



РЭНЕРА
РОСАТОМ

Разработка альтернативных ЛИА и «ПОСТ-ЛИТИЕВЫХ» технологий в компании РЭНЕРА

РУСБАТ 2024

Шаповалов Виктор Васильевич

Руководитель направления
Управление разработки ХИТ
ООО «РЭНЕРА»

01.04.2024

Структура и задачи R&D Центра РЭНЕРА



Цель Центра: обеспечение технологического лидерства Госкорпорации «Росатом» в области систем накопления электрической энергии

Задача

Проведение опытно-технологических работ по развитию заводской технологии и постановки продукции на производство, включая внедрение новых энергоемких материалов.

ХИТ – химический источник тока
СНЭЭ – система накопления электроэнергии
ЛИА – литий-ионный аккумулятор
R&D – научно-технический центр



Задача

Повышение технологической готовности предприятий за счет разработки (проектирования) технологических и технических процессов и обеспечения решения проектных, инженерных, технологических и организационно-внедренческих задач.

Задача

Создание прорывных технологий для решения актуальных проблем путем научно-исследовательской, экспериментальной, проектной деятельности.



В 2023 г. было сформировано Управление разработки ХИТ. В его задачи входит разработка усовершенствованных и альтернативных ЛИА, пост-литиевых технологий, создание и исследование электродных материалов и электролитов для них

Основные цели и задачи

- 01** Разработка состава и способа изготовления электродов и ХИТ (лаборатория разработки ХИТ)
 - 02** Разработка АКБ и накопителей электроэнергии (группа разработки АКБ)
 - 03** Изготовление опытных образцов накопителей электроэнергии и АКБ на основе разработанных ХИТ (опытно-производственный участок АКБ)
 - 04** Проведение испытаний ХИТ, на соответствие ТУ и ГОСТ (испытательная лаборатория ХИТ и АКБ)
 - 05** Разработка технологической документации на производство альтернативных ХИТ, АКБ, НЭ
-

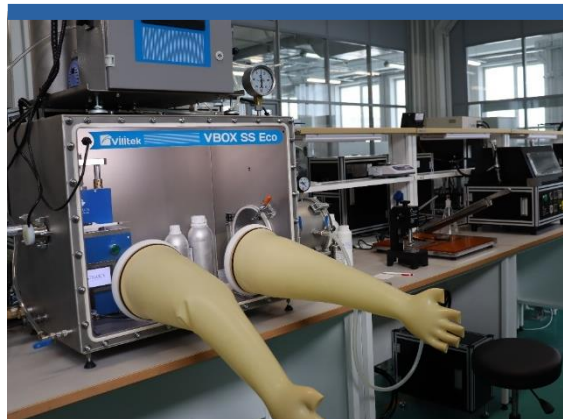


Основа главного корпуса R&D – разработка литиевых и пост-литиевых технологий, опытное производство кастомизированных продуктов



Лаборатория материалов

Разработка и обеспечение трансфера технологий производства материалов для ЛИА, альтернативных ЛИА и пост-литиевых ХИТ



Лаборатория ХИТ

Разработка лабораторных и опытных технологий производства литиевых и пост-литиевых аккумуляторов различных форм-факторов



Отдел разработки АБ

Разработка и испытания модулей и аккумуляторных батарей на основе литиевых и пост-литиевых ячеек для применений в СНЭЭ, электротранспорте и др. отраслях

Лабораторная линия ХИТ

В 2023 в эксплуатацию была введена лабораторная линия по изготовлению литиевых и пост-литиевых ХИТ в форм-факторе «пауч». В задачи линии входит проверка электрохимических характеристик материалов и отработка производственных технологий на экспериментальных и опытных образцах ХИТ

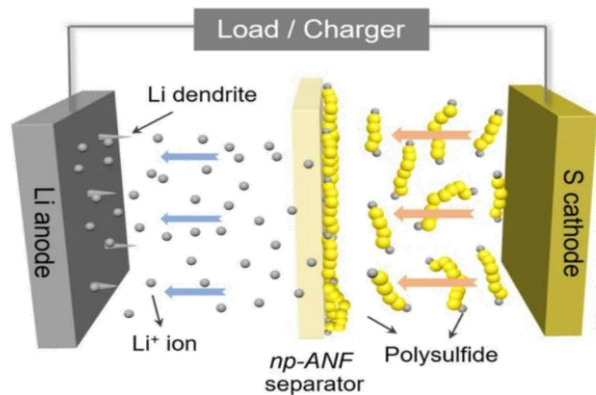


Реализация плана НИОКР по разработке технологии производства новых видов аккумуляторов и материалов



№	Наименование раздела НИОКР	Продукт, технология	Текущий статус работ	Срок реализации
1	Разработка технологии производства литий-серного аккумулятора (ЛСА)	Способ изготовления ЛСА и материалов. Изготовление катодных, анодных материалов и твердого электролита для ЛСА	Разработаны и испытаны лабораторные образцы материалов и ЛСА. Достигнут УГТ TRL4. Ведется работа над опытными образцами ЛСА 3-х типов – базовые, высокоемкие и высокоскоростные	2025
2	Разработка технологии производства натрий-ионного аккумулятора (НИА)	Способ изготовления НИА и материалов	Осуществлен подбор материалов для электродов НИА, разработаны методы синтеза активных материалов. Проведены испытания лабораторного образца НИА.	2025
3	Разработка твердотельного литий-ионного аккумулятора	Способ изготовления твердотельного ЛИА, а также альтернативных аккумуляторов	Разработаны и испытаны лабораторные образцы твердых электролитов на основе ионнопроводящего клея. Проведены испытания лабораторных образцов ТТЛИА. Достигнут УГТ TRL4. Ведется работа над улучшением количественных характеристик	2026
4	Разработка технологии получения анодных материалов на основе кремния и графита для ЛИА	Промышленная технология получения анодного материала на основе кремний-графитового композита	Изготовлены и протестированы образцы кремний-графитовых анодов и ЛИА на их основе. Достигнут УГТ TRL4. Ведутся работы по организации опытного производства	2027

НИОКР 1. «Разработка технологии производства литий-серного аккумулятора»



Характеристика целевого продукта ЛСА

Параметр	Ед. измерения	Базовый ЛСА	ЛСА с высокой удельной энергией	ЛСА с высокой удельной мощностью
Максимальный ток непрерывного заряда и разряда	C-rate	0,2–1,0	0,1	2–4
Удельная весовая энергия	Вт·ч/кг	≥ 300	≥ 400	≥ 260
Удельная объёмная энергия	Вт·ч/л	≥ 330	≥ 440	≥ 280
Удельная весовая мощность	Вт/кг	60–300	40	520–1040
Удельная объёмная мощность	Вт/л	66–330	44	560–1120
Диапазон рабочих температур	°С	0...+60	0...+60	0...+60
Ресурс при остаточной ёмкости 80% от номинальной	циклов	≥ 500	≥ 100	≥ 200

Цели

1. Повышение удельной энергии и мощности
2. Увеличение срока эксплуатации
3. Понижение скорости саморазряда
4. Увеличение диапазона рабочих температур
5. Обеспечение обратимости, глубины и скорости электрохимических превращений серы и полисульфидов лития
6. Повышение поверхностной емкости электрода, способного к многократному циклированию

Фото лабораторного прототипа литий-серного аккумулятора

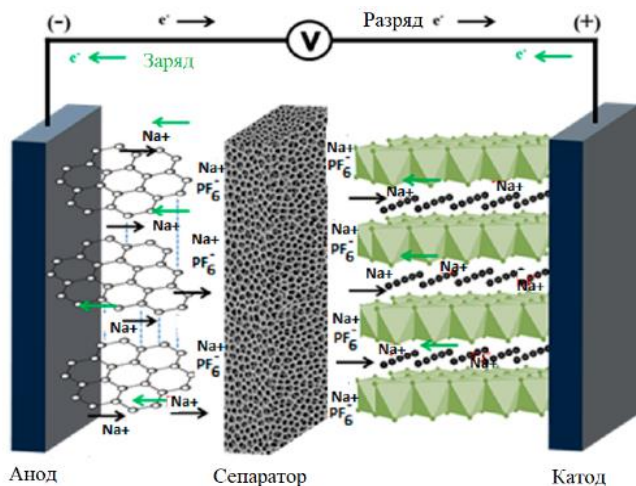


Результаты испытаний материалов литий-серного аккумулятора

Материал ЛСА	Параметр	Ед. измерения	Значение
Катодный	Номинальная емкость катодного материала	А·ч	2,7
	Удельная емкость катодного материала	А·ч/г	0,94
Анодный	Поверхностное сопротивление анодного материала	Ом	14
	Длительность циклирования анодного материала	цикл	>200
Электролит	Сопротивление твердого сульфидного электролита	Ом	355,16
	Ионная проводимость твердого сульфидного электролита	Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	4,26·10 ⁻⁴

Были разработаны, изготовлены и испытаны лабораторные образцы анодных и катодных материалов, электролита для ЛСА, а также литий-серных ячеек на основе этих материалов. **Достигнут уровень готовности технологии TRL 4.**

НИОКР 2. «Разработка технологии производства натрий-ионного аккумулятора»



Характеристика целевого продукта НИА

Параметр	Единица Измерения	Значение
Максимальный ток непрерывного заряда и разряда	C-rate	До 3
Удельная весовая энергия	Вт·ч/кг	150
Диапазон рабочих температур	°C	0...+60
Ресурс при остаточной ёмкости 80% от номинальной	циклов	800

Цели

1. Повышение мощности НИА
2. Повышение плотности энергии
3. Сокращение времени зарядки
4. Увеличение срока службы

Катодные материалы

- слоистые оксиды натрия и переходных металлов
- полианионные соединения
- аналоги Берлинской лазури

Анодные материалы

- Углеродные материалы
- Титанаты натрия, литий-титановая шпинель, сплавы олова, сурьмы и фосфора

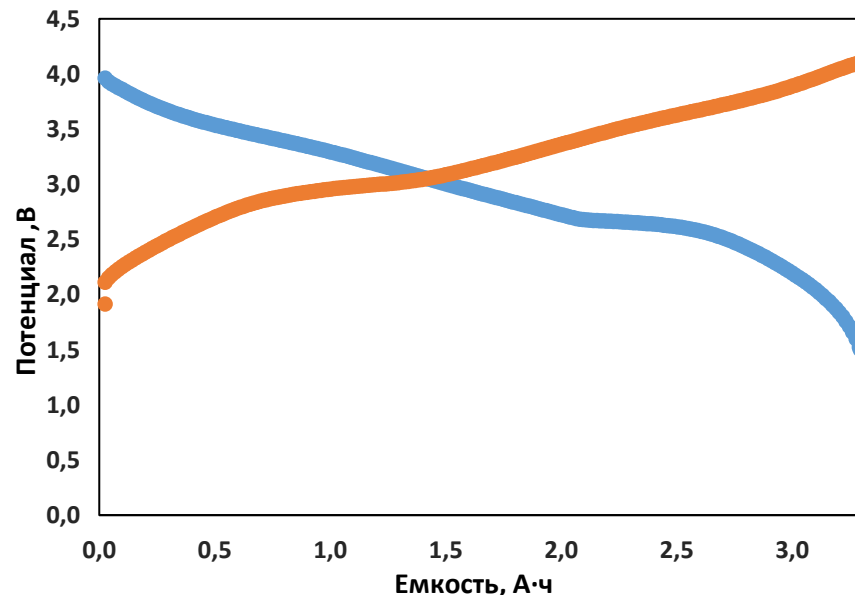
Выполненные этапы НИР

1. Осуществлен подбор материалов для изготовления лабораторных образцов электродов для НИА
2. Разработаны методы синтеза активных материалов катода для НИА
3. Получен лабораторный образец натрий-ионного аккумулятора в форм-факторе цилиндр, проведены его испытания

Характеристики лабораторного образца НИА

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	3,1 В
Емкость	3,5 А·ч
Удельная энергия	132 Вт·ч/кг
Напряжение заряда	4,1 В
Напряжение разряда	1,5 В
Ток заряда/разряда	0,5С

Зарядно-разрядная кривая лабораторного образца НИА



НИОКР 03. «Разработка твердотельного литий-ионного аккумулятора»

Преимущества ТТЛИА перед ЛИА:

1. Более быстрая зарядка (до 6 раз)
2. Более высокая плотность энергии (до 2 раз)
3. Увеличенный срок службы (до 10 лет)
4. Меньший вес и размер
5. Пониженный саморазряд
6. Повышенная безопасность и экологичность

Электродные материалы:

- Катодные материалы:
LCO, NMC, NCA и др.
(Li-S – персп. катод. мат.)
- Анодные материалы:
In, Ge_xSi_{1-x} , SnO–B₂O₃, SnS–P₂S₅,
Li₂FeS₂, FeS, NiP₂, Li₂SiS₃

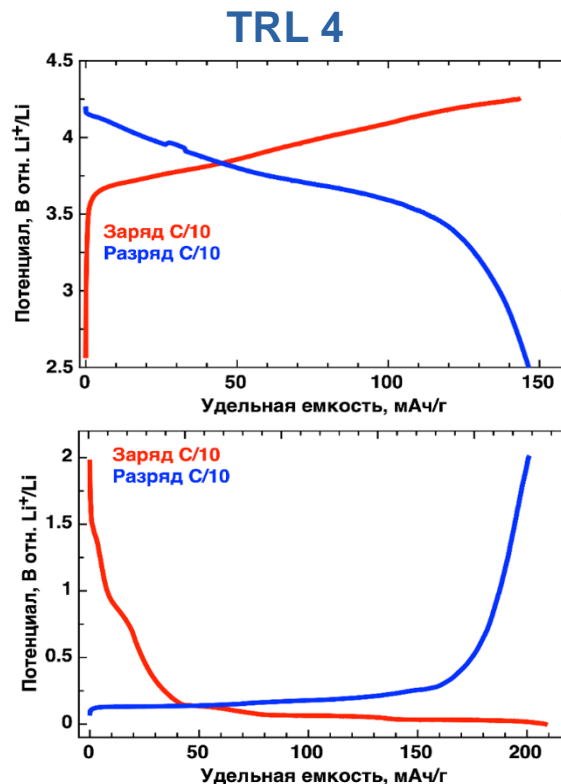
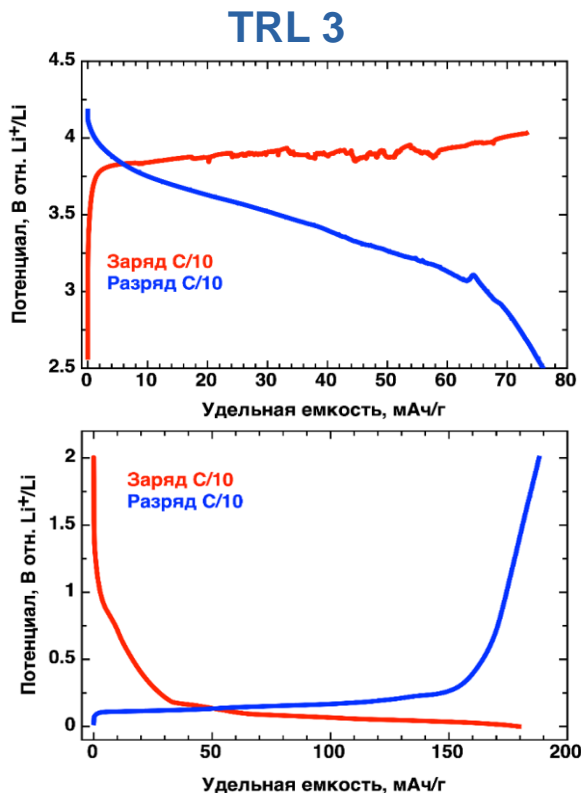
Характеристика целевого продукта ТТЛИА

Показатель	Требование
Массовая плотность энергии, Вт·ч/кг	не менее 150
Объемная плотность энергии, Вт·ч/л	не менее 400
Количество циклов заряд-разряд	не менее 800

Электролиты:

- Неорганические (керамика) – оксиды, сульфиды, фосфаты, например,
 $Li_{9.54}Si_{1.74}P_{1.44}S_{11.7}Cl_{0.3}$,
- Органические твердые (полимеры)
- Композитные

НИОКР 03. «Разработка ТТЛИА»: Достигнутые результаты



По сравнению с TRL3 значительно улучшена стабильность потенциала и работы ТТЛИА в целом, увеличена обратимая удельная емкость, особенно для катодного материала. **Достигнут уровень готовности технологии TRL 4.**

НИОКР 03. «Разработка ТТЛИА»: Достигнутые результаты



Фото лабораторных образцов ячеек ТТЛИА



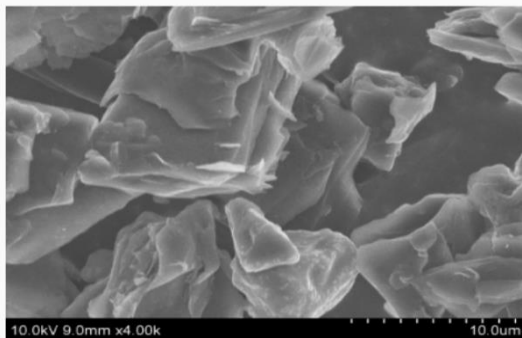
Достигнутые характеристики для лабораторного образца ячейки

Параметр		Значение
Номинальная ёмкость ячейки		0,25 А·ч
Плотность энергии	Объемная	390 Вт·ч/л
	Массовая	135 Вт·ч/кг
Номинальное напряжение		3,6 В
Рабочее напряжение		3,6 В
Номинальный ток	Заряд	C/10
	Разряд	C10
Максимальный ток	Заряд	C/5
	Разряд	C/5
	Импульсный разряд (<10 сек.)	C/2

НИОКР 04. «Разработка технологии производства композитного анодного материала на основе C-Si для литий-ионных аккумуляторов»

Преимущества Si/C

1. Si обладает самой высокой теоретической удельной емкостью – 4200 мА·ч/г (графит – 375 мА·ч/г)
2. Доступность сырья
3. Высокая экологическая безопасность



Характеристики целевого продукта

Показатель	Требование
Разрядная емкость в первом цикле, мА·ч/г	не менее 600
Необратимая емкость в первом цикле при токе 0,2С, мА·ч/г	не более 60
Ресурс (количество циклов до снижения емкости на 20% от разрядной емкости 2-го цикла при 0,2С)	не менее 3000

Планируемая цель к 2027 году:
Создание опытно-промышленного производства анодного материала на основе C-Si объемом до 30 т/год

НИОКР 04. «Разработка анодного материала C-Si»: Достигнутые результаты

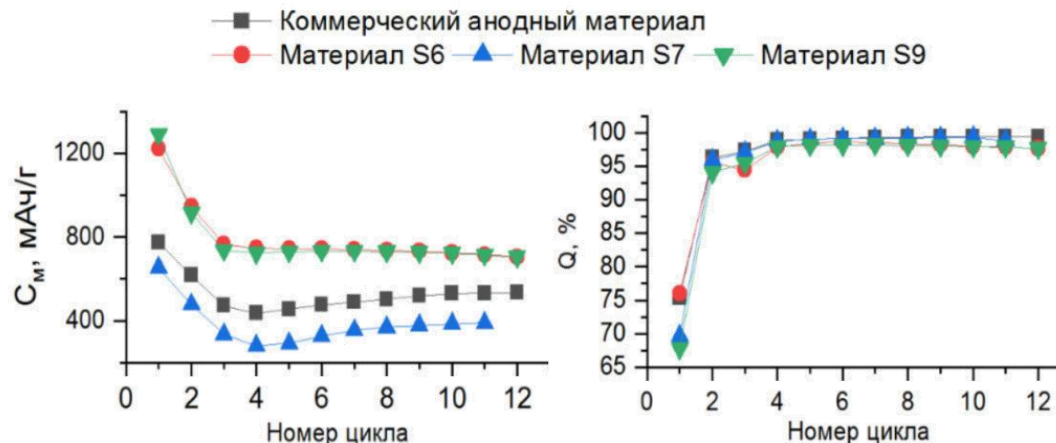
Образец анодного материала на основе C-Si



ЛИА с C/Si-анодом и катодом на основе NMC811



Результаты испытаний образцов анодного материала C-Si



Были разработаны и изготовлены лабораторные образцы анодного материала C-Si, а также лабораторные образцы ЛИА на их основе.

Достигнут уровень готовности технологии TRL 4.

Спасибо за внимание

Шаповалов В.В.

Руководитель направления
Управление разработки ХИТ
ООО «РЭНЕРА»

renera.ru

renera@rosatom.ru