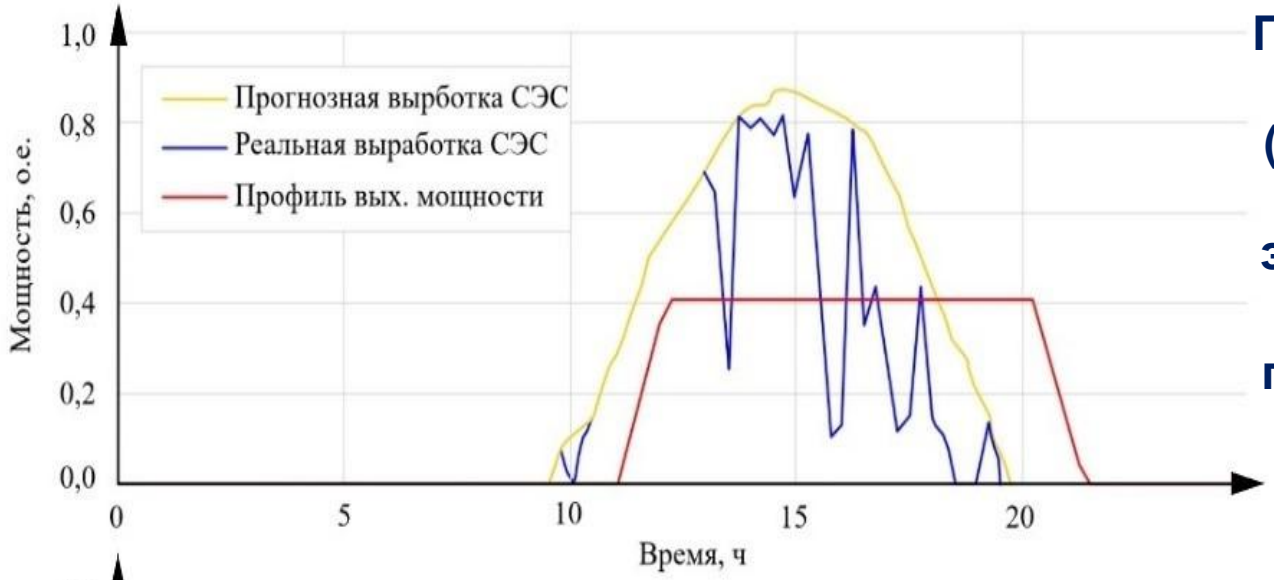


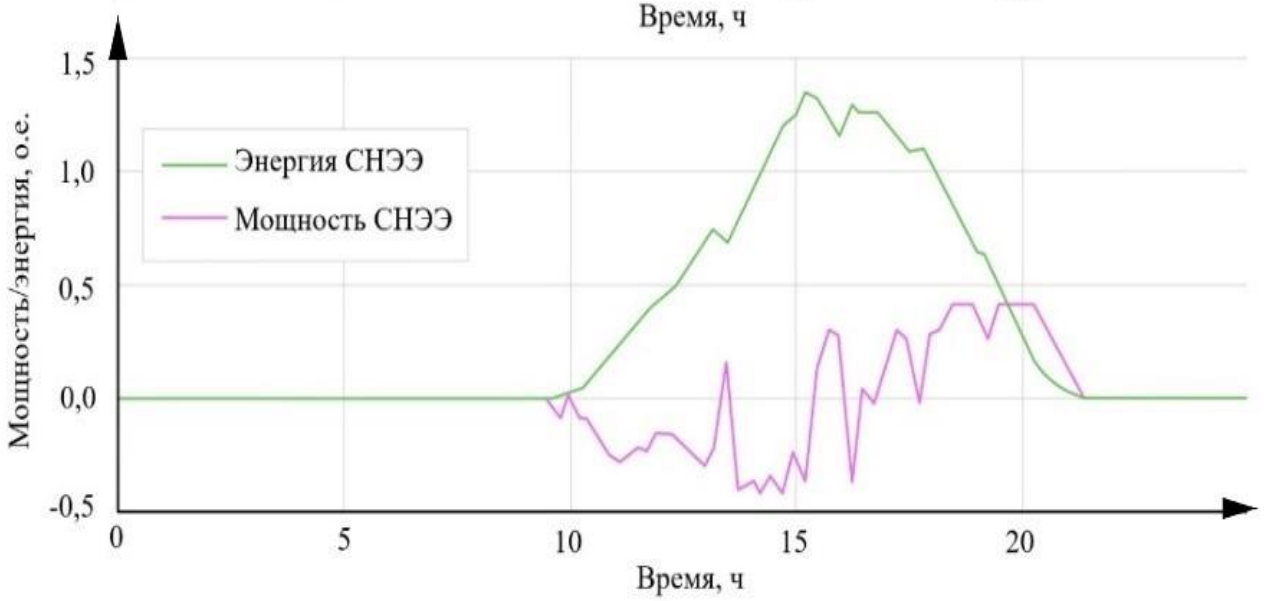
Ужесточение ТТ к маневренности ГУ не должно приводить к снижению их надежности и сроку службы, повышенному износу элементов (углубленный анализа условий работы в пуско-остановочных режимах и под нагрузкой с оценкой напряжений в критических элементах при теплосменах)

Эффекты от применения СНЭЭ в составе ВЭС и СЭС

- Позволяет уменьшить амплитуду колебаний выдачи мощности в зависимости от поступления первичного энергоресурса (инсоляции, ветрового напора) – СНЭЭ работает режиме постоянного заряда-разряда в диапазоне не более 30% от ее энергоемкости
- Позволяет иметь гарантированную мощность, перераспределяя избыточную выработку электроэнергии на часы максимальных нагрузок в энергосистеме – СНЭЭ замещает выработку ВЭС и СЭС в течение нескольких часов, в соответствие с заданным диспетчерским графиком, полученным на основе прогноза выдачи мощности ВЭС и СЭС, разряжаясь до 10 – 15 % от энергоемкости
- Появляется возможность для участия ВЭС и СЭС в ОПРЧ не только на разгрузку (при повышении частоты, как в настоящее время), но и на загрузку при снижении частоты в результате возникновения дефицита активной мощности в энергосистеме, что увеличивает резервы первичного регулирования в энергосистеме
- Позволяет отказаться от ограничения выдачи мощности ВЭС и СЭС при перегрузке электросетевого оборудования в магистральных или распределительных сетях (заряд СНЭЭ)

Пример применения СНЭЭ в составе СЭС (Франция)



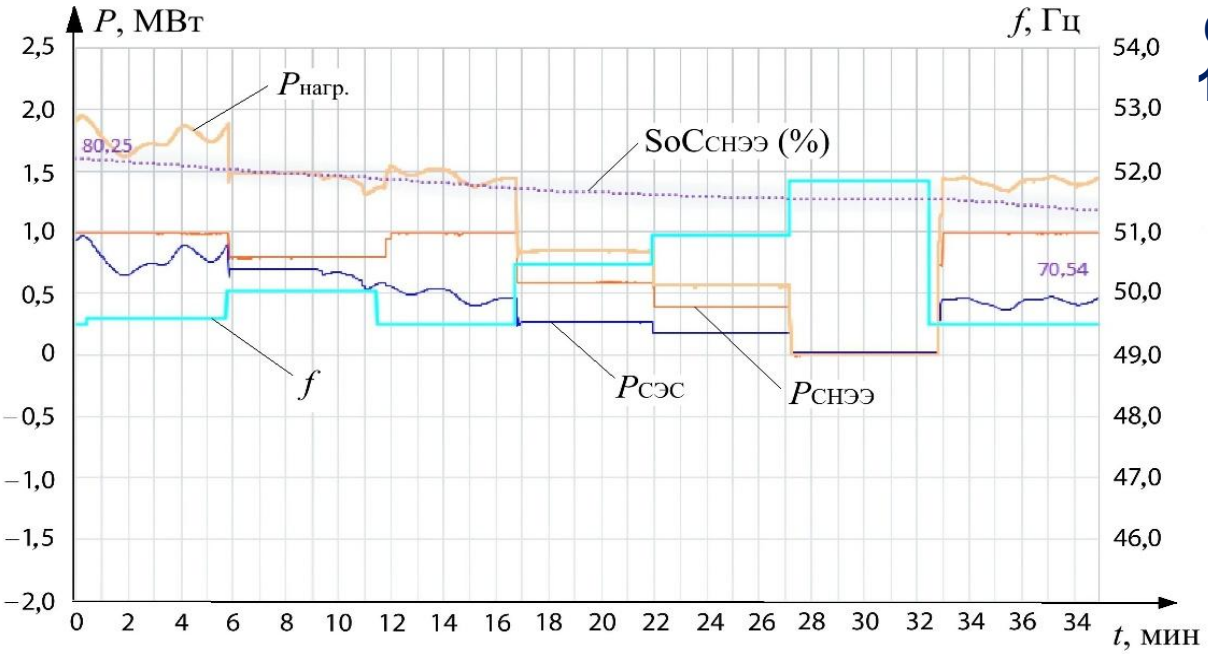


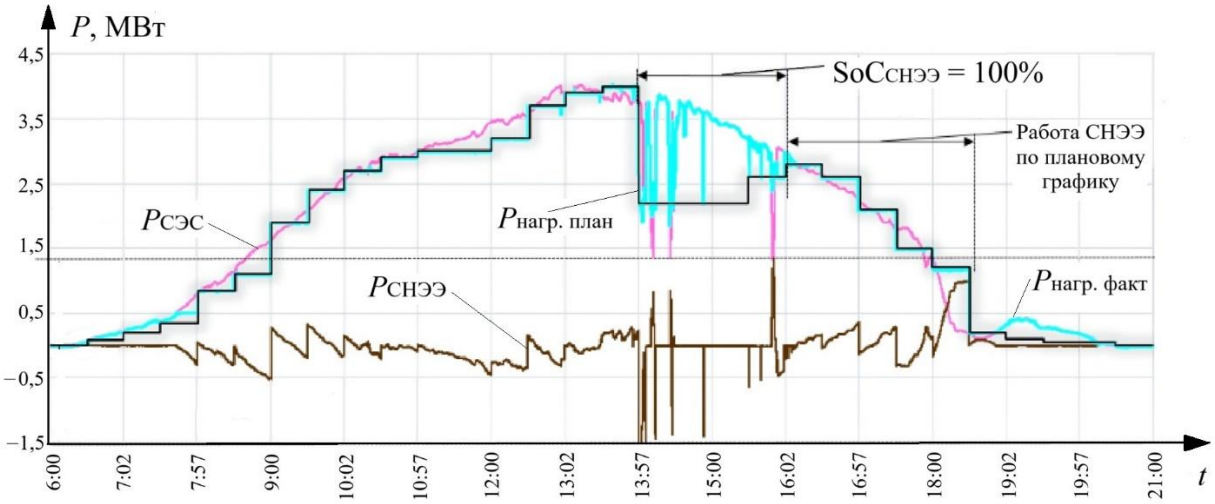
Пример применения СНЭЭ на острове Ла-Реюньон (Франция) установленной мощностью 9 МВт и энергоемкостью 9,5 МВт·ч

СНЭЭ сглаживает профиль выработки СЭС, в соответствии с требованиями по обеспечению:

- **точного и плавного утреннего увеличения мощности СЭС;**
- **поддержания стабильного профиля в течение дневных часов работы;**
- **равномерного снижения мощности в вечернее время**

Пример применение СНЭЭ на Бурзянской СЭС (Россия)



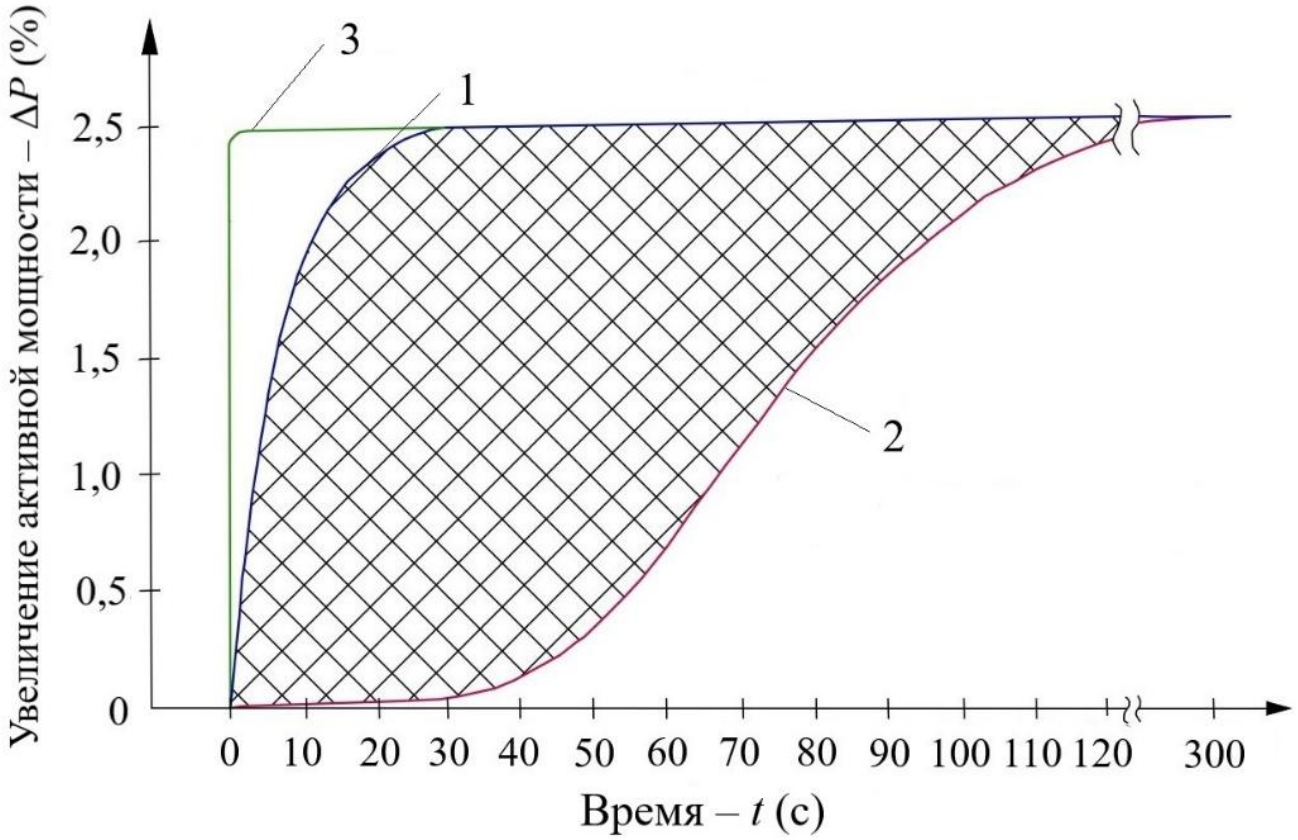


СЭС присоединена к шинам 10 кВ тупиковой подстанции Бурзян 110/10 кВ и должна обеспечивать автономное электроснабжение потребителей при отключении питающей ЛЭП 110 кВ до 6 часов

Натурные испытания подтвердили:

- **участие СЭС в ОПРЧ при снижении частоты в ЭЭС;**
- **поддержание планового графика загрузки СЭС с СНЭЭ в режиме автономного электроснабжения;**
- **нивелирует колебания активной мощности при резких изменениях солнечной инсоляции**

Повышение маневренности ПТУ на тепловых электростанциях за счет СНЭЭ

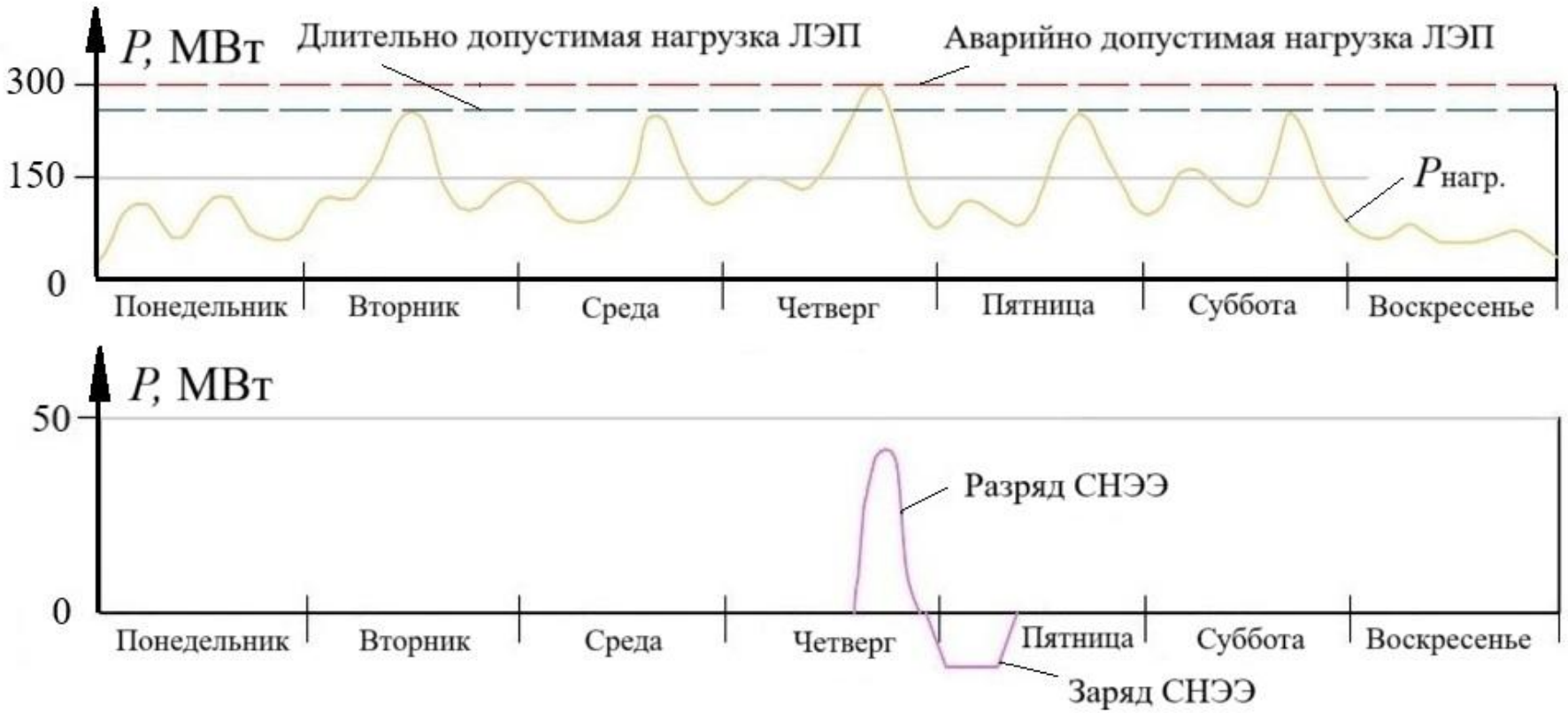


Пример компенсации дефицита активной мощности за счет применения СНЭЭ на ТЭС с ПТУ в комбинации с прерыванием отбора пара из ПТУ для подогрева питательной воды в теплообменниках

!

- **Операция по прерыванию отбора пара из ПТУ занимает не менее 20-40 с и не может самостоятельно обеспечить покрытие возникшего мгновенного небаланса активной мощности в энергосистеме**
- **Заштрихованная область показывает вклад СНЭЭ в покрытие дефицита активной мощности, а кривая 2 показывает увеличивающийся со временем вклад в увеличение мощности от прерывания отбора пара**

Ликвидация перегрузок магистральных ЛЭП за счет применения СНЭЭ



- **Подключение СНЭЭ к шинам подстанции с дефицитом мощности позволяет отсрочить значительные инвестиции в увеличение пропускной способности перегружаемых магистральных ЛЭП**
- **Это решение актуально, когда пиковые нагрузки магистральных ЛЭП возникают не часто в течение года, а также при подключении к магистральным ЛЭП ВЭС и СЭС большой единичной мощности**

Эффекты от применения СНЭЭ в распределительных сетях

Применение СНЭЭ может обеспечивать поддержание ПКЭЭ в пределах нормативных значений, повысить надежность электроснабжения потребителей, содействовать отсрочке инвестиций в увеличение пропускной способности ЛЭП, а также увеличению доли ВЭС и СЭС в составе энергосистем

- **Размещение СНЭЭ на ЦП позволяет удовлетворять спрос на электроэнергию в периоды максимальных нагрузок за счет разгрузки питающих ЛЭП и силовых трансформаторов на «закрытых» ЦП**
- **В периоды времени, когда силовые трансформаторы недогружены должна осуществляться заряд СНЭЭ, с увеличением коэффициента загрузки СТ до единицы, а часы утренних и вечерних максимумов нагрузки разряжаться (СНЭЭ мощностью 0,5-10 МВт, энергоемкостью рассчитанной на 1-4 часа непрерывного разряда, с количеством циклов в год не менее 50-100)**
- **Установка СНЭЭ позволяет отказаться от установки устройств компенсации реактивной мощности и может рассматриваться в качестве дополнительной услуги СНЭЭ по регулированию напряжения (СНЭЭ мощностью 0,1-10 МВА и энергоемкостью, рассчитанной на разряд продолжительностью от нескольких секунд до 10 мин., с количеством циклов в год не менее 10-200)**

Распределительные сети находятся в худшем техническом состоянии и требуется проведение их массовой реконструкции, при этом внедрение СНЭЭ позволяет отсрочить потребность в инвестициях в условиях сдерживания тарифов на передачу электроэнергии в России

Международный опыт и эффекты от применения СНЭЭ в микросетях

- Развитие микросетей, имеющих в своем составе СНЭЭ, позволяют отсрочить инвестиции в реконструкцию распределительных сетях и строительство пиковых генерирующих мощностей в ЕЭС России
- В Австралии реализованы проекты по установке бытовых СНЭЭ суммарной установленной мощностью бытовых СНЭЭ более 2 ГВт), а в Германии суммарная установленная мощность/энергоемкость бытовых СНЭЭ составила 1,2 ГВт/1,9 ГВт·ч
- Для оказания системных услуг (регулирование частоты и напряжения) со стороны СНЭЭ «за счетчиком» требуется их объединение в виртуальную электростанцию с единую САУ (парк бытовых СНЭЭ управляется на выдачу/потребление активной и реактивной мощности по командам диспетчера ЭЭС)
- В Германии имеется самая крупная в Европе виртуальная электростанция (компания Sonnen) с СНЭЭ, принадлежащим частным домохозяйствам, включая АБ электромобилей) суммарной энергоемкостью СНЭЭ 250 МВт·ч
- Агрегатор СНЭЭ объединяет и представляет большой парк бытовых СНЭЭ на рынке электроэнергии и мощности, являясь его участником (в САУ должны быть реализованы функции мониторинга и управления отдельными СНЭЭ)
- Агрегирование большого количества бытовых СНЭЭ требует модернизации систем учета электроэнергии, установки телеметрических датчиков, решения вопросов информационной безопасности, а также внесения изменений в нормативно-правовые акты для оказания услуг Агрегаторами бытовых СНЭЭ

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- СНЭЭ находят применение в электроэнергетике России у потребителей электроэнергии для снижения затрат на электроэнергию и мощность, а также расширения области допустимых режимов ГУ объектов РЭ
- Международный опыт показывает, что эффективно применение СНЭЭ в составе ВЭС и СЭС, магистральных и распределительных сетях, а также в микросетях для повышения гибкости ЭЭС
- Внедрение СНЭЭ в энергосистемах с высокой долей ВЭС и СЭС позволит обеспечить управляемость режимами без необходимости ввода новых пиковых газотурбинных установок на традиционных электростанциях
- СНЭЭ могут оказывать системные услуги по регулированию частоты и напряжения в ЭЭС, содействовать отсрочке инвестиций в реконструкцию традиционных электростанций и электросетевых объектов
- В ЭЭС эффективно применение как крупных СНЭЭ, имеющих большую мощность и энергоемкость, так и бытовых СНЭЭ. Агрегация большого количества бытовых СНЭЭ в виртуальные электростанции позволяет обеспечить управляемость парком СНЭЭ на выдачу/потребление активной и реактивной мощности по командам диспетчера ЭЭС
- Для массового внедрения СНЭЭ как электросетевыми компаниями, так и бытовыми потребителями требуется внесение изменений в нормативно-правовые документы для защиты интересов собственников СНЭЭ. Необходимы прозрачные механизмы привлечения СНЭЭ к управлению режимами энергосистем и оплате оказанных ими услуг

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !

Илюшин Павел Владимирович
ilyushin.pv@mail.ru