



Москва, 29 сентября - 1 октября



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ 2021

Обеспечение устойчивой работы газопоршневых установок в изолированной энергосистеме с резкопеременной нагрузкой при помощи системы накопления электрической энергии

Г.Б. Нестеренко, В.М. Зырянов, Г.А.
Пранкевич, Р.А. Фролов

ФГБОУ ВО «НГТУ (НЭТИ), ООО «РЭНЕРА»

Российская Федерация

Фролов Роман Александрович



СОДЕРЖАНИЕ

1. Проблема резкопеременной нагрузки
2. Традиционные решения
3. Предлагаемое решение – СНЭЭ*
4. Анализ применения СНЭЭ
5. Расчёт для проектируемой энергосистемы
6. СНЭЭ для проектируемой энергосистемы
7. Натурные испытания СНЭЭ
8. Заключение

* СНЭЭ – система накопления электрической энергии (ГОСТ Р 58092.1-2018)



ПРОБЛЕМА

Резкопеременная нагрузка в изолированных энергосистемах нефтегазовых месторождений



- Колебания частоты и напряжения
- Повышенный расход топлива и моторесурса генераторных установок
- Отключения генераторных установок, чувствительных к изменениям нагрузки (например, газопоршневых установок)

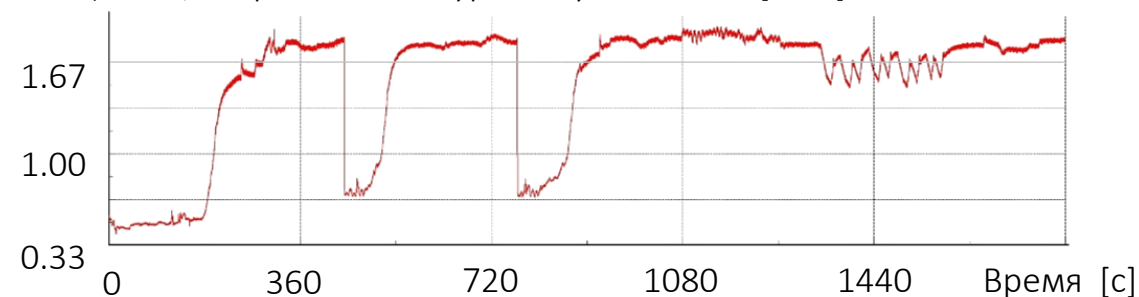
Пример:

Сузунское нефтяное месторождение,
Красноярский край, Россия

Генерация: 3 × ДГУ 1000 кВт

Резкопеременная нагрузка: буровая установка

Мощность, потребляемая буровой установкой [МВт]





ТРАДИЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

1. Использование **дизель-генераторных установок**, устойчивых к резким изменениям нагрузки:

- **Высокая стоимость топлива**
- **Выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду**



2. Использование избыточного количества (или мощности) **газопоршневых установок (ГПУ)** для снижения удельного значения наброса/сброса нагрузки:

- **Высокие капитальные и эксплуатационные затраты**
- **Неоптимальный режим работы (низкая загрузка, повышенный расход топлива и моторесурса)**



Изменение уставок АРС, АРВ и технологических защит ГПУ также не решает проблему в полной мере



ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

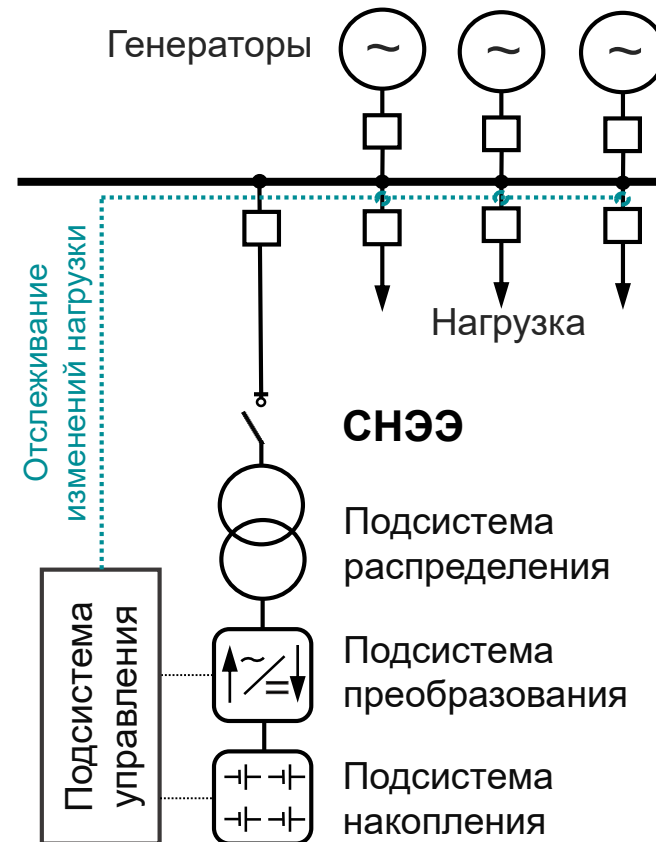
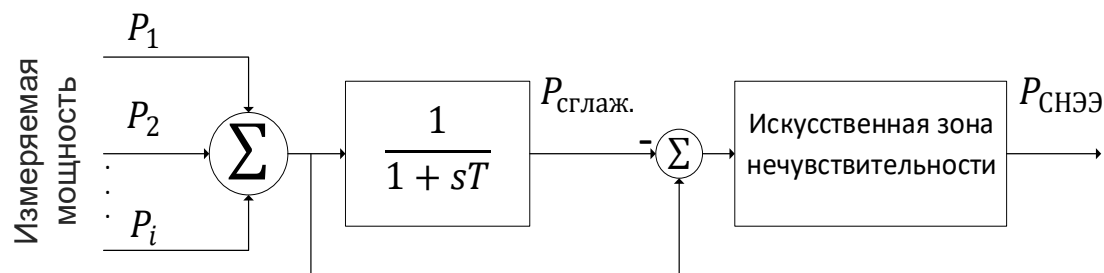
Применение **системы накопления электрической энергии (СНЭЭ)**, сглаживающей резкие изменения нагрузки.

Подсистема преобразования: двунаправленные преобразователи на основе IGBT-транзисторов с ШИМ-управлением

Подсистема накопления: литий-ионные (литий-железо фосфатные) аккумуляторы

Подсистема управления: алгоритм сглаживания по аperiодическому закону.

Определение значения выдаваемой/потребляемой мощности СНЭЭ:





АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СНЭЭ

Проектируемый энергообъект: энергосистема
нефтяного месторождения на базе газопоршневых
генераторных установок.

Традиционное
решение:

6+1 ГПУ (установка
дополнительных ГПУ)

Количество ГПУ: X – ?

Параметры СНЭЭ – ?



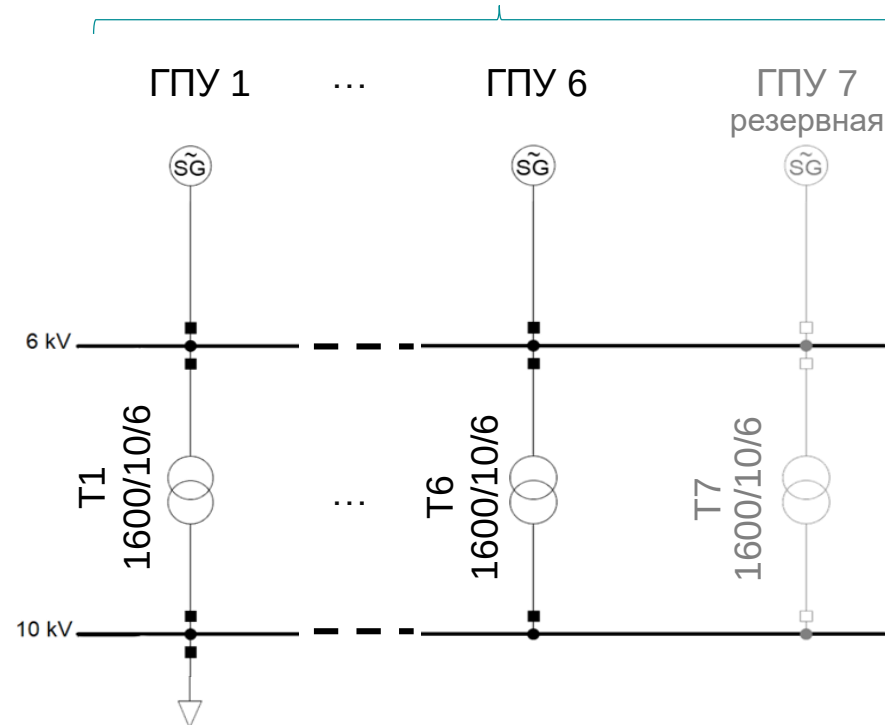
Моделирование совместной работы СНЭЭ и ГПУ

Инструмент: DigSILENT **PowerFactory**

Оптимальное решение:

X+1 ГПУ + СНЭЭ

Генерация: 6+1 × ГПУ 1540 кВт (1925 кВА)



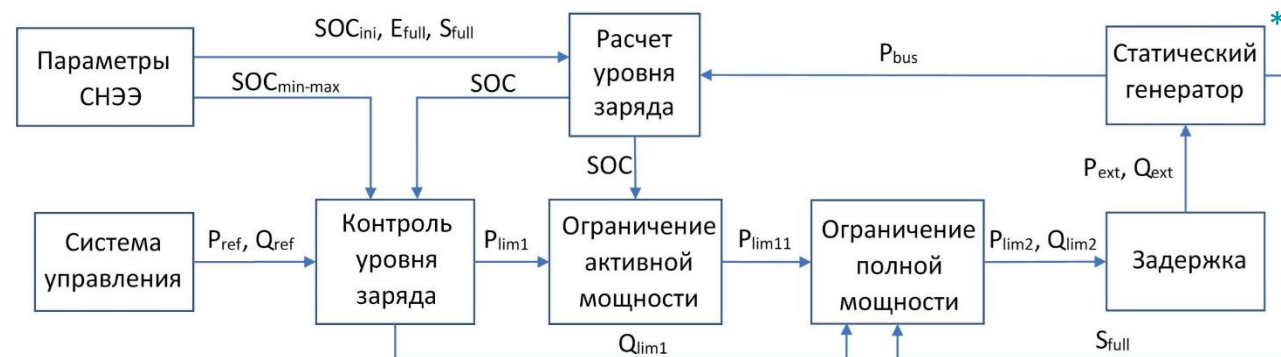
Нагрузка: 2 буровые установки



РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ СНЭЭ

В расчётах используется **математическая модель СНЭЭ**, разработанная в ООО «Системы накопления энергии» (решение о выдаче патента от 02.11.2020 г., заявка № 2020113079/28(022136)):

- ✓ Расчёт электромеханических и электромагнитных переходных процессов
- ✓ Задание пользовательского алгоритма управления
- ✓ Учёт зависимости располагаемой мощности от уровня заряда
- ✓ Учёт саморазряда



* При расчёте электромагнитных переходных процессов статический генератор заменяется на силовой преобразователь, добавляется блок синхронизации PLL

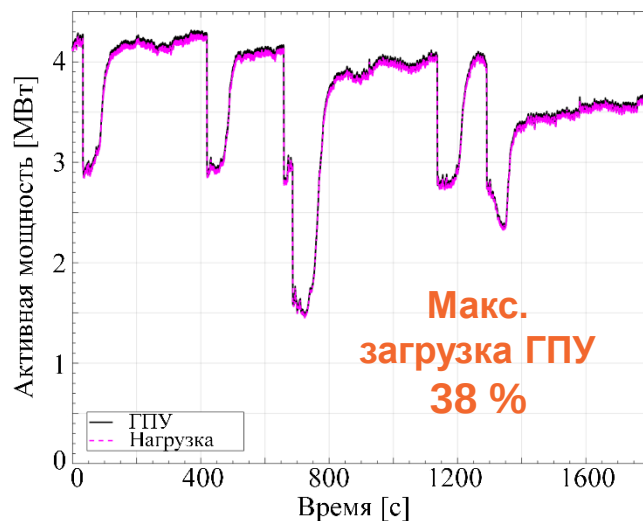


Подтверждение точности модели: сравнение расчётов на модели с результатами натурных испытаний совместной работы СНЭЭ 100 кВА 150 кВт·ч и дизель-генераторной установки 100 кВт в автономной энергосистеме

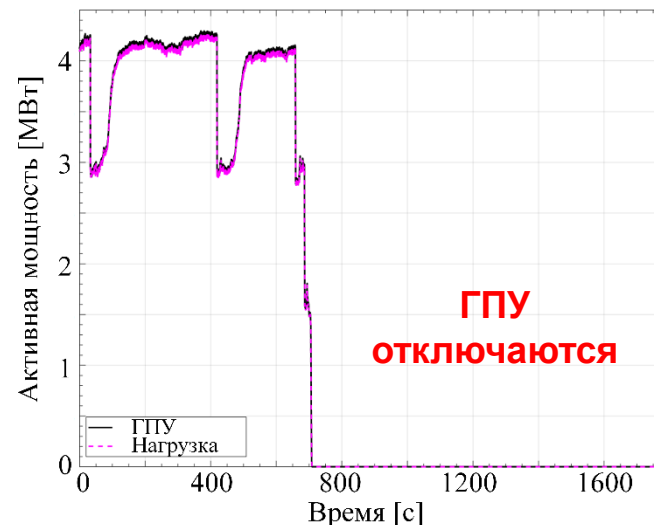


РАСЧЕТ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

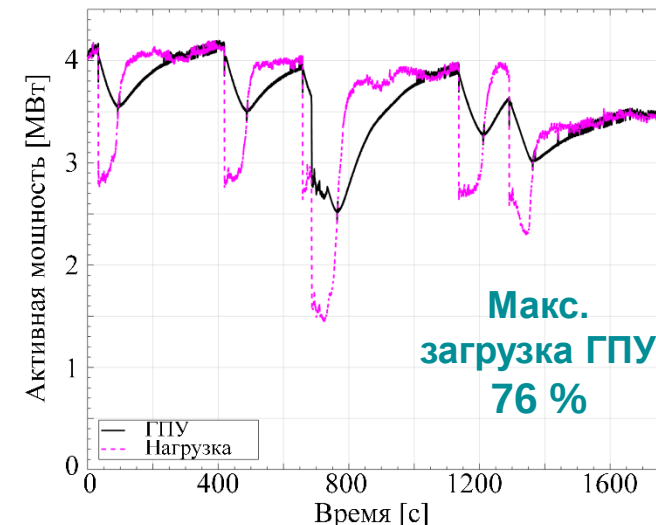
✓ 6 ГПУ



✗ 5 ГПУ



✓



СНЭЭ обеспечивает устойчивую работу энергосистемы. При этом:

- Необходимое количество ГПУ уменьшается с 6 до 3 шт.;
- Повышается коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ГПУ;
- Режим работы ГПУ приближается к оптимальному, снижается расход топлива и моторесурса.



СНЭЭ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

По итогам моделирования выбраны параметры СНЭЭ: $S_{\text{ном}} = 1200 \text{ кВА}$, $E_{\text{ном}} = 400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
СНЭЭ разработана и произведена в г. Новосибирске

СНЭЭ в блочно-модульном здании (БМЗ) арктического исполнения:



Стеллажи подсистемы накопления 400 кВт·ч (до установки в БМЗ):



Проект компоновки СНЭЭ в БМЗ:

Подсистема накопления Подсистема преобразования Подсистема распределения

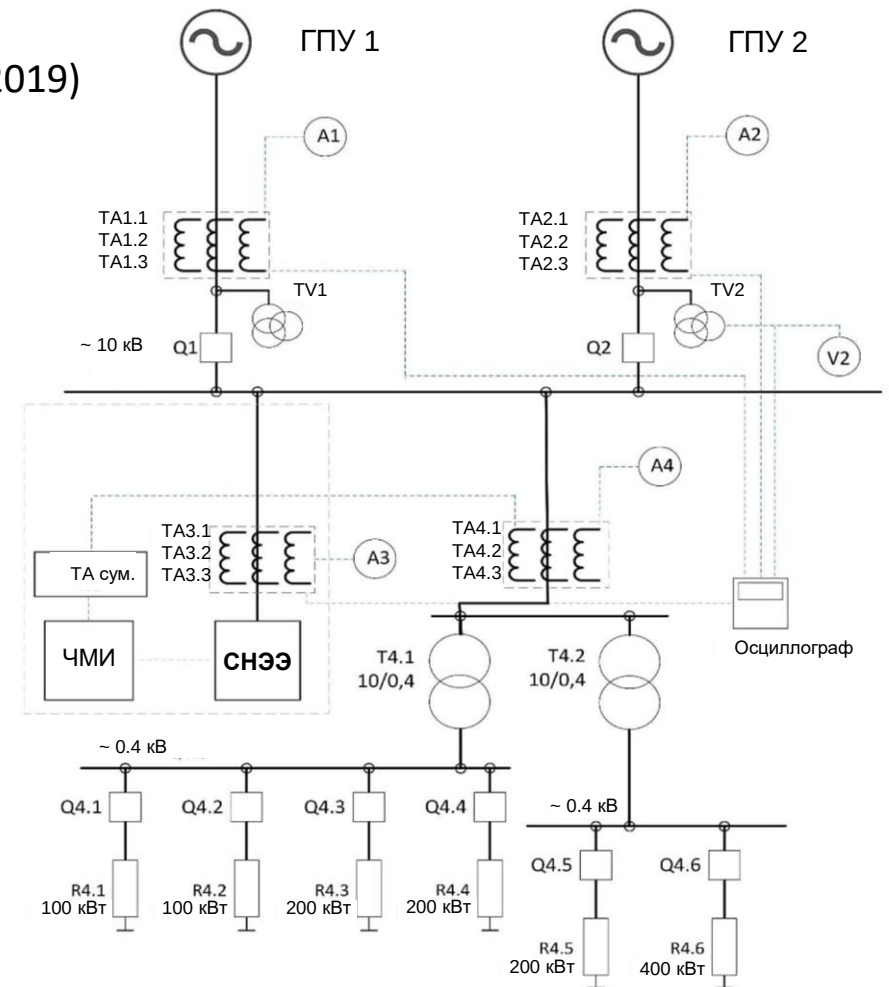


Шкафы подсистемы преобразования 1200 кВА (до установки в БМЗ):





- 2 × ГПУ 1125 кВт
- СНЭЭ 1200 кВА 400 кВт·ч
- Нагрузочные модули суммарной мощностью 1200 кВт

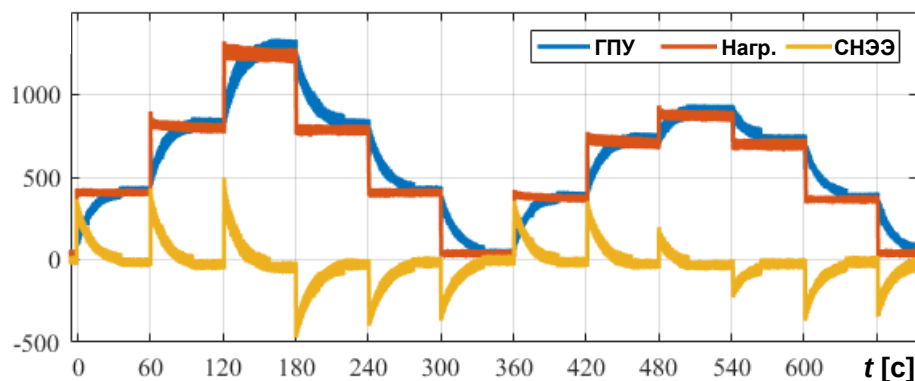




ИСПЫТАНИЯ РАБОТЫ СНЭЭ С ГПУ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СНЭЭ

- Алгоритм 1. «Режим компенсации dP/dt »
- Ограничения скорости изменения мощности генераторов при резких изменениях нагрузки

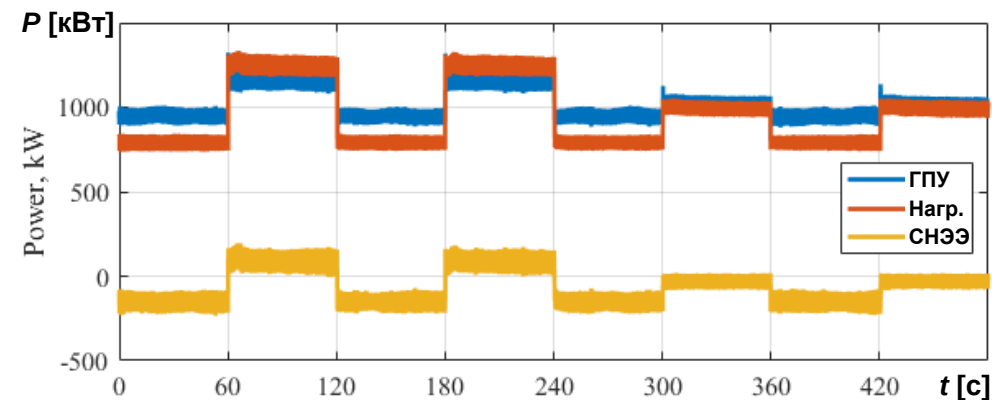
Основной алгоритм. Обеспечивает надёжную работу ГПУ при сбросах и набросах нагрузки



Алгоритм 2. «Режим ограничения мощности»

Ограничение максимальной и минимальной мощности нагрузки, приходящейся на генераторы

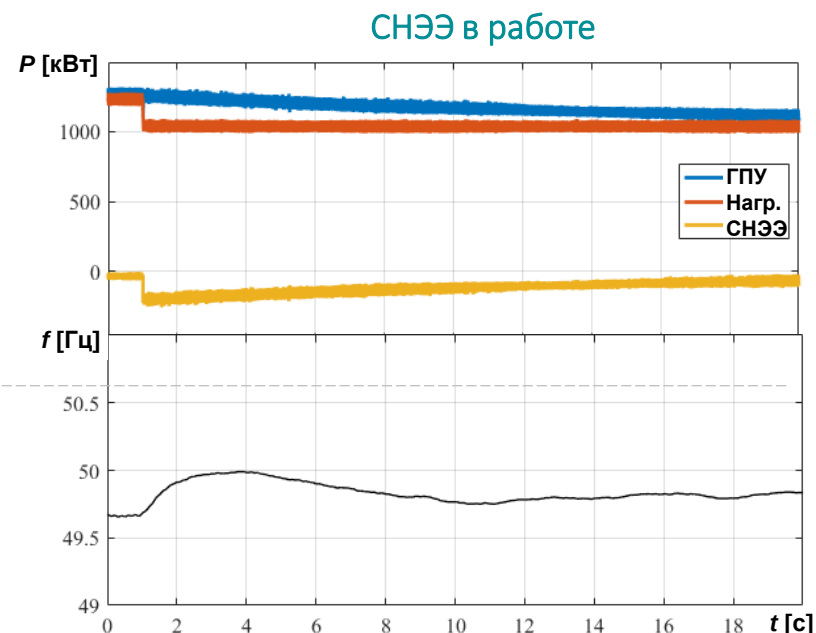
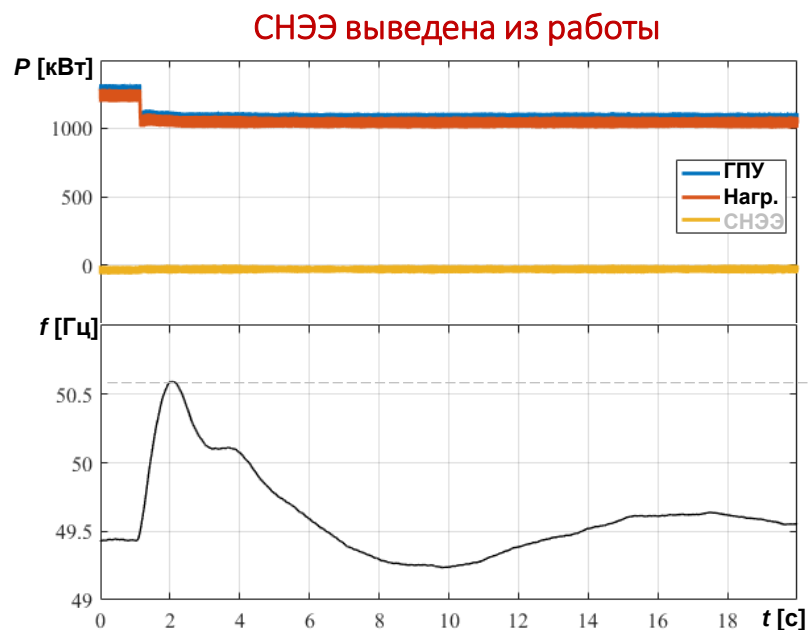
Вспомогательный алгоритм. Позволяет дополнительно снизить требования к установленной мощности ГПУ





ИСПЫТАНИЯ РАБОТЫ СНЭЭ С ГПУ СРАВНЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ЧАСТОТЫ

При единичном мгновенном сбросе нагрузки величиной 200 кВт:



Эффективность алгоритма управления подтверждается значительно **меньшими отклонениями режимных параметров**
Время реакции СНЭЭ на изменение мощности нагрузки при проведении опытов составило не более **10 мс**.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **Применение СНЭЭ в изолированных энергосистемах позволяет:**
- Обеспечить устойчивую работу генераторов на резкопеременную нагрузку;
- Повысить эффективность генераторных установок (увеличить КИУМ, снизить расход топлива и моторесурса)
- Проект внедрения СНЭЭ окупается на стадии капитальных затрат
- благодаря исключению затрат на установку 3 дополнительных ГПУ

	Капитальные вложения	Ежегодное обслуживание	Ремонты
СНЭЭ	45 017 тыс. руб.	70 тыс. руб.	388 тыс. руб. каждые 4 года
3 доп. ГПУ	105 485 тыс. руб.	4 795 тыс. руб.	3 836 тыс. руб. через каждые 16 000 моточасов, 28 769 тыс. руб. через каждые 40 000 моточасов

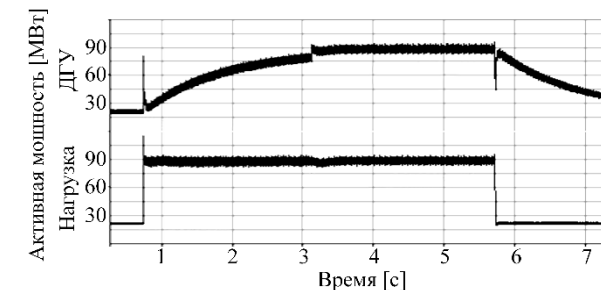
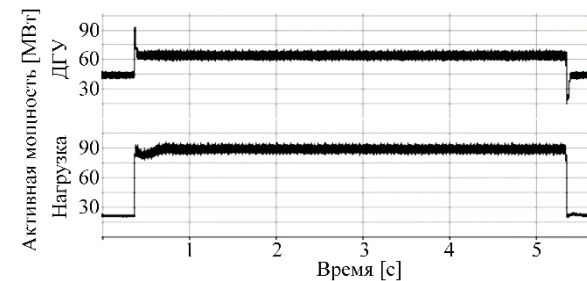
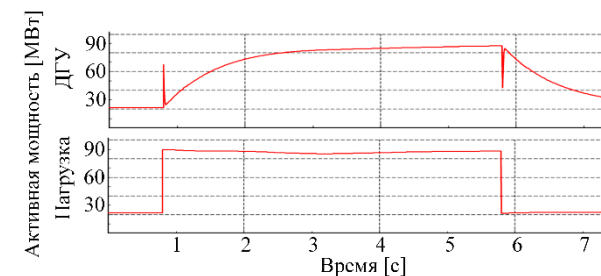
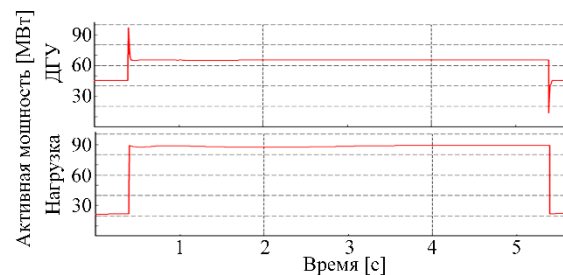
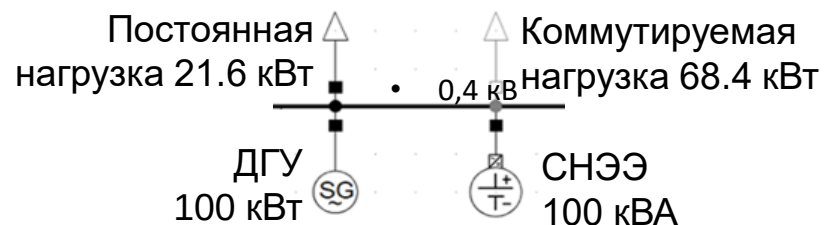
✓ СНЭЭ позволяет сделать конфигурацию энергосистемы на базе ГПУ типовым решением для нефтегазовых месторождений





ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ СНЭЭ СРАВНЕНИЕ С ИСПЫТАНИЯМИ СНЭЭ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В 2018 г., когда СНЭЭ большой мощности компании ООО «Системы накопления энергии» ещё находились в разработке, были выполнены испытания СНЭЭ мощностью 100 кВА энергоёмкостью 150 кВтч в энергосистеме с дизель-генераторной установкой (ДГУ). Сравнение с расчётами на модели показало качественное и количественное сходство результатов:

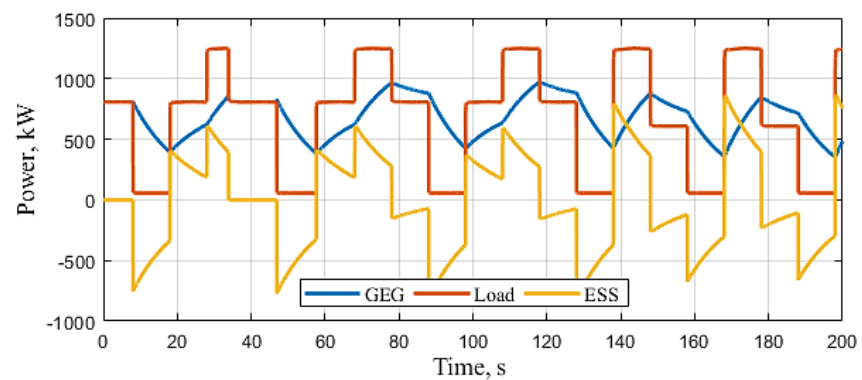




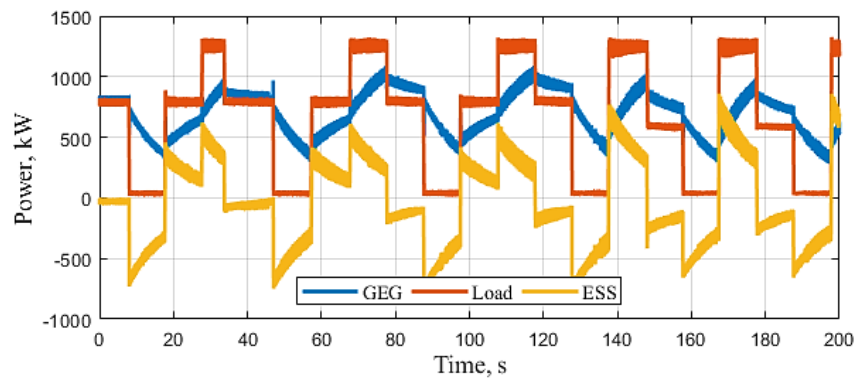
ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ СНЭЭ СРАВНЕНИЕ С ИСПЫТАНИЯМИ СНЭЭ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Ограничение скорости изменения мощности ГПУ при резких изменениях нагрузки. Уставка: 15 кВт/с

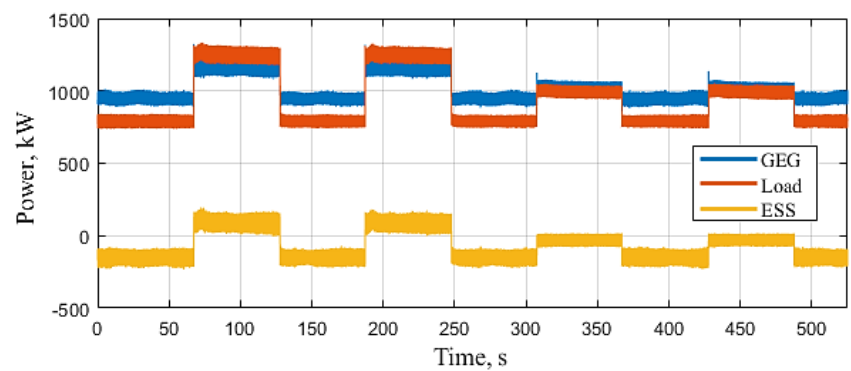
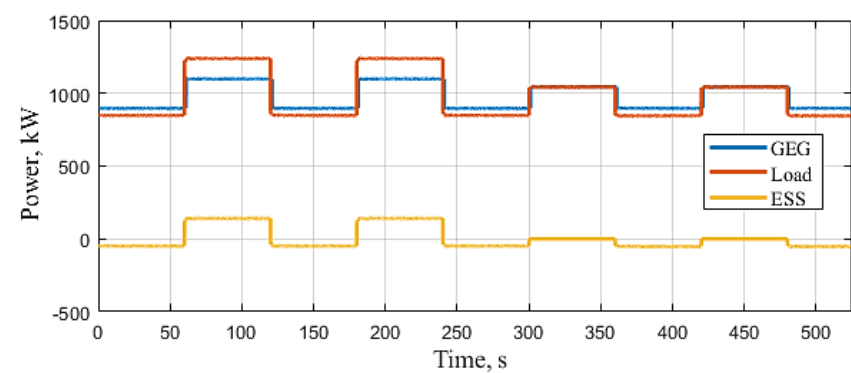
- Расчёт:



- Измерения:



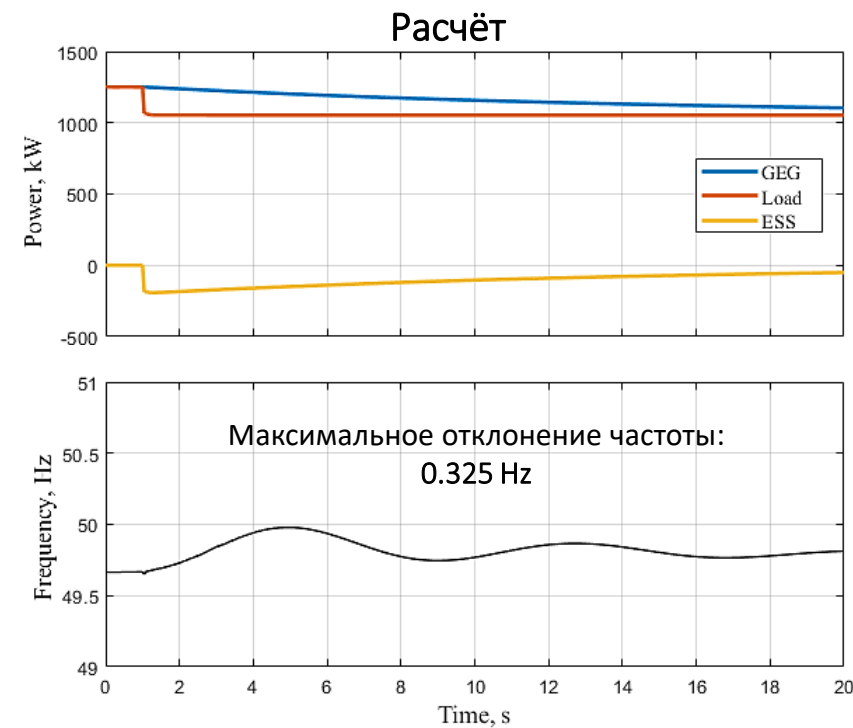
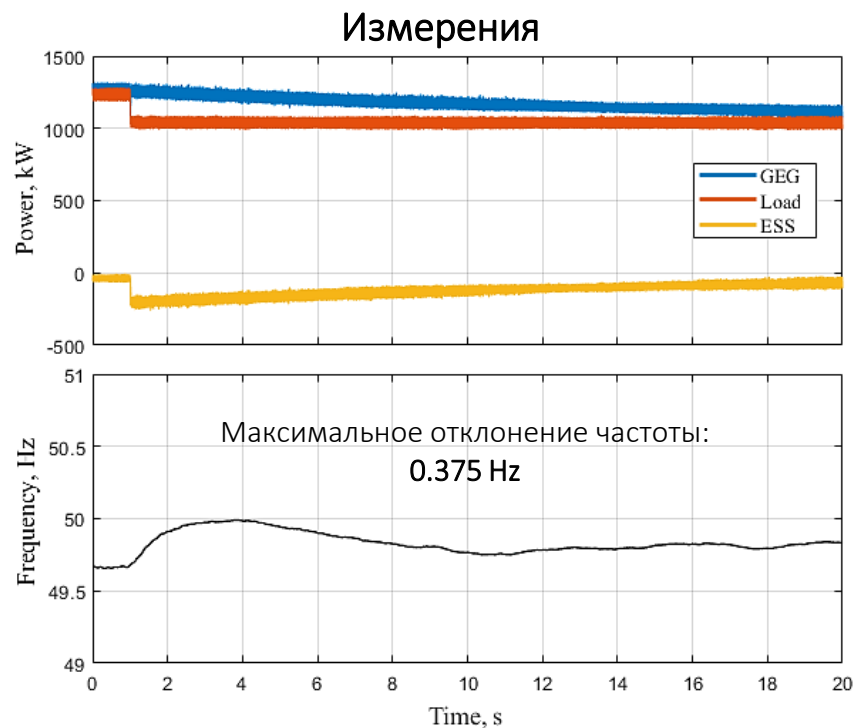
Ограничение максимальной и минимальной мощности нагрузки на ГПУ. Уставка: мин 900 кВт, макс 1100 кВт





ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ СНЭЭ СРАВНЕНИЕ С ИСПЫТАНИЯМИ СНЭЭ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Изменение частоты при единичном сбросе нагрузки, сглаженном при помощи СНЭЭ:



Ошибка*:
0.1 %

* Ошибка рассчитана как отношение разности максимальных экспериментального и расчётного отклонений частоты к значению частоты в установившемся режиме



К 2030 Г МЫ СФОРМИРУЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ КООПЕРАЦИЮ ПОЛНОГО ЦИКЛА «ОТ ЛИТИЕВОГО РУДНИКА ДО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА»



СПЕЦТРАНСПОРТ

Тяговые батареи для новой техники или модернизации техники на свинцово-кислотных аккумуляторах

- Погрузчики и складская техника
- Горно-шахтная техника
- Логистические роботы

ПАССАЖИРСКИЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

Тяговые батареи для электротранспорта

- Электробусы
- Электрогрузовики
- Электромобили
- Водный транспорт
- Трициклы, гольф-кары и средства индивидуальной мобильности

СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Системы накопления энергии для объектов энергетики

- Аварийное питание
- Системы накопления для ВИЭ и гибридных систем
- Системы для покрытия пиков нагрузки (зарядные сети, demand response)

Наши клиенты





РОСАТОМ РАЗВИВАЕТ ПРОИЗВОДСТВО СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

ООО «РЭНЕРА» / ООО «РЭНЕРА-Энертек»

- ООО «РЭНЕРА» - интегратор в контуре управления Госкорпорации «Росатом», специализирующийся на литий-ионных системах накопления энергии разной мощности и сфер применения
- ООО «РЭНЕРА» является совладельцем Enertech International Inc.

Россия Москва

- Продажи и сервис
- Инжиниринговый центр

Россия Новоуральск

- Инжиниринговый центр
- Сборка батарей

Россия Новосибирск

- Производство катодных материалов

Россия Санкт-Петербург

- Инжиниринговый центр
- Производство тяговых батарей и СНЭ
- Сервисный центр

Южная Корея Чхунджу

- Производство аккумуляторов
- Разработка аккумуляторов, тяговых батарей, СНЭ и BMS
- Инжиниринговый центр

- СНЭ – система накопления энергии
- BMS – Battery Management System (система контроля и управления батареей)



НАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА

ИНФРАСТРУКТУРА

ПРОДУКЦИЯ

ПРЕДЛОЖЕНИЕ



- R&D центр
- Производственные мощности

- Практический опыт производства литий-ионных аккумуляторов различной мощности и назначения
- Типовые и модульные решения
- Персонализированные решения

- Контракт жизненного цикла
- Аренда и лизинг
- Утилизация батареи по окончании эксплуатации



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Контакты:

ООО «РЭНЕРА»

ул. Каширское шоссе, д.49, Москва, 115409

+7 (499) 949 4400

RomAlFrolov@rosatom.ru

+7 (985) 868 37 91