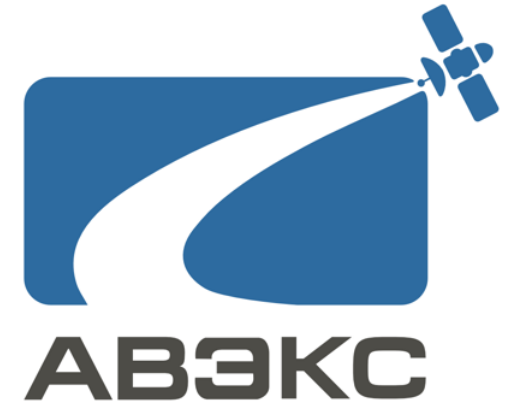


Организация опытного производства химических источников тока: от разработки до готового изделия



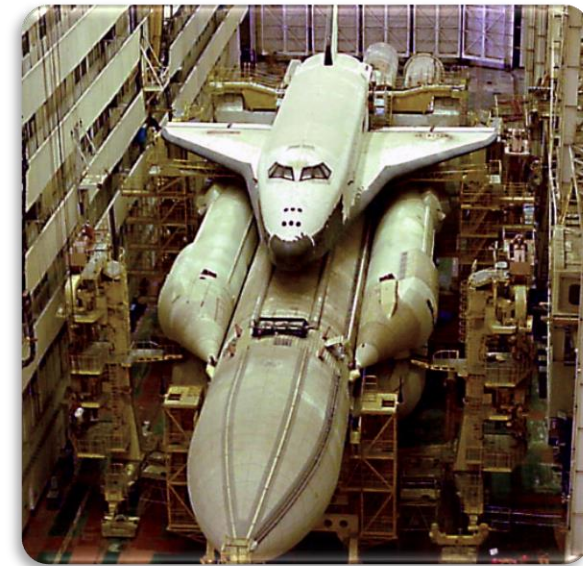
Корнилов Денис Юрьевич

д.т.н., заместитель генерального директора
научный руководитель по направлению ХИТ

d.kornilov@avecs.ru

Советское наследие

В 1937 году было создано ОКБ по авиационному приборостроению. Организация принимала участие в создании оборудования для первого атомного ледокола "Ленин", первых атомных подводных лодок, первого искусственного спутника Земли, первого пилотируемого корабля «Восток» и других космических аппаратов. В 80-е годы создана аппаратура для МТКС «Буран». В 1992 году ОКБ было переименовано в Московское опытно-конструкторское бюро «Система», позднее преобразованное в Акционерное общество «Авиационная электроника и коммуникационные системы» (АО «АВЭКС»).



Настоящее время

В наши дни АО «АВЭКС» - одно из ведущих российских предприятий, занимающееся полным циклом работ от проектирования до изготовления:

- систем электроснабжения для космических аппаратов;
- систем управления авиационными двигателями;
- преобразовательной техники, микропроцессорных систем контроля и управления необслуживаемых литий-ионных аккумуляторных батарей.

С 2021 года, предприятие специализируется на разработке, прототипировании и производстве полного цикла литиевых химических источников тока и аккумуляторных батарей на их основе.



Хронология



2021 г. – начало работ по организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Хронология



2021 г. – подготовительные работы для организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

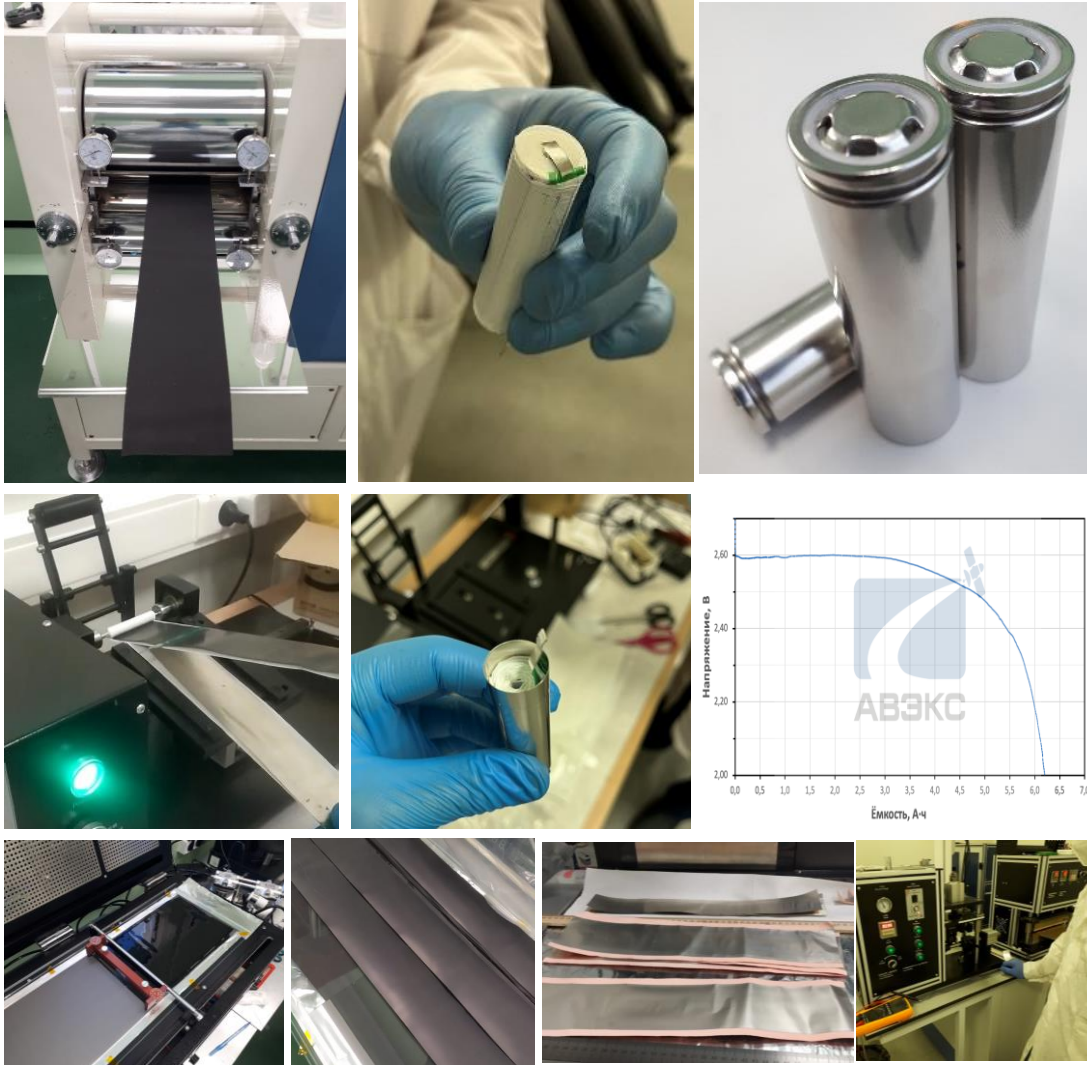
Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Хронология



2021 г. – работы по организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

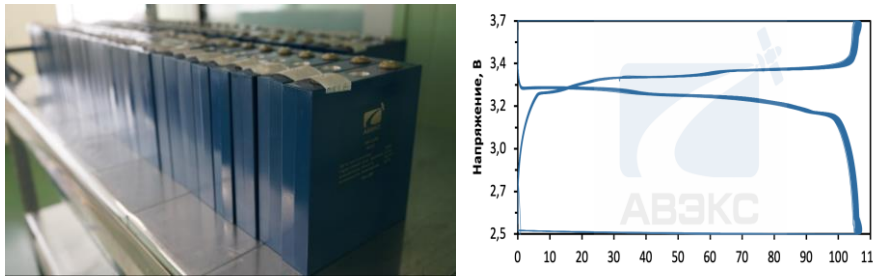
Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Хронология



2021 г. – работы по организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Хронология



2021 г. – работы по организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Хронология



2021 г. – работы по организации производства ЛИА

Май 2022 г. – открытие лаборатории по отработке технологии изготовления ЛИА

Июнь 2022 г. – создание первичного химического источника тока с удельной энергоемкостью 505 Вт·ч/кг

Сентябрь 2022 г. – запуск производства ЛИА (5 МВт·ч/год)

Январь 2023 г. – начало работ по запуску производства сепаратора (25000 м²/год)

Август 2023 г. – открытие комплекса лабораторий по разработке технологии производства ЛИА с использованием пилотной линии

Август 2023 г. – открытие производства первичных ХИТ (1,7 МВт·ч/год)

Комплекс лабораторий

по разработке технологии
производства химических
источников тока

АВЭКС



Подготовительные работы

Емкость	Ач	****			
Напряжение	В	****			
Энергия	Втч	****			
	Элемент	Параметр	Обозначение	Показатель	
Катод	Активный материал	Уд.емкость (вес.)	мАч/г	****	
		Уд.емкость (плоч.)	мАч/см ²	****	
		Масса	г/см ²	****	
		Содержание	%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
Добавки	Сажа	Масса	г/см ²	****	
		Содержание	%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
Графит		Масса	г/см ²	****	
		Содержание	%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
Связующее (САН)		Масса	г/см ²	****	
		Содержание	%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
		Толщина слоя	мкм	****	
		Пористость	%	****	
Анод	Активный материал	Уд.емкость (вес.)	мАч/г	****	
		Уд.емкость (плоч.)	мАч/см ²	****	
		Масса	г/см ²	****	
		Содержание	%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
	Добавки	Сажа	Масса	г/см ²	****
			Содержание	%	****
			Крист. плотность	г/см ³	****
	Связующее 1 (КМЦ)		Масса	г/см ²	****
			Содержание	%	****
Крист. плотность			г/см ³	****	
Связующее 2 (БСК)			Масса	г/см ²	****
Содержание			%	****	
		Крист. плотность	г/см ³	****	
		Толщина слоя	мкм	****	
		Пористость	%	****	
Сепаратор		Удельная масса	г/см ²	****	
		Площадь	см ²	****	
		Толщина	мкм	****	
		Пористость	%	****	

Токоотводы	Подложка катода (Al)	Плотность	г/см ³	****	
		Масса	г	****	
Корпус		Толщина	мкм	****	
		Подложка анода (Cu)	Плотность	г/см ³	****
			Масса	г	****
			Толщина	мкм	****
			Высота корпуса	мм	****
			Ширина корпуса	мм	****
			Толщина корпуса	мм	****
			Масса	г	****
	Электроды		Крышка + борны с шинами	г	****
			Количество катодов	шт	****
Длина катода			мм	****	
Ширина катода			мм	****	
Общая площадь катода			см ²	****	
Количество анодов			шт	****	
Длина анода			мм	****	
Электролит		Ширина анода	мм	****	
		Общая площадь анода	см ²	****	
		Плотность электролита	г/см ³	****	
		Объем пор катода	мл	****	
		Масса электролита (катод)	г	****	
		Объем пор анода	мл	****	
		Масса электролита (анод)	г	****	
		Объем пор сепаратор	мл	****	
		Масса электролита (сепаратор)	г	****	
		Вес		Масса катодного материала	г
Масса анодного материала	г			****	
Масса сепаратора	г			****	
Масса электролита	г			****	
Масса корпуса	г			****	
Пакет электродов		Масса токоотводов (Al)	г	****	
		Масса токоотводов (Cu)	г	****	
		Общая масса	г	****	
		Толщина катодов	мм	****	
Удельная энергоёмкость		Толщина анодов	мм	****	
		Толщина сепаратора	мм	****	
		Общая толщина	мм	****	
		Удельная энергоёмкость	Втч/кг	****	

Подготовительные работы

Ключевые технологии:

- Контроль влажности и обработка состава электролита

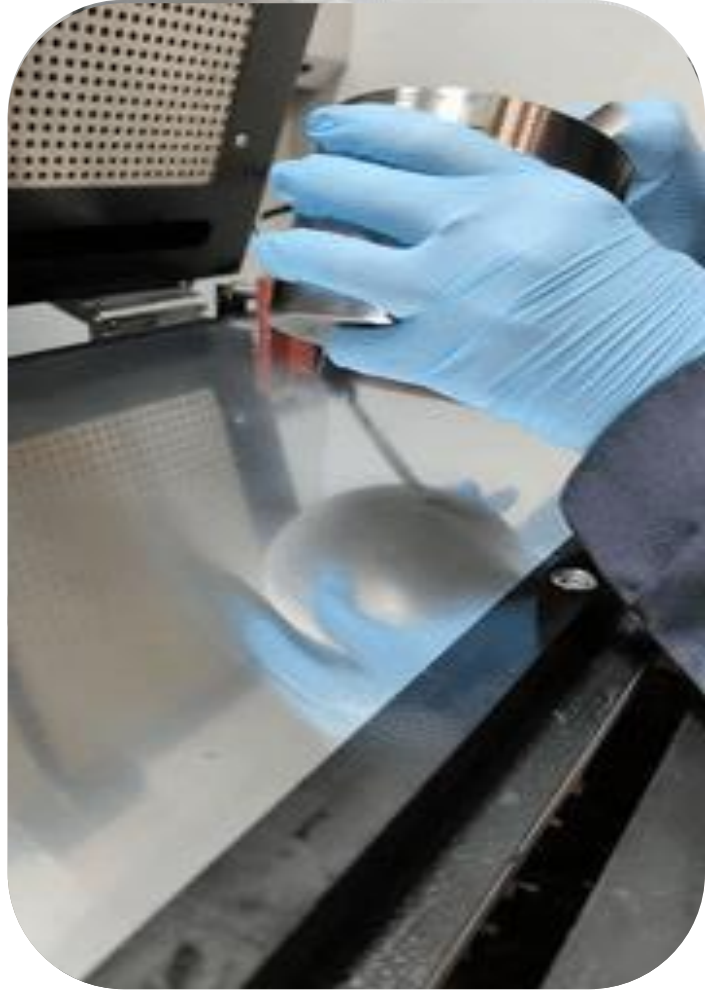
Подготовительные работы



Ключевые технологии:

- Контроль влажности и отработка состава электролита
- Смешение компонентов активной массы путём гомонегизации, диспергирования и УЗ-обработки

Подготовительные работы



Ключевые технологии:

- Контроль влажности и отработка состава электролита
- Смешение компонентов активной массы путём гомонегизации, диспергирования и УЗ-обработки
- Высокорецизионное нанесение активной массы на фольгу

Изготовление Coin-cell

- В



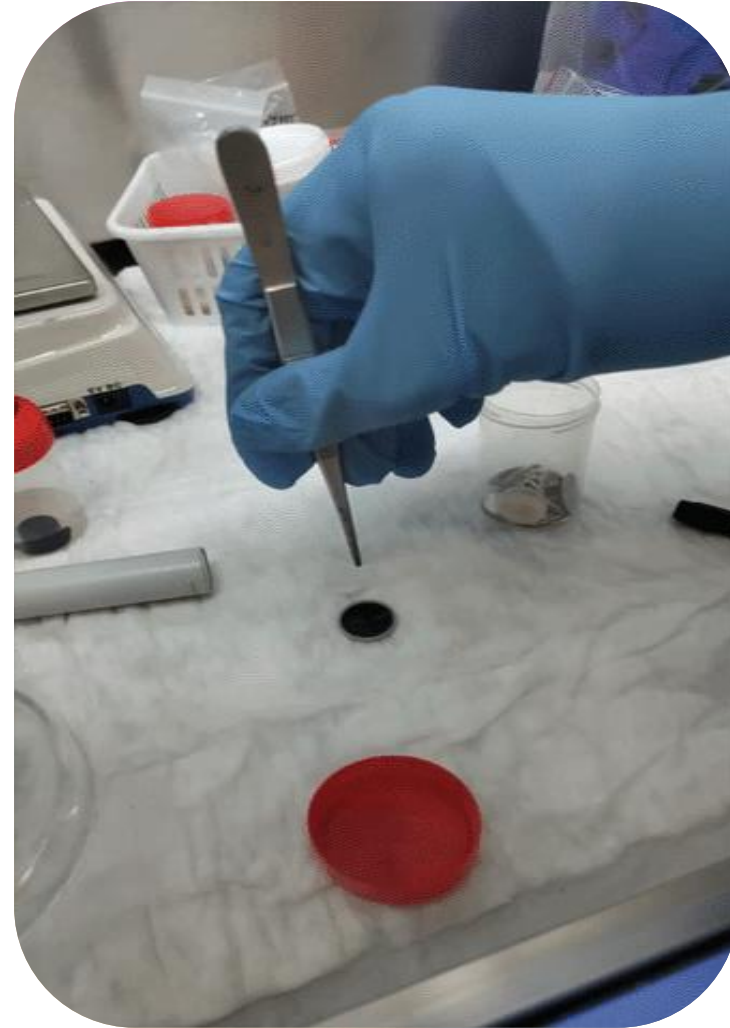
Coin-cell



Изготовление Coin-cell

- Вырубка электродов
- Сборка ячейки

АВЭКС



Изготовление Coin-cell

- Вырубка электродов
- Сборка ячейки
- Тестирование

АВЭКС



Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка и зачистка электродов



Pouch-cell



Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка и зачистка электродов
- Токоотводы собственного изготовления



Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка электродов и зачистка токовыводов
- Токоотводы собственного изготовления
- Приварка токоотводов



Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка электродов и зачистка токовыводов
- Токосъёмы собственного изготовления
- Приварка токосъёмов
- Вакуумная пропитка электролитом



АВЭКС

Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка электродов и зачистка токовыводов
- Токосъёмы собственного изготовления
- Приварка токосъемов
- Вакуумная пропитка электролитом
- Вакуумная герметизация

АВЭКС



Изготовление Pouch-cell

- Лазерная резка электродов и зачистка токовыводов
- Токосъёмы собственного изготовления
- Приварка токосъемов
- Вакуумная пропитка электролитом
- Вакуумная герметизация
- Тестирование

АВЭКС



Типы ячеек

Тестирование материалов



Coin-cell
~18 мА·ч



Pouch-cell
150 мА·ч



Cylindrical-cell 18650
> 1,5 А·ч

Тестирование в форм-факторах:

- Coin
- Pouch
- Cylindrical

Широкий спектр испытаний:

- GST
- CVA
- EIS

Пилотная линия изготовления цилиндрических ХИТ

- **13 операторов**

- **1,7 МВт·ч/год**

производительность линии

- **Ar 99,9999 %**

атмосфера аргона позволяет работать с металлическим литием

- **18650 и 34615**

возможность изготовления элементов в 2-ух форм-факторах

- **Вакуумная печь**

интегрирована в перчаточный бокс

Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты



Cylindrical-cell 18650



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты

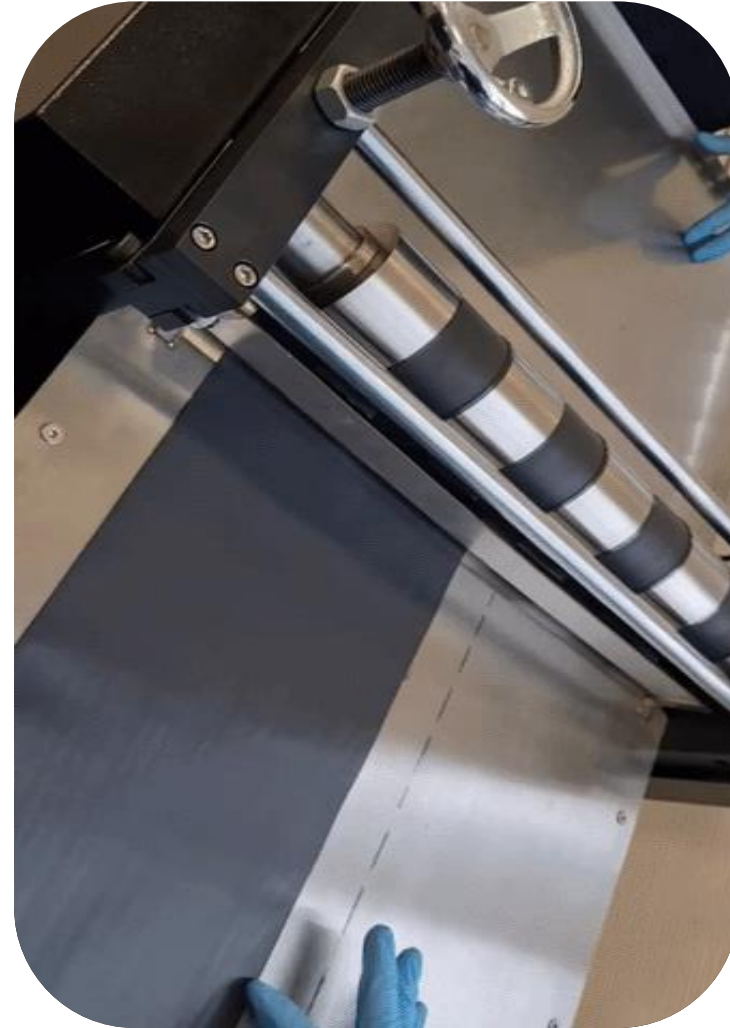
АВЭКС



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты

АВЭКС



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты
- Сборка ячейки



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты
- Сборка ячейки
- Зиговка

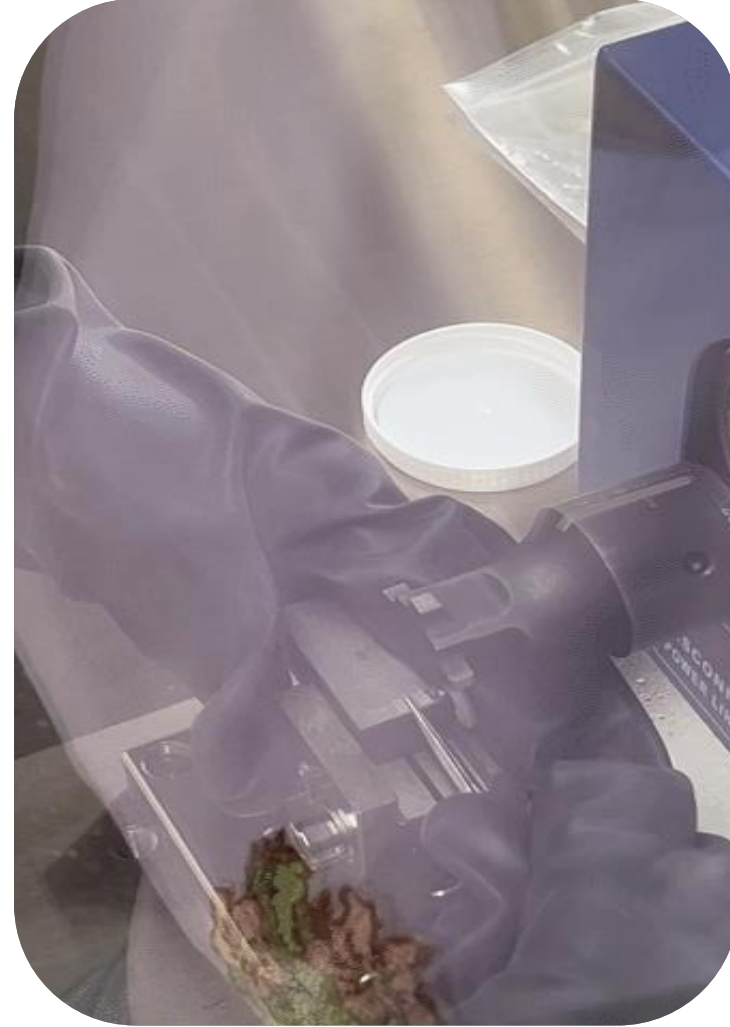
АВЭКС



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты
- Сборка ячейки
- Зиговка
- Сварка

АВЭКС



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты
- Сборка ячейки
- Зиговка
- Сварка
- Завальцовка

АВЭКС



Изготовление Cylindrical-cell

- Приготовление пасты
- Изготовление электродной ленты
- Изготовление электродов из ленты
- Скрутка ячейки
- Зиговка
- Сварка
- Завальцовка
- Тестирование

АВЭКС



Производство ЛИА призматического типа

- 5 МВт·ч/год
производительность линии
- Вакуумный миксер на 30 л

Производство ЛИА призматического типа



- **5 МВт·ч/год**

производительность линии

- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 12 м

АВЭКС

Производство ЛИА призматического типа



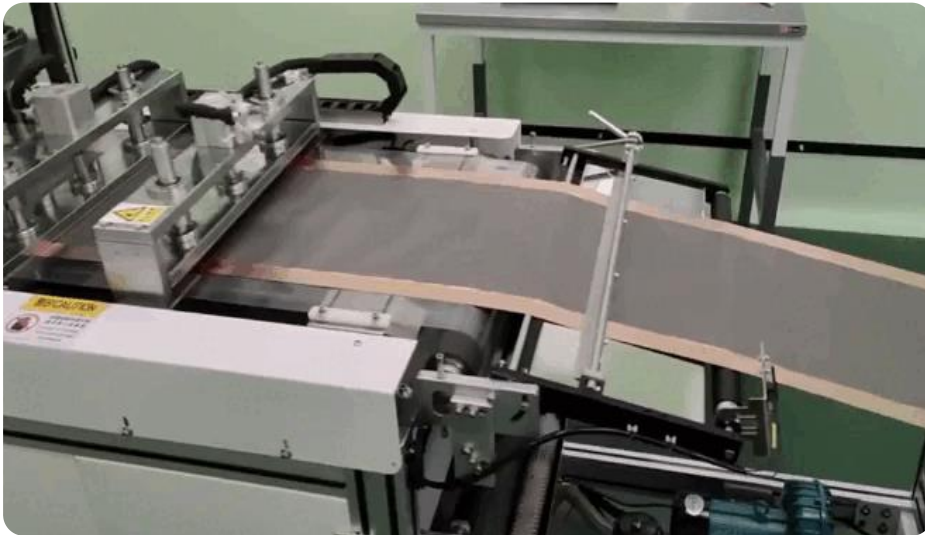
■ **5 МВт·ч/год**

производительность линии

- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 10 м
- Горячее каландрирование

АВЭКС

Производство ЛИА призматического типа



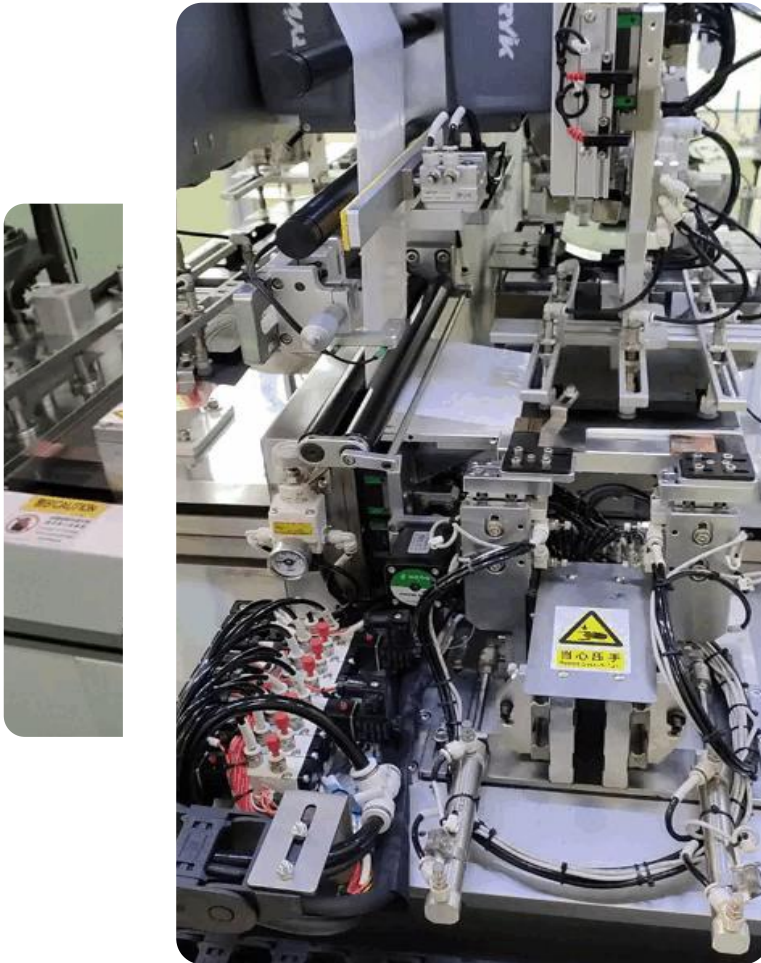
■ 5 МВт·ч/год

производительность линии

- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 10 м
- Горячее каландрирование
- Вырубка электродов

АВЭКС

Производство ЛИА призматического типа



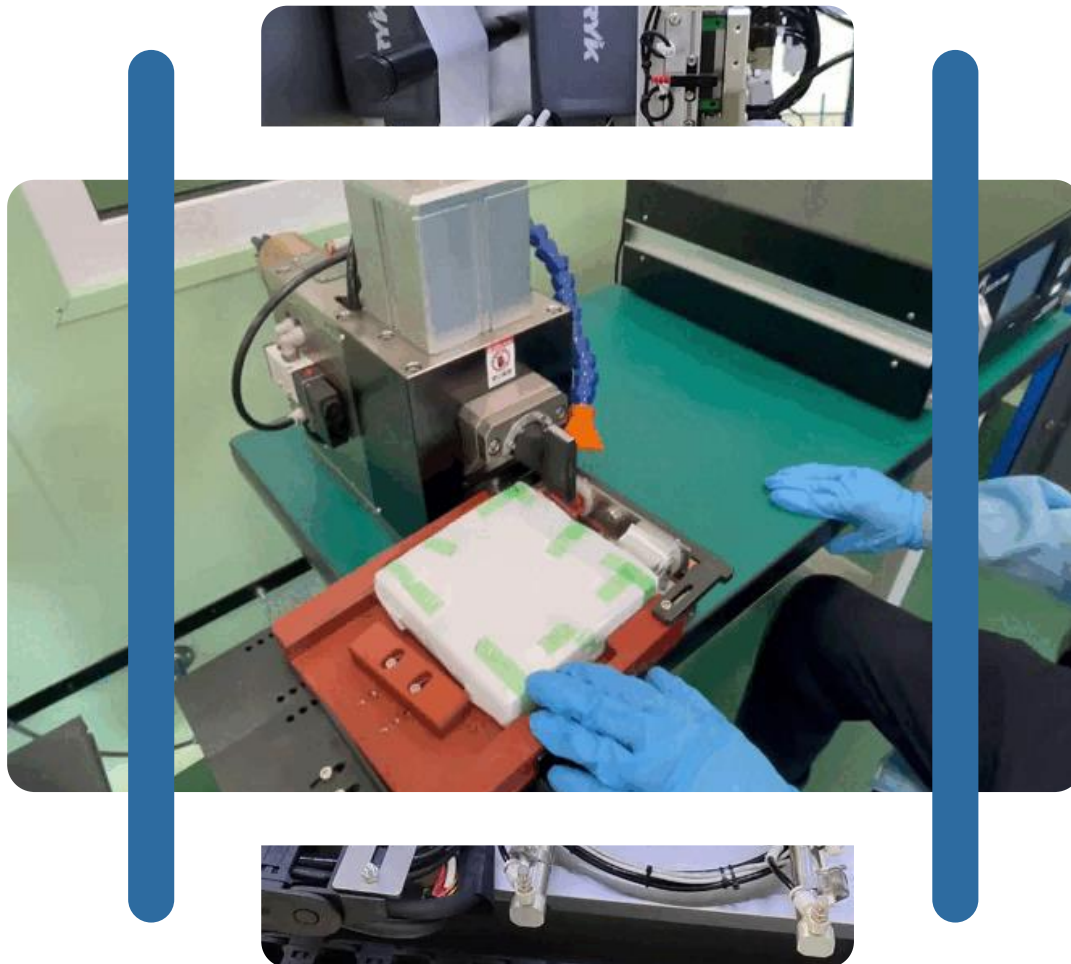
■ 5 МВт·ч/год

производительность линии

- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 10 м
- Горячее каландрирование
- Вырубка электродов
- Автоматическая укладка электродного стэка

АВЭКС

Производство ЛИА призматического типа

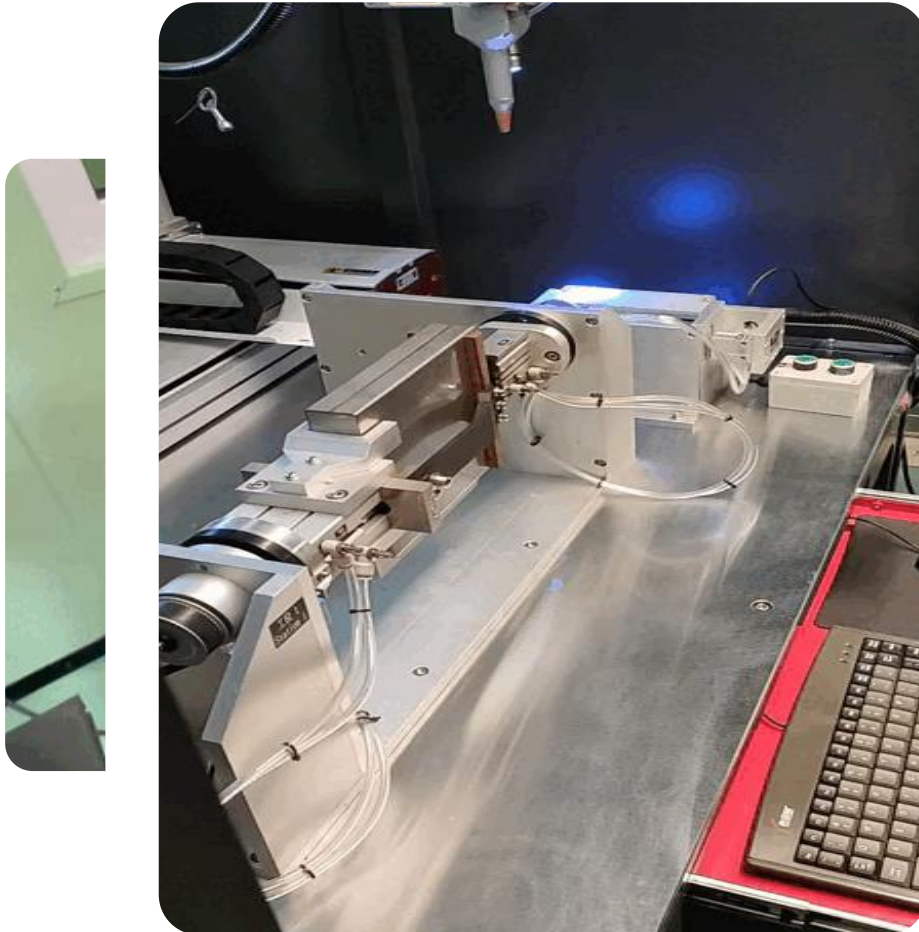


■ 5 МВт·ч/год

производительность линии

- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 10 м
- Горячее каландрирование
- Вырубка электродов
- Автоматическая укладка электродного стэка
- УЗ-сварка одноименных электродов

Производство ЛИА призматического типа



■ 5 МВт·ч/год

производительность линии

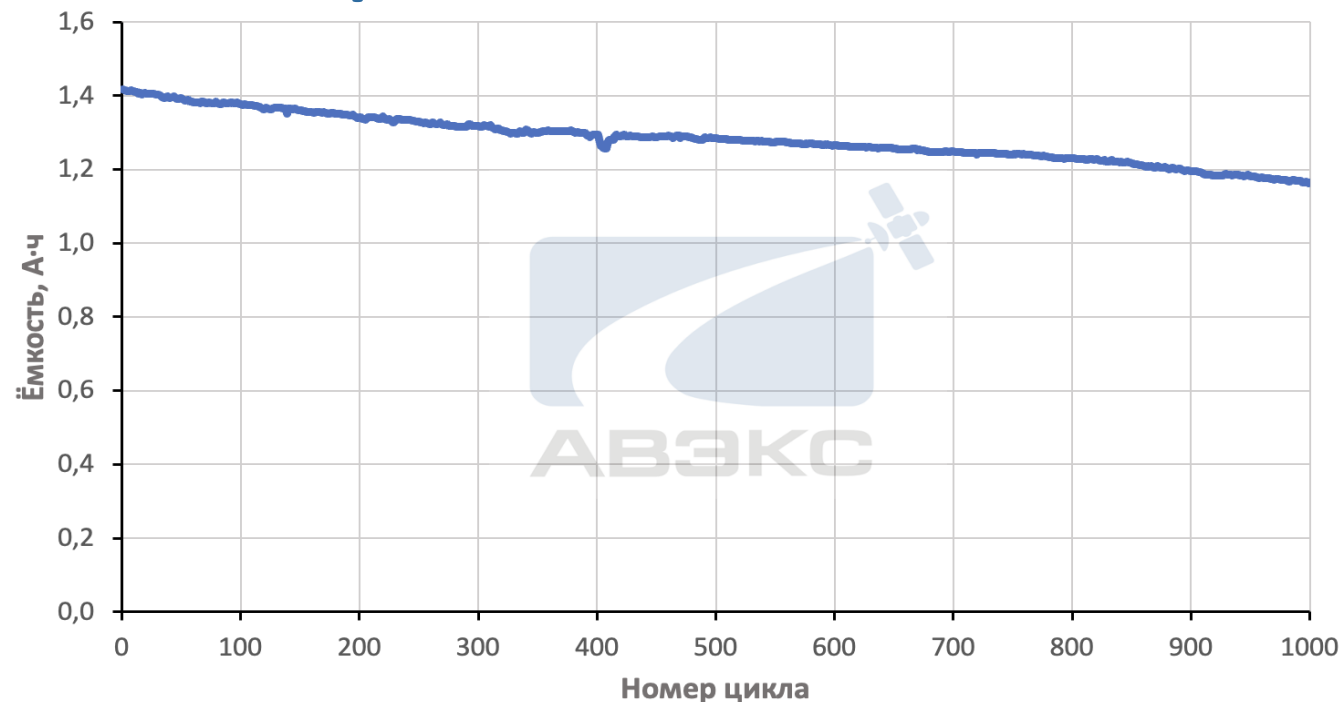
- Вакуумный миксер на 30 л
- Намазная линия Slot-Die 10 м
- Горячее каландрирование
- Вырубка электродов
- Автоматическая укладка электродного стэка
- УЗ-сварка одноименных электродов
- Лазерная сварка корпуса

Производство аккумуляторов

Строгий контроль влажности воздуха при сборке электродного блока и аккумулятора. Заливка электролита в атмосфере высокочистого аргона.



18650 LFP/Gr



Параметр

Величина

Электрохимическая система

Gr/LFP

Форм-фактор

18650

Номинальная ёмкость, А·ч

1,5

Номинальное напряжение, В

3,2

Номинальная энергоёмкость, Вт·ч

4,8

Вес, г

39

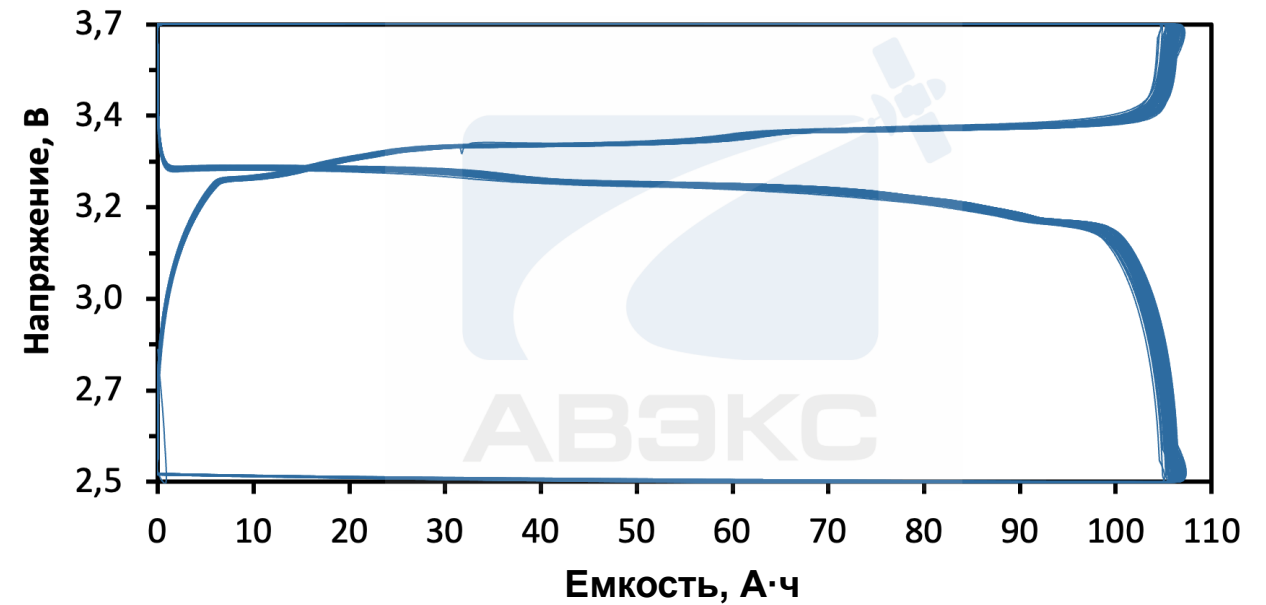
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг

125

Кол-во рабочих циклов заряда-разряда

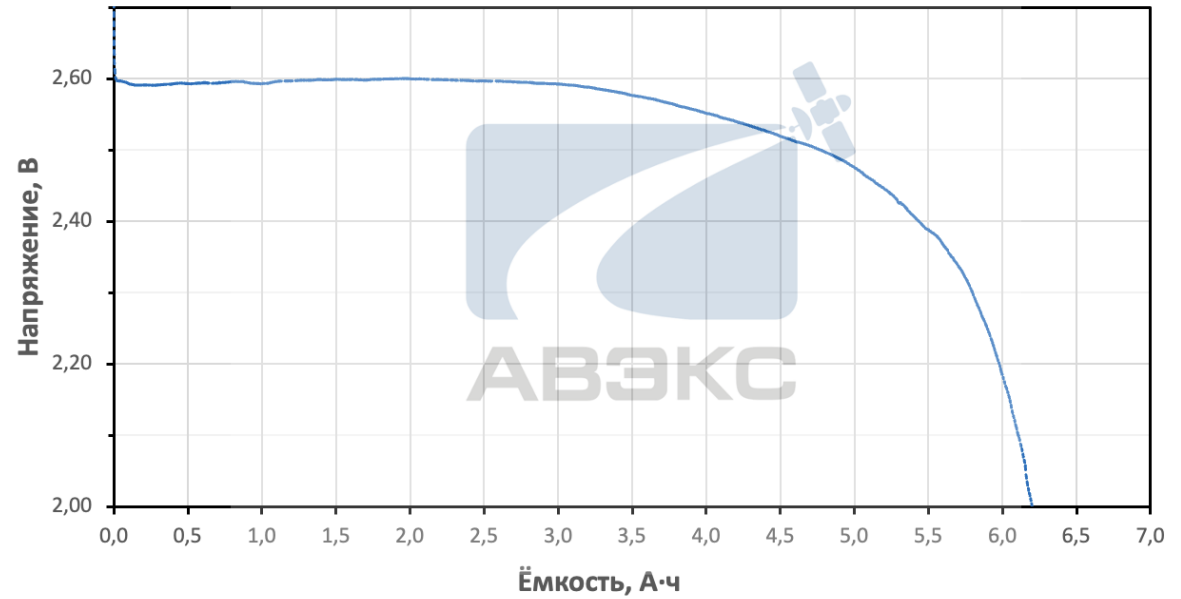
1000

ЛИА призматического типа – «ЛИП-104М»



Параметр	Величина
Электрохимическая система	Gr/LFP
Форм-фактор	Призматический
Номинальная емкость, А·ч	104 (при 20 А) 100 (при 100 А)
Номинальное напряжение, В	3,2
Номинальная энергоёмкость, Вт·ч	350
Вес, кг	2,5
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	140
Кол-во рабочих циклов заряда-разряда	1000

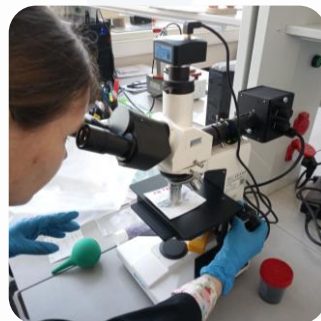
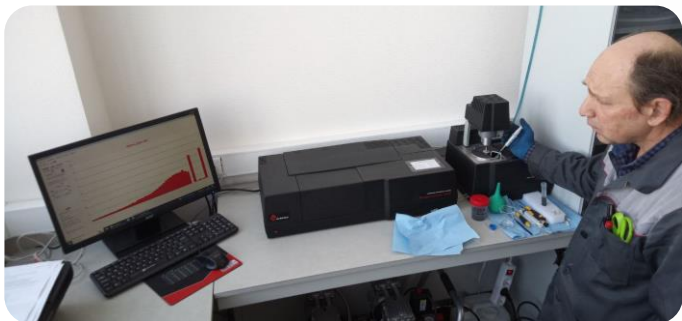
Первичные источники тока с энергоёмкостью - 505 Вт·ч/кг



Параметр	Величина
Электрохимическая система	Li/CF _x
Форм-фактор	18650
Номинальная ёмкость, А·ч	6,2 (при 0,22 А) 5,3 (при 0,5 А)
Диапазон напряжения разряда, В	2,5 - 2,0
Номинальная энергоёмкость, Вт·ч	15,67
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	505
Вес, г	31

Производство катодных и анодных материалов

Полный цикл разработки активных материалов от **руды до готового продукта**

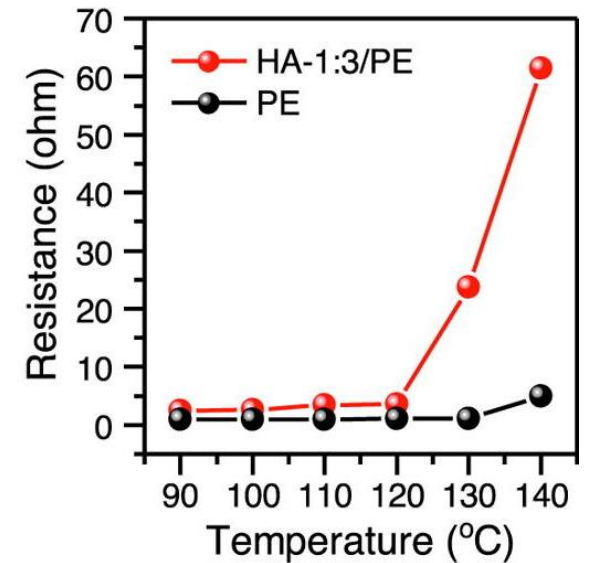
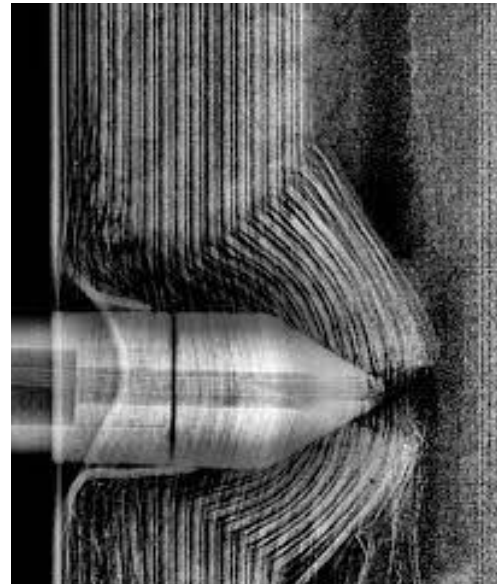
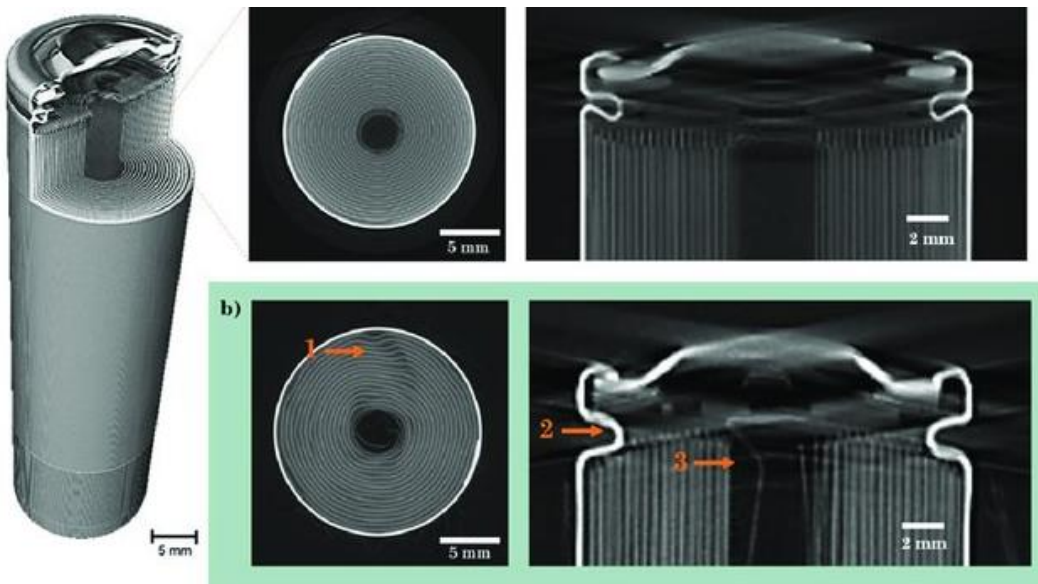
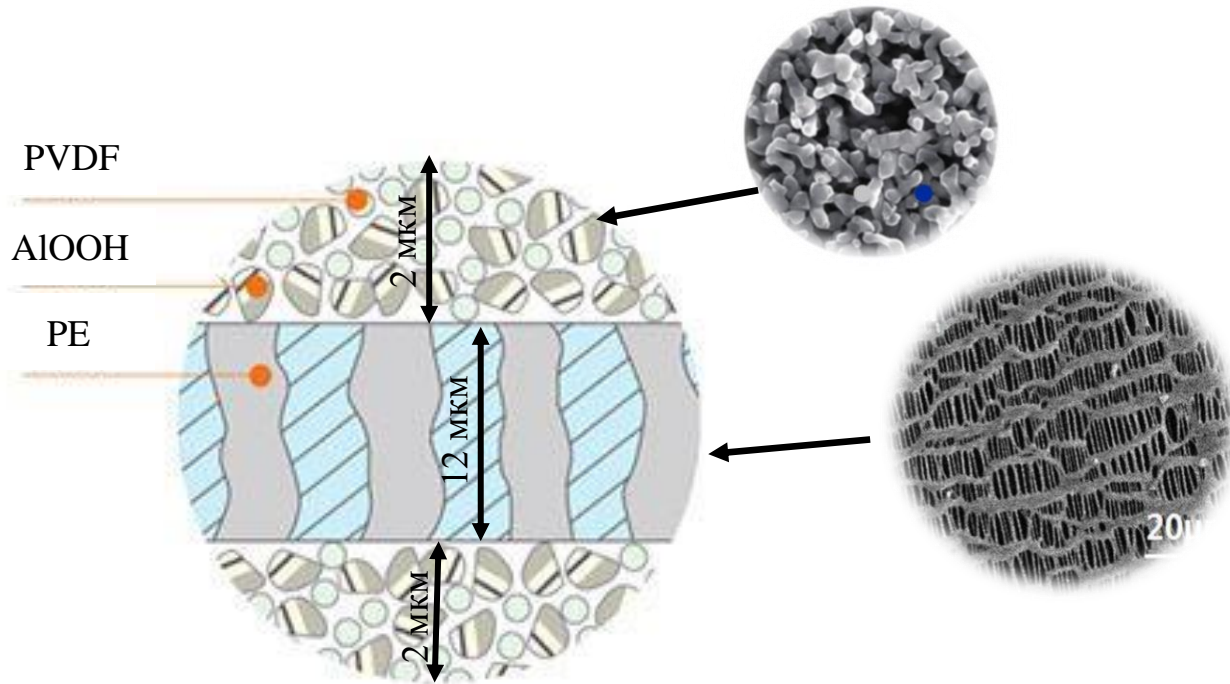


0.5 тонн LFP/год

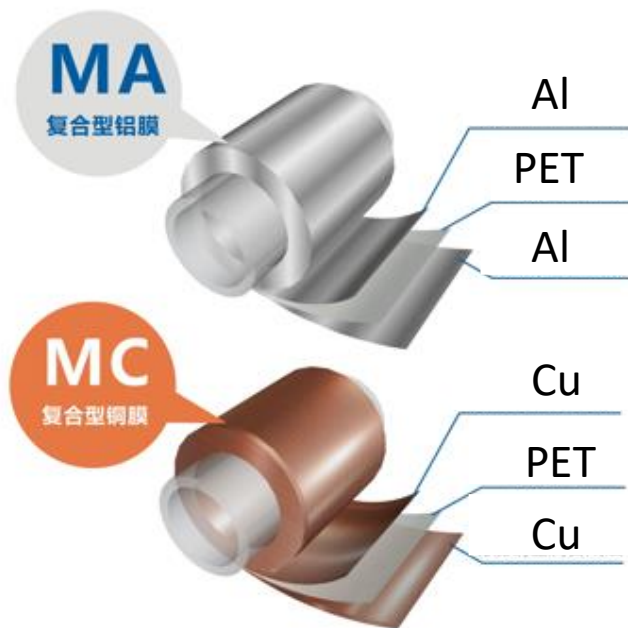
1 тонна Gr/год

(сферолизированный природный графит)

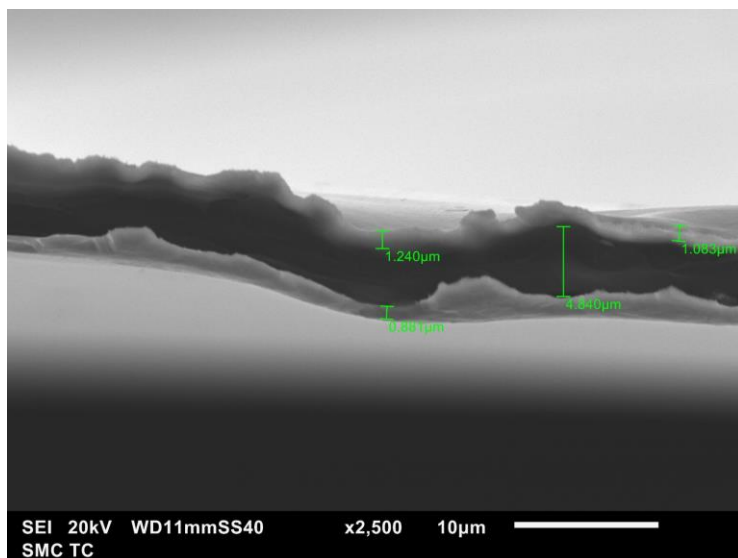
Производство сепаратора



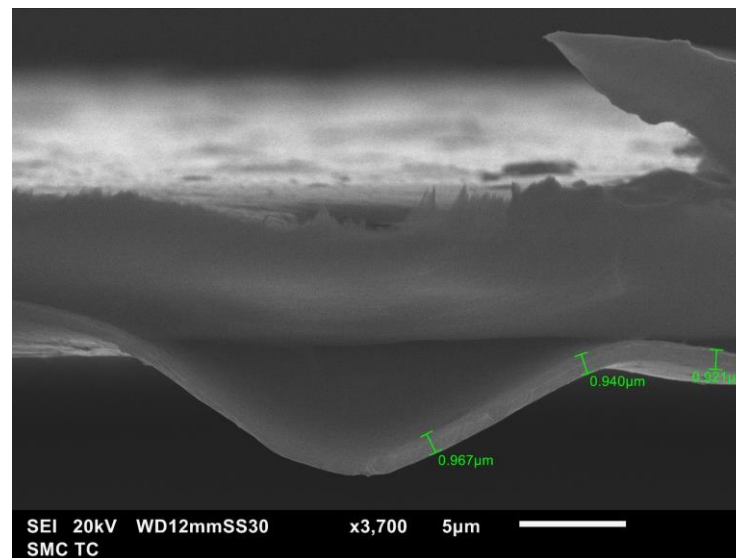
Разработка технологии изготовления оплавляемых токоотводов



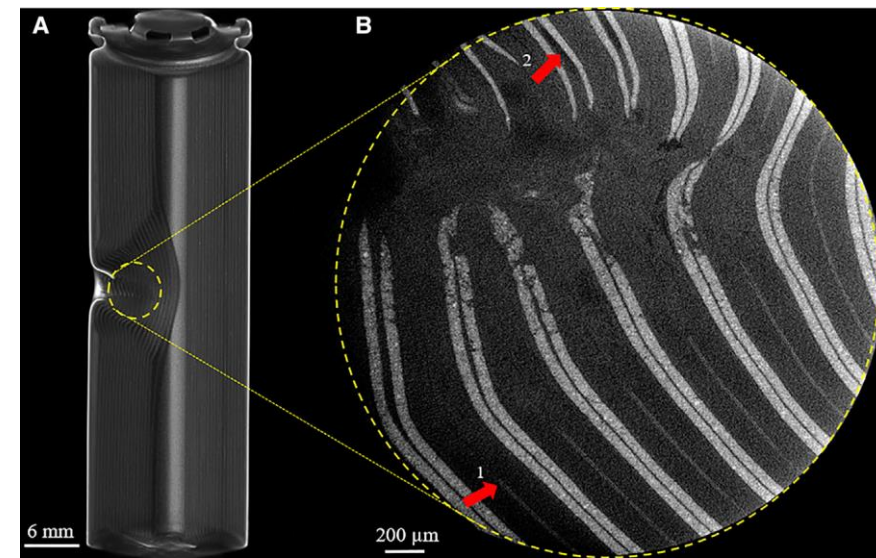
	Traditional Aluminum Foil	Soteria Aluminum Film	Thin-film Aluminum Kapton®	Traditional Copper Foil	Soteria Copper Film	Thin-film Copper Kapton®
Substrate	N/A	9µm PET	4µm Kapton®	N/A	9µm PET	4µm Kapton®
Total Thickness	15µm	8µm	5µm	10µm	10µm	5µm
Weight	43 g/m ²	13 g/m ²	10g/m ²	90 g/m ²	22 g/m ²	14g/m ²
Tensile N/mm²	150 N/mm ²	120 N/mm ²	335 N/mm ² *	400 N/mm ²	120 N/mm ²	335 N/mm ² *
Elongation	4%	39%	55%*	4%	37%	55%*



СЭМ микрофотография среза металлизированной (Cu) пленки



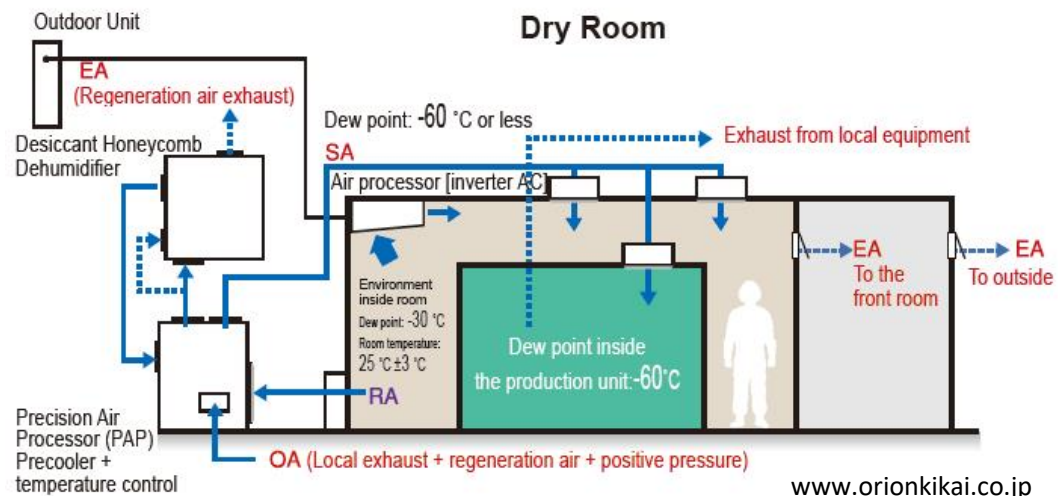
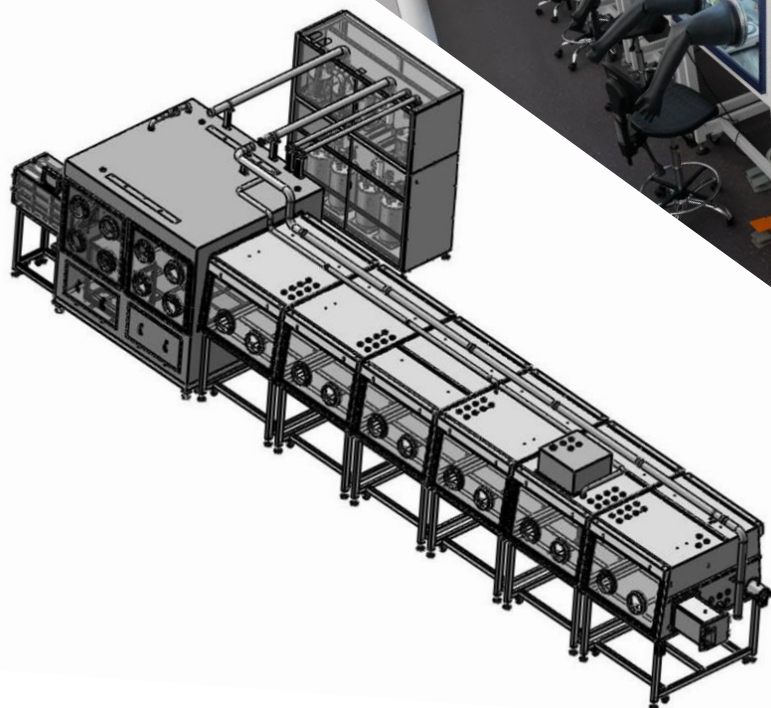
СЭМ микрофотография среза металлизированной (Al) пленки



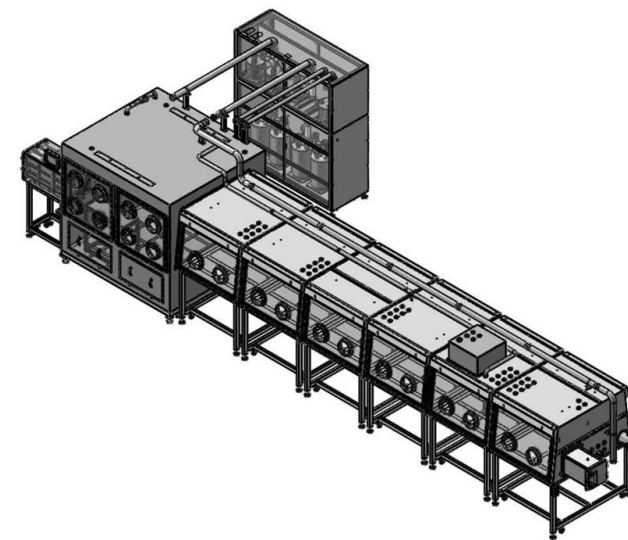
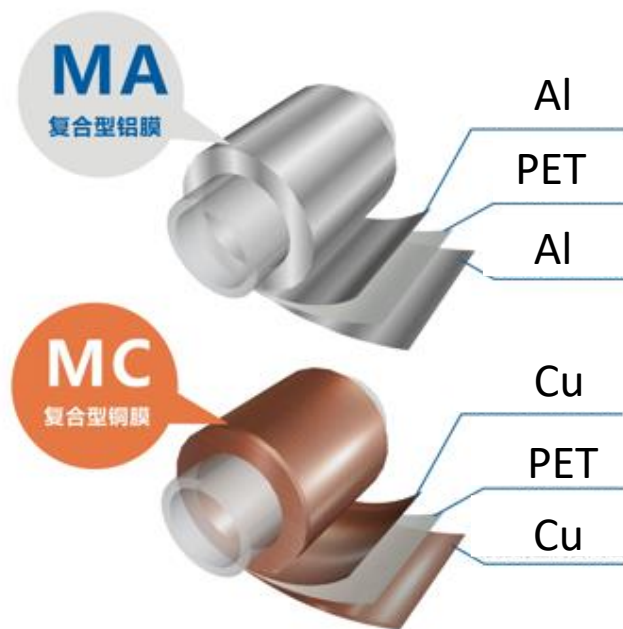
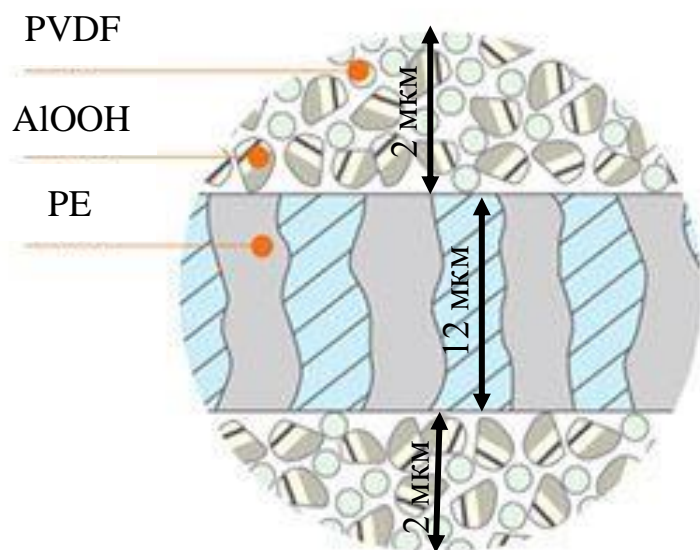
DOI: 10.1149/1945-7111/ab7fb6

Оптимизация производственных процессов

Проектирование и изготовление оборудования для производства ЛИА



- Производство сепаратора
- Разработка технологии изготовления оплавляемых токоотводов
- Оптимизация производственных процессов
- Проектирование и изготовление оборудования для производства ЛИА



Наша команда



22 специалистов

в направлении разработки и
производства химических
источников тока

30 специалистов

в области разработки систем
накопления электрической
энергии (СНЭЭ)

90 специалистов

в области производства систем
накопления электрической энергии

2 доктора наук

6 кандидатов наук



д.т.н., Корнилов Денис Юрьевич
заместитель генерального директора,
научный руководитель по направлению ХИТ
d.kornilov@avecs.ru

Россия, 111024, г. Москва, проезд Энтузиастов, д.15
+7 (499) 551-55-88
avecs@avecs.ru