



*Российская Академия Наук*

**Объединенный Институт  
Высоких Температур**



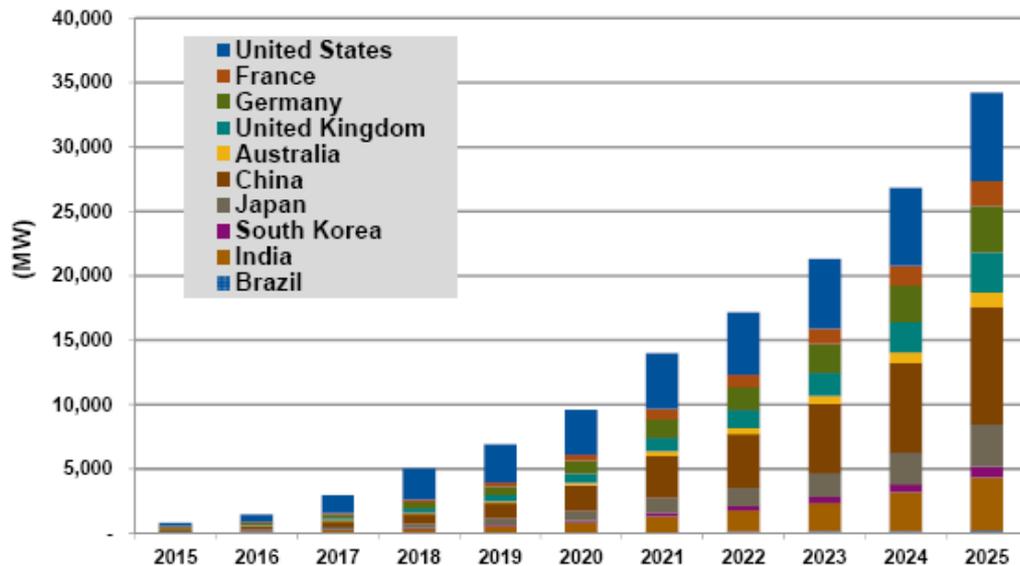
**ГИБРИДНЫЕ НАКОПИТЕЛИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
МЕГАВАТТНОГО ДИАПАЗОНА**

**д.т.н. Деньщиков К.К. д.ф.-м.н. Жук А.З.**



# ПРОГНОЗ ГОДОВОГО ОБЪЕМА ВВОДА МОЩНОСТИ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Chart 1.1 Annual Installed Energy Storage Power Capacity, Top 10 Countries: 2015-2025



(Source: Navigant Research)

**За 10 лет рынок вырастет на два порядка:  
с \$0,5 млрд. до \$50 млрд**



# ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЙ

## Устройства накопления энергии в электросетях

**Высокая мощность**

**Высокая энергия**

Повышение качества энергии  
и устойчивости сети

Управление потоками  
производства и потребления

## Продолжительность разряда

**Секунды**

**Минуты**

**Часы**

Стабилизация напряжения  
и частоты  
Сглаживание пиковых  
колебаний  
Регулирование реактивной  
мощности

Резервные и аварийные  
источники электропитания  
Автономный запуск

Выравнивание графика  
нагрузок  
Обмен энергией  
Интеграция возобновляемых  
источников



# УСТРОЙСТВО ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ



**СУПЕРКОНДЕНСАТОР**  
**максимальная мощность**  
**АККУМУЛЯТОР**

**Максимальная энергоемкость**

**МОТИВАЦИЯ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ – ВОЗМОЖНОСТЬ  
РЕАЛИЗАЦИИ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ И МАКСИМАЛЬНОЙ  
МОШНОСТИ В ОДНОМ УСТРОЙСТВЕ**





# ПИЛОТНЫЙ ПРОЕКТ ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ГНЭ 100

ОБЩИЙ ВИД



ТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,4
Энергоемкость, (кВт×ч)	100
Номинальный выходной фазный ток (А)	152
Диапазон напряжений звена постоянного тока, (кВ)	0,43 - 0,82
Время работы с номинальной нагрузкой (часы)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (квар)	0÷100
КПД в цикле заряд-разряд не менее (%)	0,75
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10



# БАТАРЕЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЛИБ 100

Всего 168 аккумуляторов (60+60+48)  
Электротехническая система  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$

Технические  
характеристики



Вид без дверей

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,4
Энергоемкость, (кВт-час)	100
Время работы с номинальной мощностью, (час)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (квар)	0÷100
КПД в цикле, не менее (%)	85
Ресурс, не менее (циклов заряд-разряд)	1500
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10



# БАТАРЕЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

## БСК 100

20 суперконденсаторов МНЭ-0,93/360Б  
Напряжение 360 В Емкость 0,93 Ф Масса 38 кг



Вид без дверей

### Технические характеристики

Номинальное статическое напряжение заряда, (кВ)	0,72
Напряжение при разряде, (кВ)	0,4
Диапазон напряжений при разряде, (кВ)	0,36-0,72
Номинальная динамическая активная мощность при разряде, (кВт)	100
Время работы в динамическом режиме с номинальной мощностью, в диапазоне, (сек)	5 ÷ 10
Ресурс, не менее. циклов	150 000
КПД в цикле, не менее (%)	85
Вероятность безотказной работы за срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее, лет	10



# УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ С СЕТЬЮ

## УСС 100

УСС-100 БСК

УСС-100 ЛИБ

### Технические характеристики

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение звена постоянного тока (кВ)	0,43 - 0,82
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), (кВ)	0,4
Коэффициент гармоник тока сети не более (%)	7
Время работы с 1,5 перегрузкой по току сети не менее (сек)	10
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10

Вид без дверей



# ВОЗМОЖНЫЕ НИШИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ МЕГАВАТТНОГО ДИАПАЗОНА

## Крупные энергосистемы

- Покрытие пиковых нагрузок
- Повышение качества и надежности энергоснабжения
- Регулирование частоты



## Автономное энергоснабжение

- Резервное электроснабжение
- Интеграция с возобновляемыми источниками энергии

## Потребители электрической энергии

- Использование разницы в дневных и ночных тарифах
- Покрытие пиковых нагрузок





# АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ МЕГАВАТТНОГО ДИАПАЗОНА

- Покрытие пиковых нагрузок/Сглаживание графиков нагрузки.
- Повышение качества электроэнергии и надежности энергосистемы
- Регулирование частоты в энергосистеме, замещение вращающегося резерва
- Резервный источник электроснабжения для особо важных
- Накопление электроэнергии в период ее низкой стоимости/ выдача электроэнергии в период высокой стоимости.
- Интеграция с генерирующим оборудованием ВИЭ (ветровой и солнечной)
- Применение систем ГНЭ конечными потребителями

**Альтернативные решения применения ГНЭ:** Строительство линий электропередач, распределительных подстанций, объектов электрогенерации.

**Потенциальные выгодоприобретатели:**

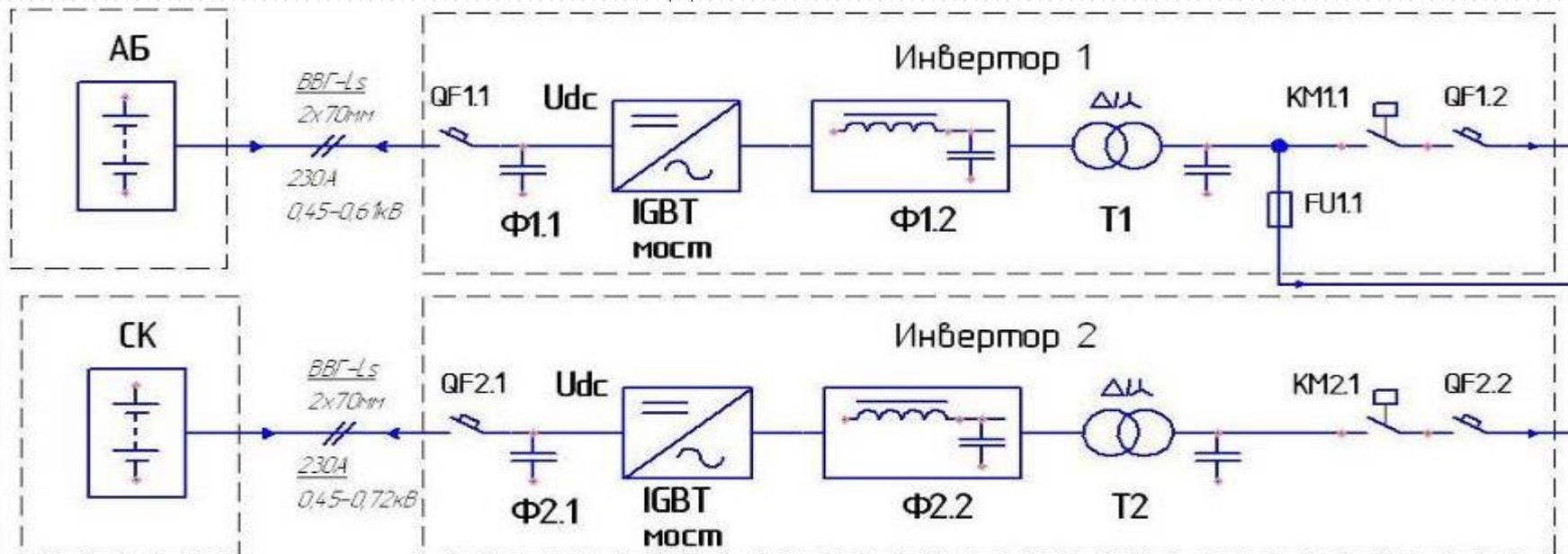
- Генерирующие компании – высвобождение генерирующего оборудования для продажи электроэнергии вместо компенсации реактивной мощности
- Распределительные компании – выгода от снижения потерь электроэнергии, повышение выручки за счет увеличения объема полезного отпуска
- Локальные распределительные сетевые компании
- Конечный потребитель – повышение надежности электроснабжения, уменьшение расходов



# ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ГНЭ 1000

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

### Однолинейная схема





# ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ

## ГНЭ 1000

### Технические характеристики

Параметр	Значение
Номинальная активная мощность, (кВт)	1 000
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,380
Энергоемкость (кВт×ч)	1 000
Время работы с номинальной нагрузкой (час)	1,0
Ресурс, не менее (циклов заряд-разряд)	7 000
КПД в цикле заряд-разряд, не менее (%)	95
Диапазон напряжений звена постоянного тока	430...900
Коэффициент гармоник тока сети не более (%)	7
Диапазон регулирования реактивной мощности УСС, %	+ 100
Скорость обмена по RS-485 (кбит/с)	56
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10
Наработка на отказ, не менее (час)	25000



# БАТАРЕЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЛИБ 1000

Тип электрохимической системы	$\text{Li}_x\text{MnO}_y\text{Co}_z\text{Fe}_q/\text{Li}_a\text{Ti}_b\text{O}_c\text{C}$
Номинальная емкость при 1С (Ач)	1 600
Номинальное напряжение (В)	750
Номинальная энергоемкость (кВт-час), не менее	1 000
Номинальная мощность (кВт), не менее	1 000
Время работы при номинальной мощности (час)	1
Максимальный ток заряда/разряда в импульсе, не более (кА)	6,65
Максимальная длительная мощность (кВт)	5 000
Номинальный ток заряда, не более (кА)	1,33
Ресурс при глубине разряда 20% не менее (циклов)	200 000
Ресурс при глубине разряда 80 % , не менее (циклов)	10 000
КПД в цикле, не менее (%)	95
Саморазряд батареи в составе ГНЭ не более ( % в сутки)	0,1
Саморазряд батареи при хранении: первый/ каждый последующий месяц, (%)	15/1
Срок службы до первого капитального ремонта, не менее (лет)	15



# БАТАРЕЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

## БСК 1000

### Технические характеристики

Номинальное статическое напряжение заряда, (кВ)	0,7
Напряжение при разряде, (кВ)	0,380
Выходное напряжение батареи в цикле, (кВ)	0,72-0,42
Номинальная динамическая активная мощность при разряде, (кВт)	1 000
Время работы в динамическом режиме с номинальной мощностью, в диапазоне, (сек)	5 ÷ 10
Выходной ток батареи в течении 5-10 секунд, (А)	660...380
Ресурс, не менее. циклов заряд-разряд	150 000
КПД в цикле, не менее (%)	95
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее, лет	10
Срок службы до первого кап. ремонта, не менее, (лет)	5
Наработка на отказ, не менее, (час)	25 000





# УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ С СЕТЬЮ

## УСС 1000

### Технические характеристики

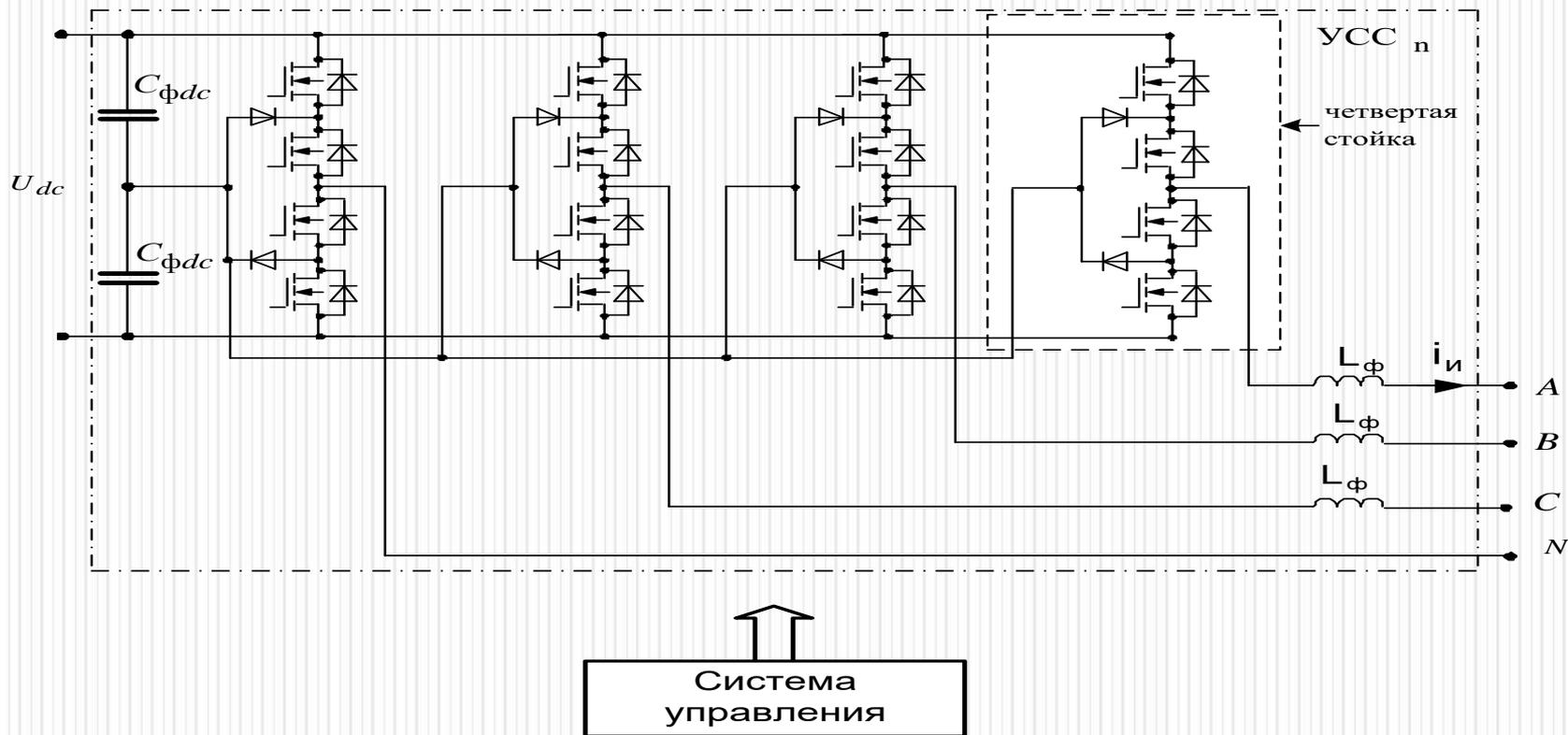
Параметр	Значение
Номинальная активная мощность, (кВт)	1 000
Схема силового модуля	трехуровневая
Напряжение в звене переменного тока, (кВ)	0.38
Напряжение в звене постоянного тока каждого уровня, (В)	900
КПД не менее, (%)	97
Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения, не хуже, (%)	2
Диапазон регулирования реактивной мощности УСС, (%)	$\pm 100$
Время отклика системы управления на ступенчатое воздействие, не более, (мсек)	10
Частота ШИМ, не менее, (кГц)	2.0
Пульсации напряжения в звене постоянного тока, (%)	0.4
Время перехода в автономный режим, не более, (мсек)	50



# УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ С СЕТЬЮ

## УСС 1000

Трехуровневый инвертор с емкостным делителем напряжения





# РАЗМЕЩЕНИЕ ГНЭ 1000



ГНЭ 1000 размещается в трех 20 футовых контейнерах со следующими системами жизнеобеспечения:

- система электроснабжения;
- система освещения;
- система вентиляции и кондиционирования;
- система пожарно-охранной сигнализации;
- автоматическая система пожаротушения

В зависимости от климатических условий размещения контейнеры оснащены :

- системой отопления;
- системой климат-контроля;
- системой герметизации.



# РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ

## **Режим поддержания постоянной потребляемой мощности из сети.**

Сглаживание пиков потребления активной и реактивной мощности нагрузкой с целью поддержания потребления полной мощности из сети на установленном уровне

## **Режим поддержания качества электроэнергии**

Обеспечение качества электроэнергии в заданном диапазоне при контроле частоты и действующее значение напряжения.

## **Режим ожидания**

Поддержание заряда батарей аккумуляторов и суперконденсаторов до установленного уровня

## **Автономный режим работы на нагрузку**

Автономное электроснабжение потребителя электроэнергией заданного качества, запасенной в батареях аккумуляторов и суперконденсаторов

## **Режим настройки ГНЭ**

Ручная настройка параметров параметры качества электроэнергии и ограничений потребляемой мощности, постоянных времени модулей.

## **Режим проверки ГНЭ**

В данном режиме осуществляется настройка и проверка рабочих режимов работы ГНЭ. Возможно ручное включение любого рабочего режима.



# СТОИМОСТЬ ГНЭ

Устройство	Энергия кВт-час	Мощность кВт	Стоимость \$	Удельная стоимость	
				мощности \$/Вт	энергии \$/Вт-час
ЛИБ 100	100	100	200 000	2,0	2,0
БСК – Технокор	0,27	100	20 000	0,2	74
УСС 100		150	95 000	0,64	
<b>ГНЭ 100 (ЛИБ+БСК+2 УСС)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>410 000</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>
ЛИБ 1000	1 000	1 000	600 000	0,6	0,6
БСК 1000	2,7	1 000	300 000	0,3	111
УСС 1000		1 500	150 000	0,1	
<b>ГНЭ 1000 (ЛИБ+БСК+2 УСС)</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>1 200 000</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
<b>НЭ АБ 1000 (ЛИБ 1000+УСС 1000)</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>750 000</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>
<b>НЭ СК 1000 (БСК 1000 +УСК 1000)</b>	<b>2,7</b>	<b>1 000</b>	<b>450 000</b>	<b>0,45</b>	<b>166</b>