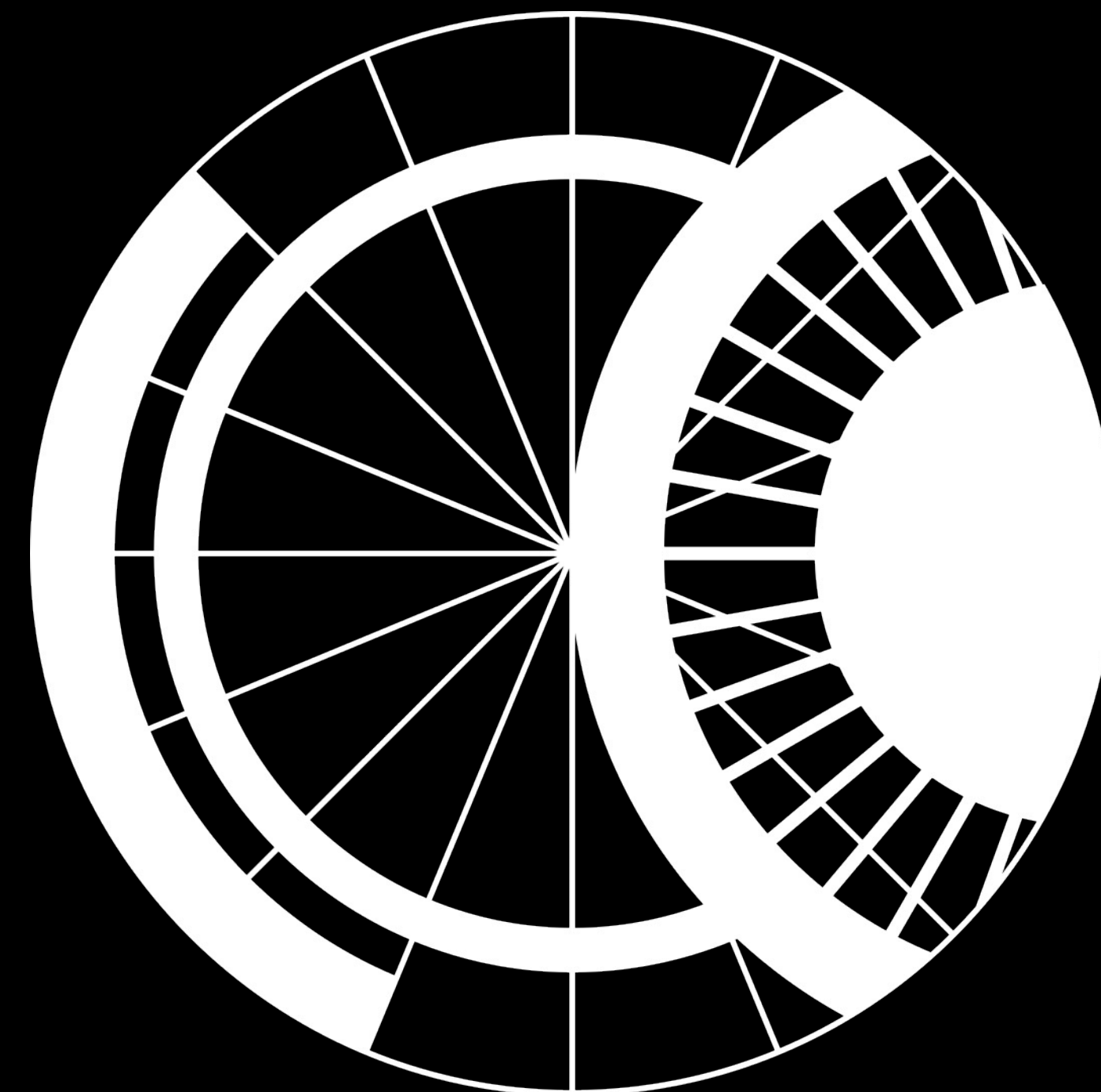


Новые материалы в энергетике

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
СИМПОЗИУМ  
«СОЗДАВАЯ БУДУЩЕЕ»

АЗАМАТ БЕДАНОКОВ

ДИРЕКТОР ПО ПРОДУКТУ АО  
«ОПЕРАТОР ТМИК»



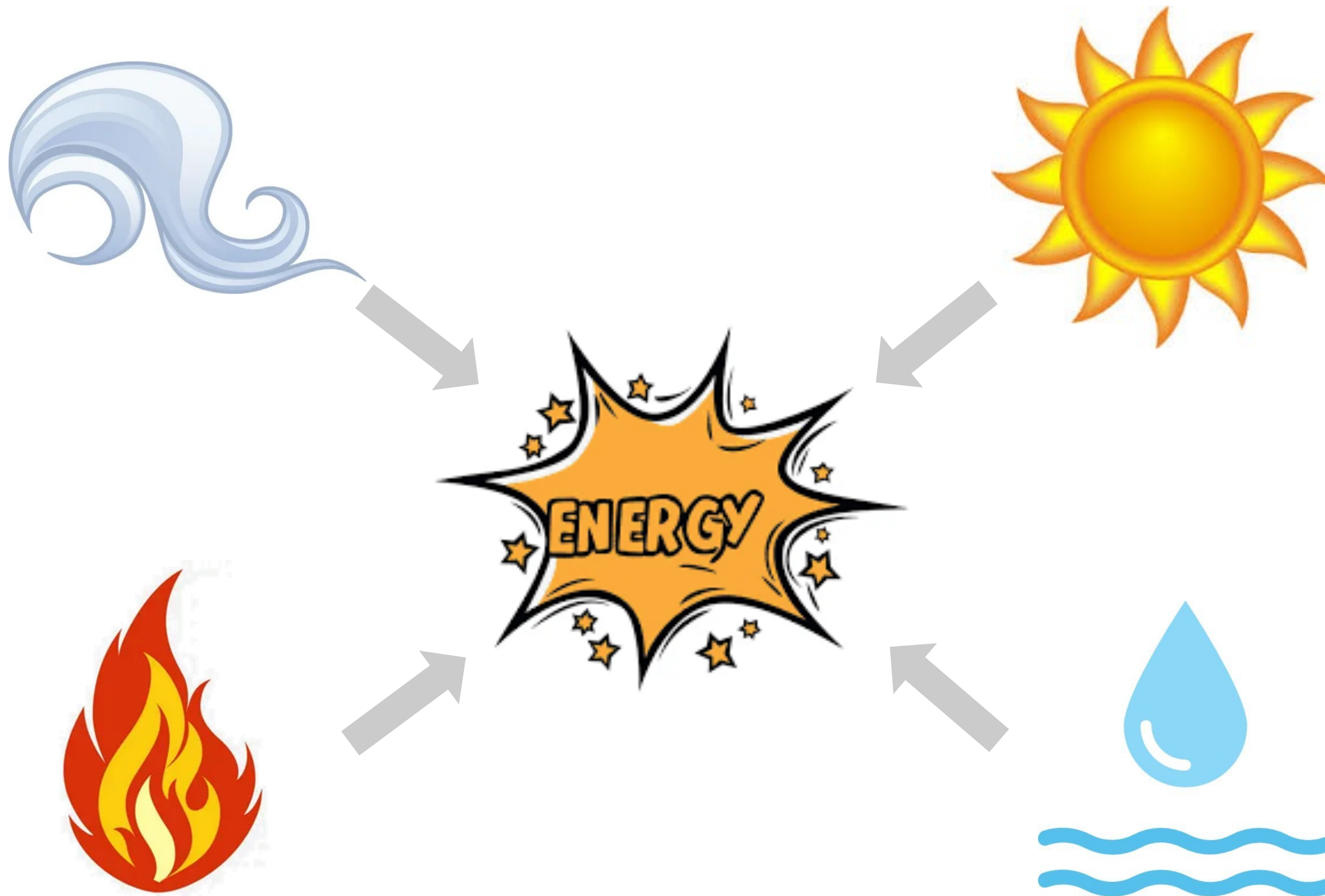


**...В далекой далекой галактике...**

**люди активно искали новые источники энергии**

**для сохранения и развития цивилизации...**

# ТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ – ЧЕТЫРЕ СТИХИИ



# Поиск новых источников энергии

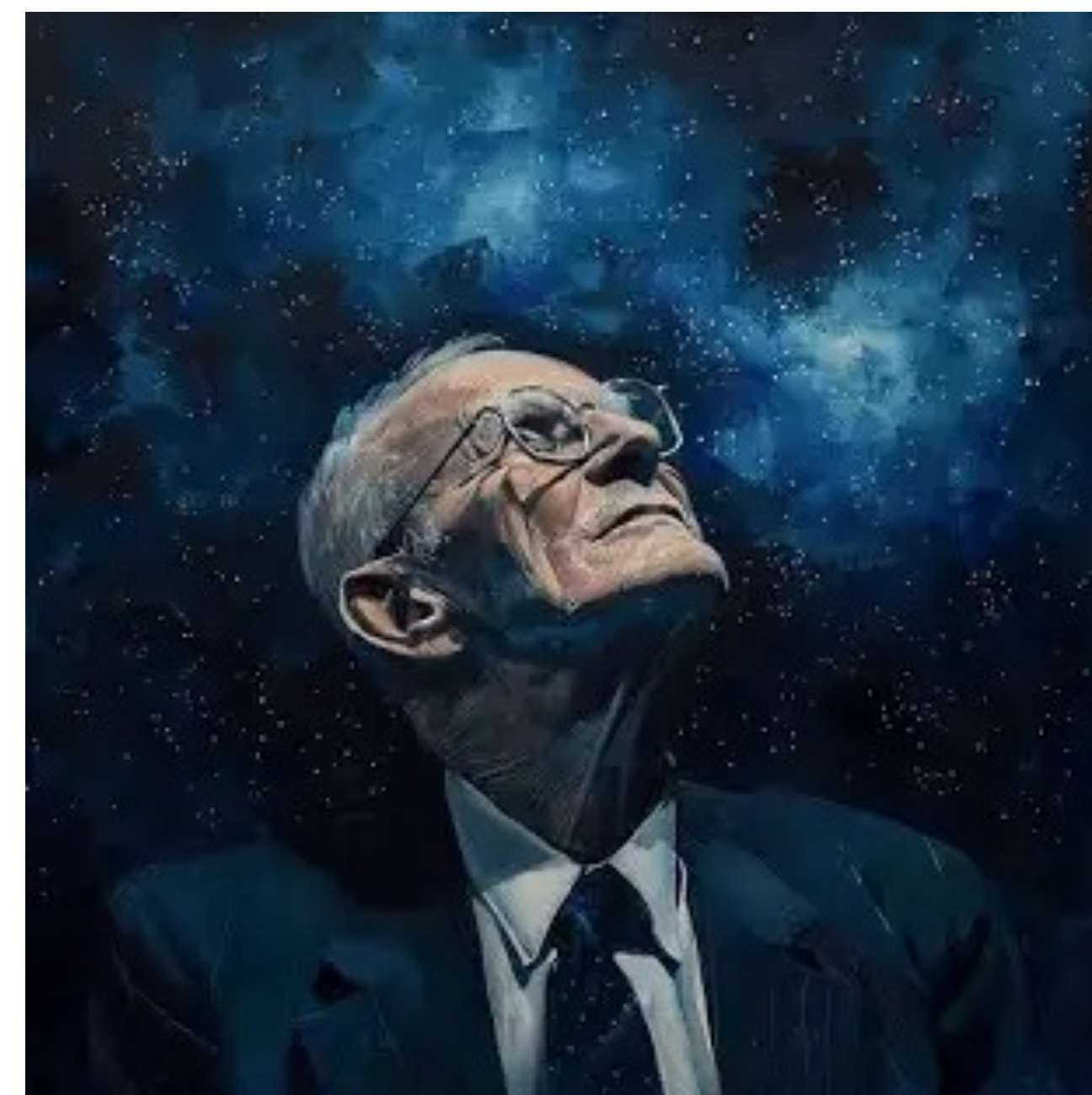
## МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ВАЛЮТА: МЕГАВАТТ-ЧАС



Томас Эдисон



Генри Форд



Артур Чарльз Кларк

Артур Чарльз Кларк предполагал, что к 2016 году мегаватт-час станет единой мировой валютой. Подобную идею об энергетичкой валюте выдвигали Томас Эдисон и Генри Форд

# Поиск новых источников энергии



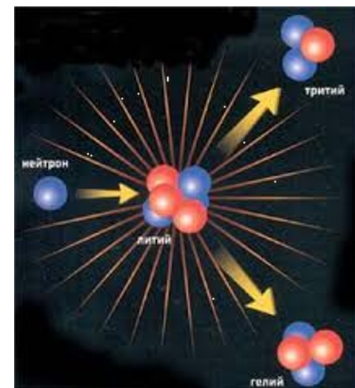
Энергия атома



Ветроэнергетика



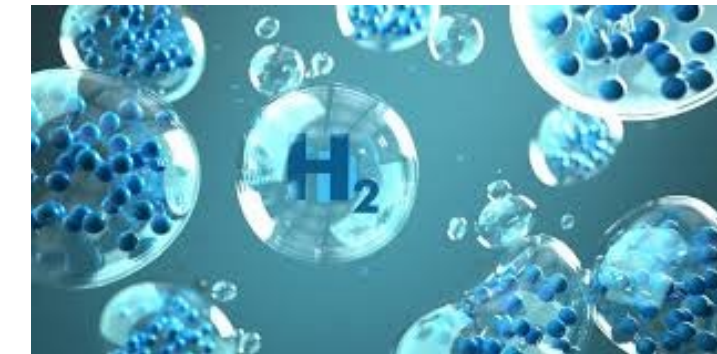
Энергия солнца



Мирный термояд



Биотопливо



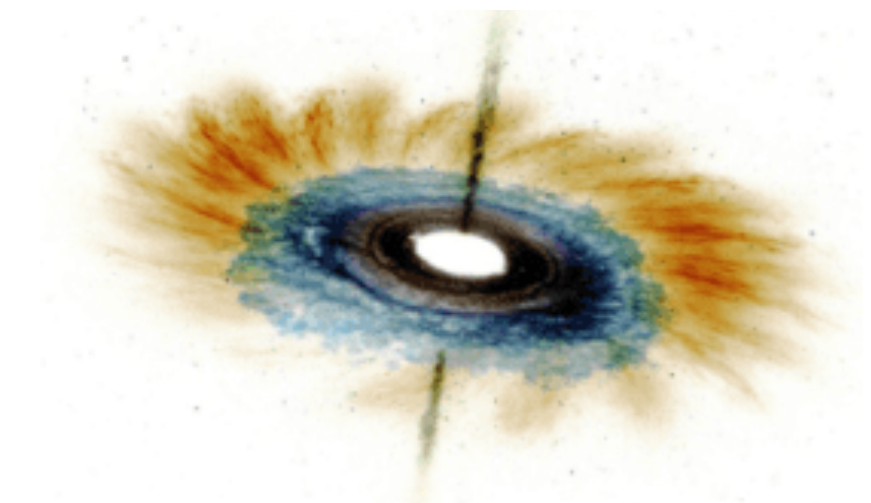
Водородная энергетика



«Человек-батарея»



Сфера Дайсона



Сингулярные (коллапсарные) реакторы

# Накопление и хранение энергии



☐ Конденсаторы – энергия электрического поля



☐ Катушки индуктивности – энергия магнитного поля



☐ Первичные гальванические элементы – химическая энергия -  
неперезаряжаемые

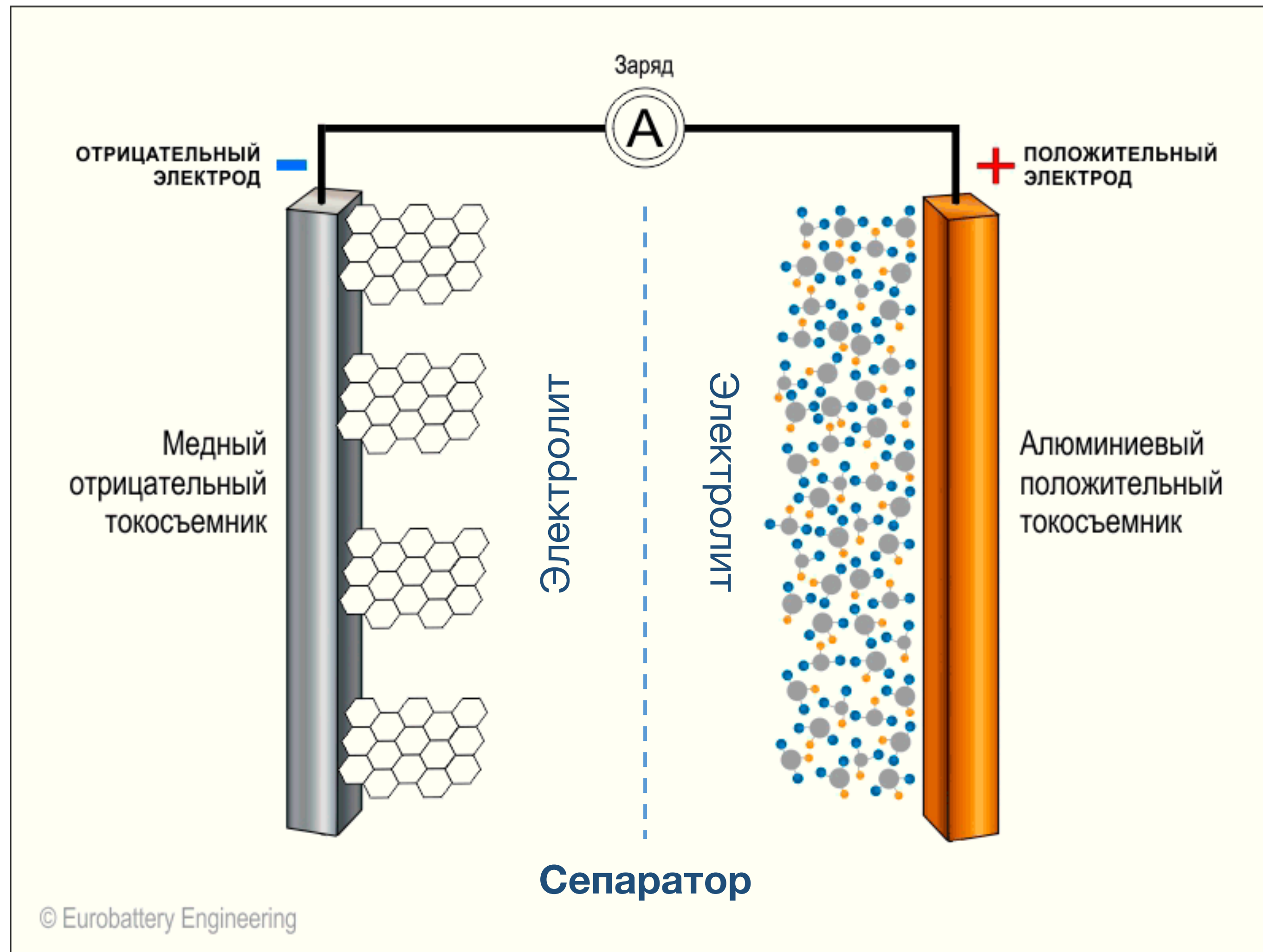


☒ Вторичные гальванические элементы – химическая энергия -  
перезаряжаемые

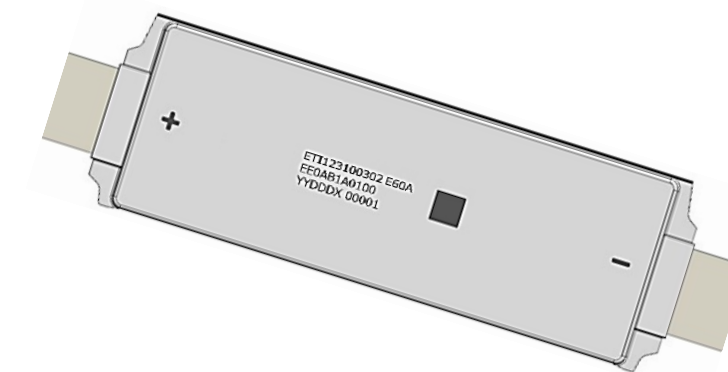
# Литий-ионные батареи



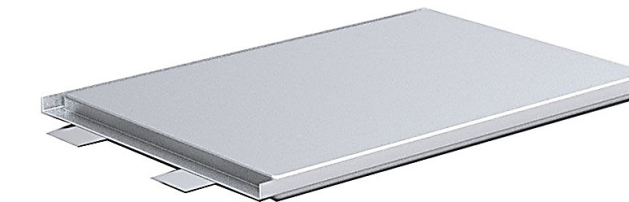
# Принцип работы литий-ионного аккумулятора (ЛИА)



Форм-факторы ячеек



Пакетные

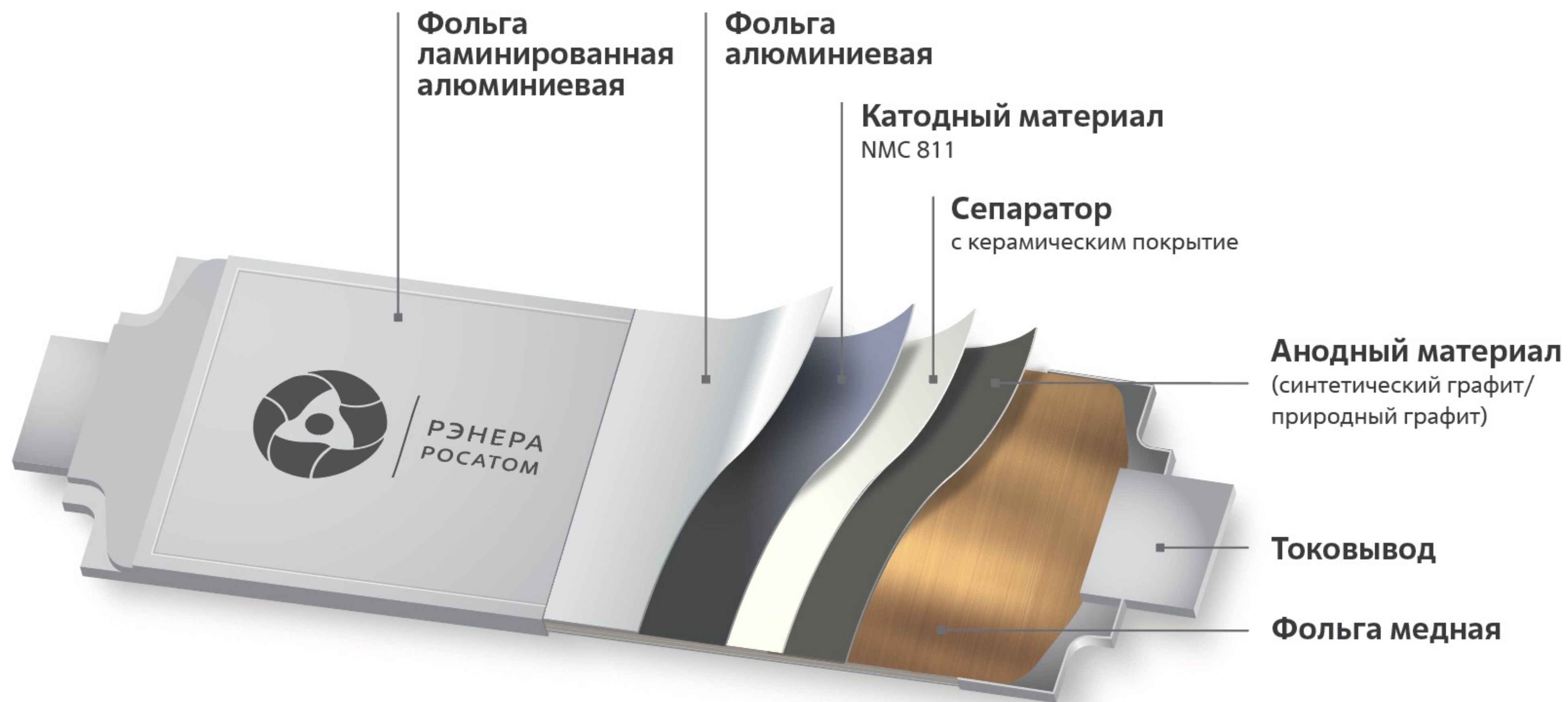


Призматические



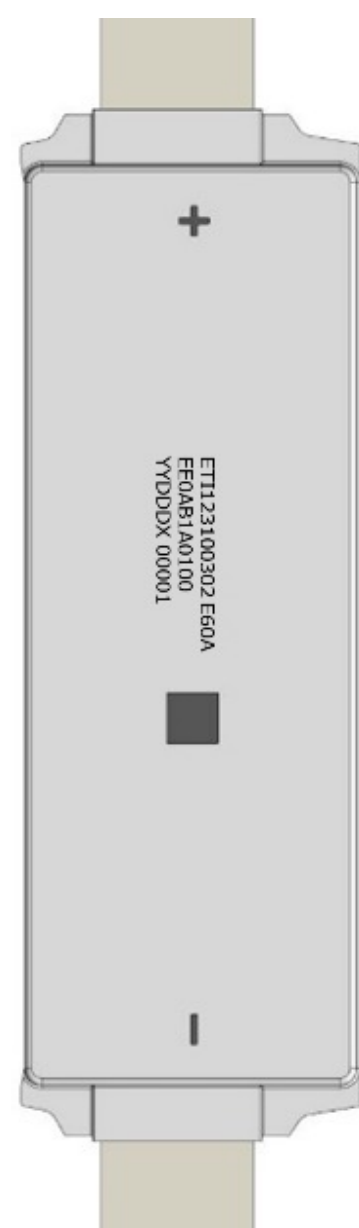
Цилиндрические

# Пакетная электрохимическая ячейка



# От ячейки до батареи

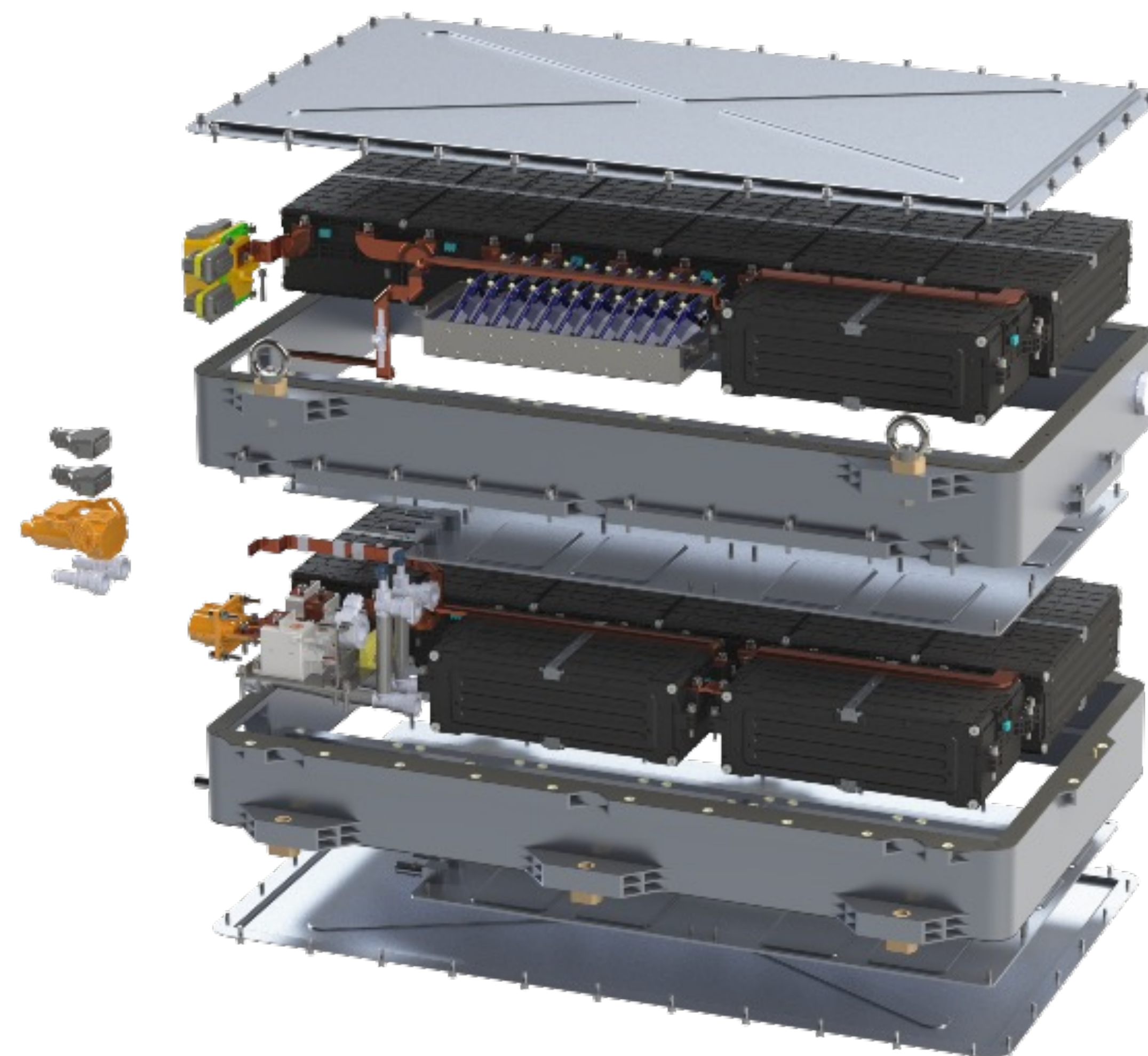
Ячейка (пауч)



Модуль



Батарея



# Типы батарей: NMC vs LFP



Характеристики NMC



Характеристики LFP

## NMC

### Преимущества

- Более высокая плотность энергии батареи, обеспечивающая большую емкость.
- Сбалансированная производительность по мощности и энергоемкости.
- Широко используются в электромобилях благодаря выгодному сочетанию характеристик.

### Недостатки

- Относительно меньший срок службы по сравнению с батареями LFP.
- Умеренный риск теплового срабатывания в экстремальных условиях.

## LFP

### Преимущества

- Превосходный профиль безопасности благодаря стабильному железופосфатному составу.
- Длительный срок службы при большом количестве циклов заряда-разряда.
- Минимальный риск теплового удара, что делает их пригодными для использования в критически важных системах безопасности.

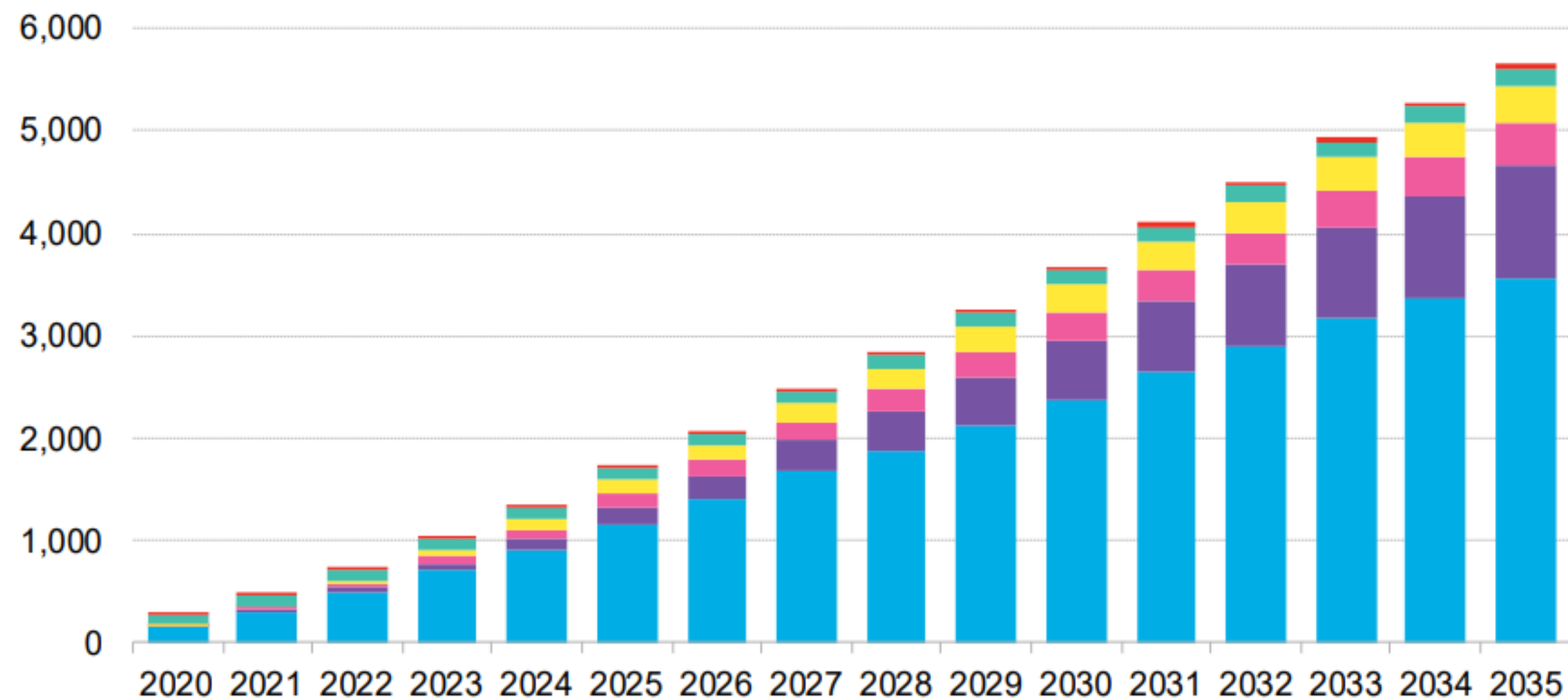
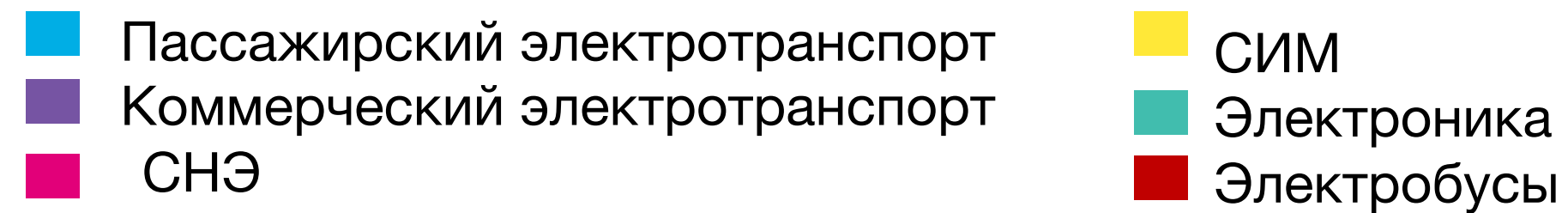
### Недостатки

- Более низкая плотность энергии по сравнению с некоторыми альтернативами.
- Немного тяжелее других литий-ионных аккумуляторов.

<https://ep-com.ru/about-company/articles/lithium-ion-technology-what-it-is/>

<https://www.huntkeyenergystorage.com/ru/lfp-vs-nmc-battery/>

# Динамика роста спроса на ЛИА на мировом рынке

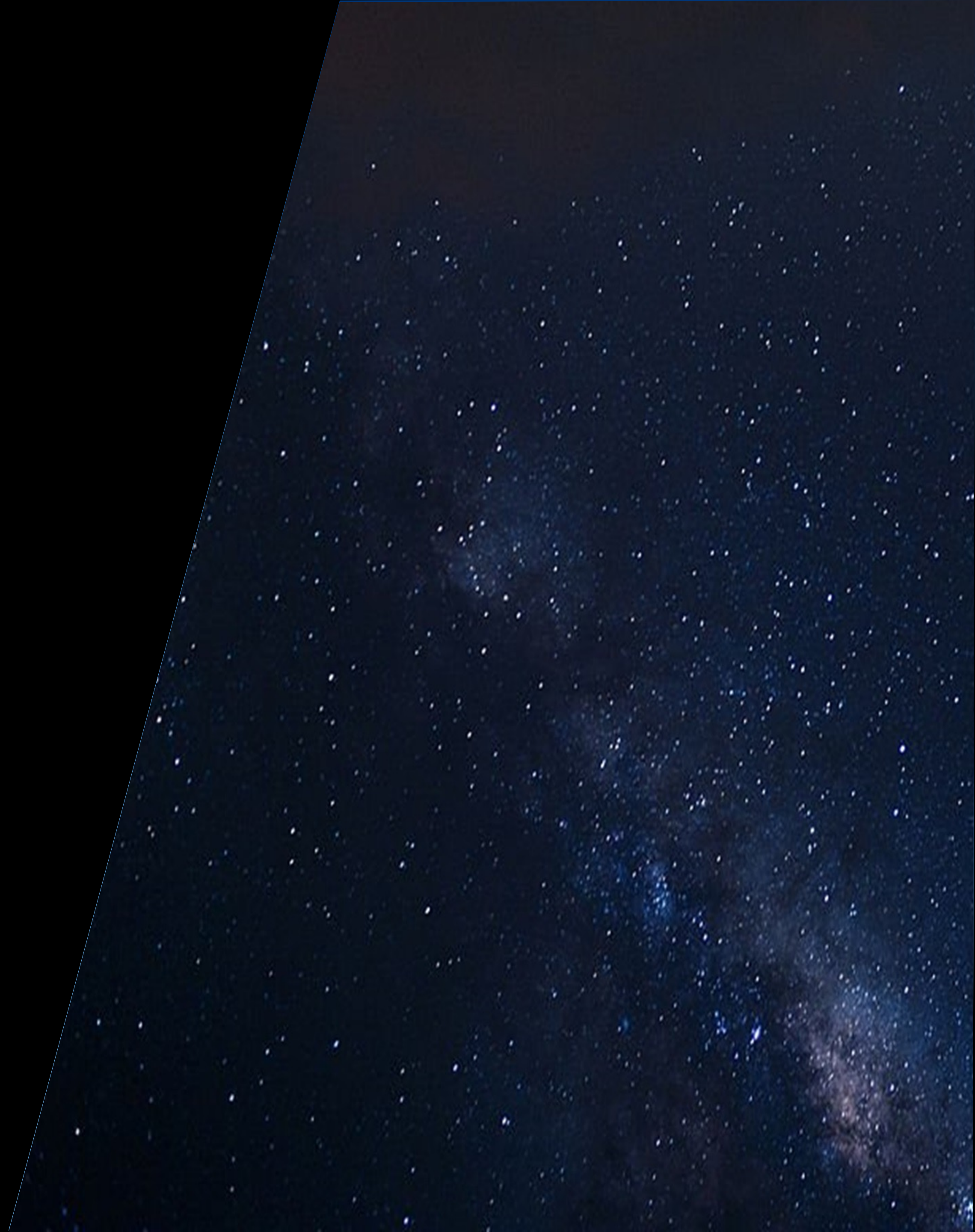


По данным Bloomberg к 2030 г. мировой рынок литий-ионных аккумуляторов увеличится до 3,7 ТВт\*ч, а к 2035 г. до 5,7 ТВт\*ч.

## Оценка 2024<sup>1</sup>



# Твердотельные технологии Будущая революция



# Твердотельные технологии: будущая революция

## All Solid-State Battery (ASSB)



### Преимущества твердотельных батарей

- ☐ увеличенная плотность хранения энергии
- ☐ меньшая масса
- ☐ более высокий ресурс
- ☐ способность быстрее принимать заряд (быстрая зарядка)
- ☐ более высокий уровень пожарной безопасности

### Задачи

- ☐ разработать почти с нуля технологии массового производства
- ☐ провести длительные и обширные испытания, позволяющие убедиться в их безопасности

# Технологические «вызовы» в производстве ТЛИА

1

## Материалы

- ✓ **Нестойкие материалы:** низкая электрохимическая стойкость и низкая устойчивость к воздействию воздушной среды материалов сульфидных электролитов;
- ✓ **Кремниевый анод** подвержен значительному разбуханию, в то время как литий-металлический анод еще не доработан.

2

## Совместимость

- ✓ **Низкая совместимость между материалами** электродов и электролитов, а именно, побочные реакции в месте контакта, механический контакт твердых поверхностей, изменения объема, требующие сжатия

3

## Электроды

- ✓ **Медленный ионный/электронный обмен** и механические ошибки ограничивают электрохимический потенциал батареи

4

## Ячейки

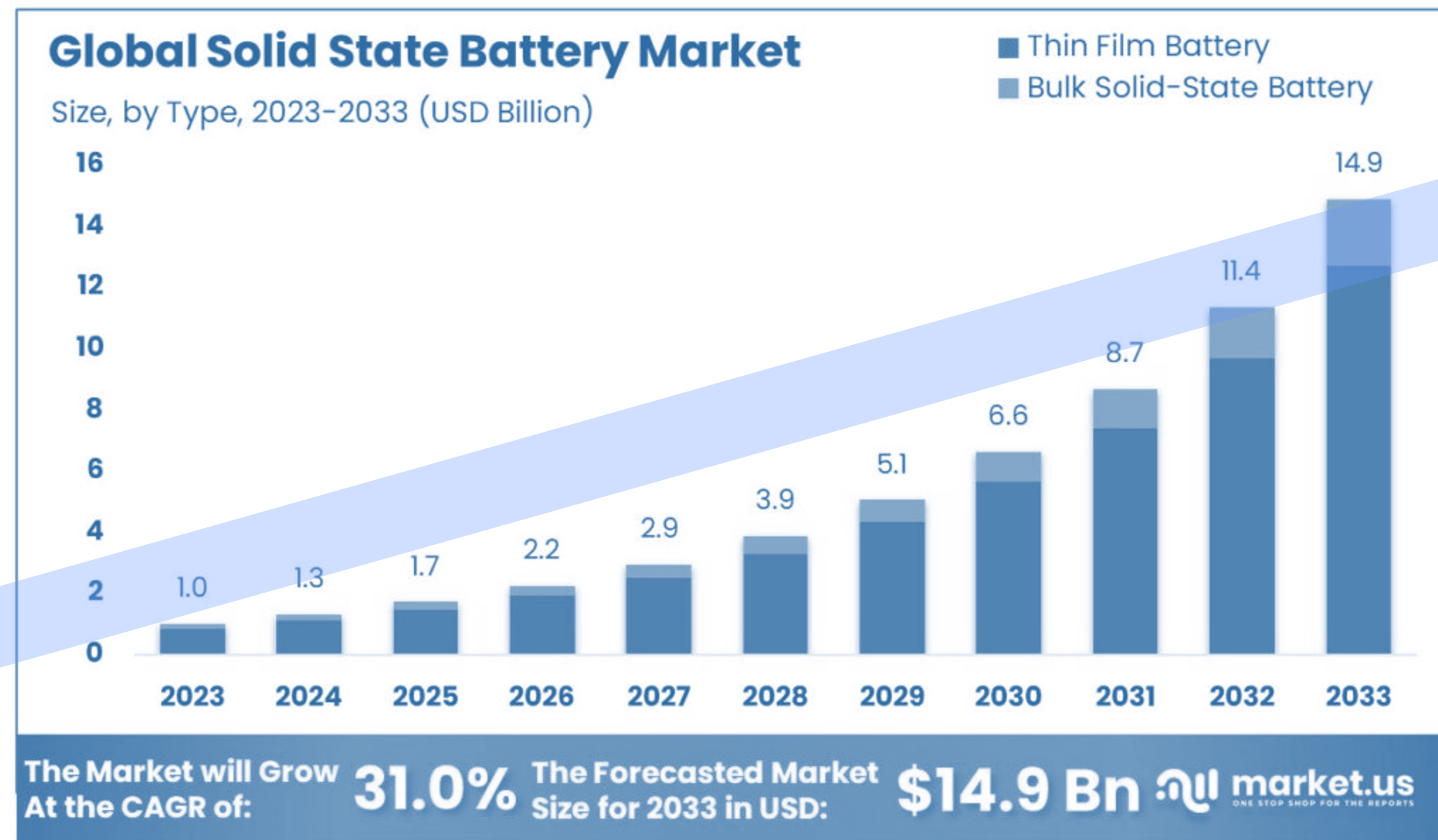
- ✓ **«Сырой» дизайн структуры ячеек** и недоработка процессов серийного производства;
- ✓ **Высокие затраты** на экологический контроль затрудняют масштабирование производства и уплотнение ячеек

Интересный факт: CATL уже **более десяти лет** занимается исследованиями и разработками в области твердотельных батарей и сформировала команду по исследованиям и разработкам твердотельных батарей и новых системных батарей, насчитывающую около **1000 человек**.

# Твердотельные технологии

Ожидается, что к 2033 году объем мирового **рынка твердотельных батарей** составит около **14,9 млрд долларов США** по сравнению с **1 млрд долларов США в 2023 году**, а среднегодовой темп роста составит **31,0%** в течение прогнозируемого периода с 2023 по 2033 год.

**\$1**  
млрд  
2023



**\$14,9**  
млрд  
2033

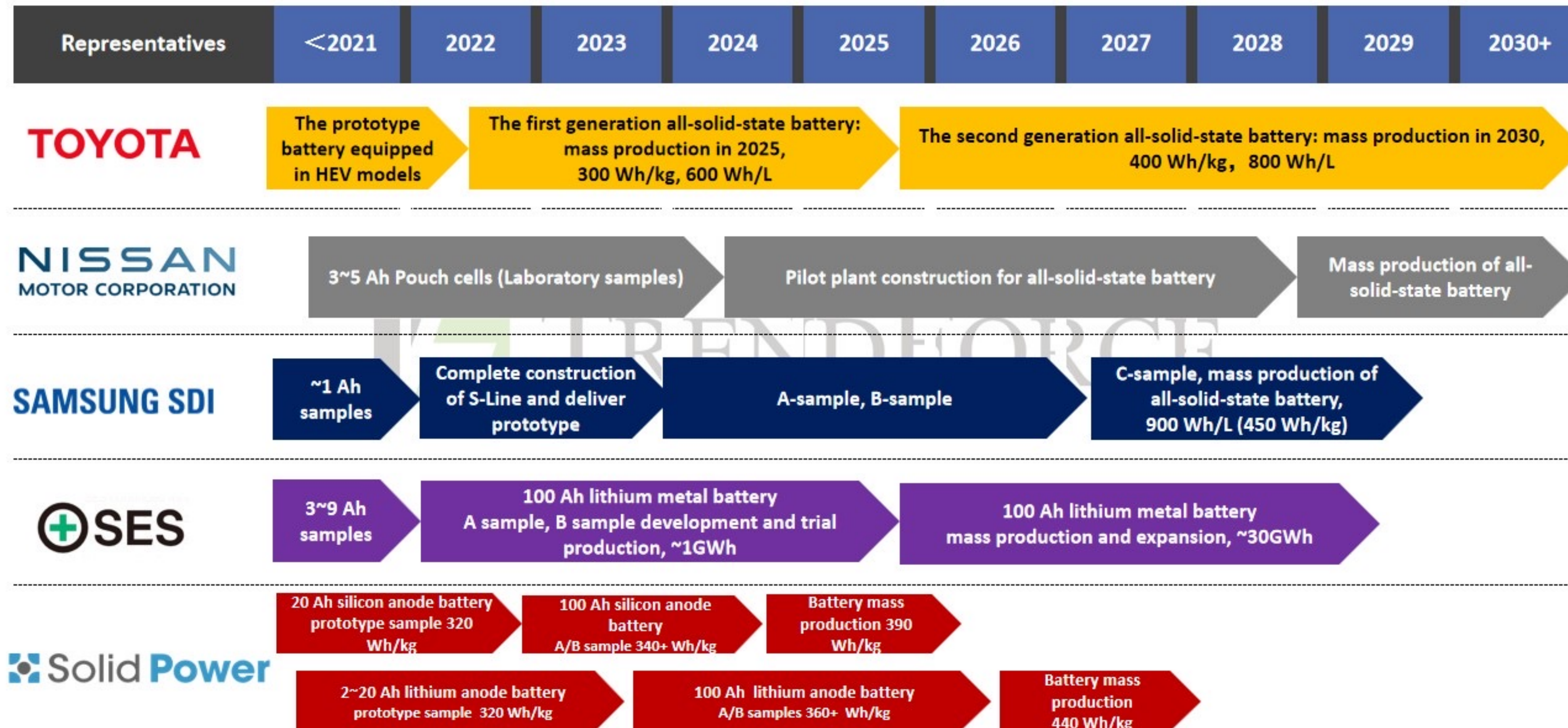
# Твердотельные технологии. Мировая гонка.

- ❑ ASSB можно разделить на четыре типа: **полимерные, оксидные, галогенидные и сульфидные** твердотельные батареи.
- ❑ **Япония** является одной из первых стран в области исследований и разработок, лидирует в применении патентов и аккумулирует большинство запатентованных технологий твердотельных аккумуляторов во всем мире. **Toyota** и **Nissan**, заявили о своем намерении наладить массовое производство ASSB примерно в 2028 году.
- ❑ В **Южной Корее** крупные производители аккумуляторов, такие как **Samsung SDI, SK Innovation** и **LG Energy Solutions**, инвестируют в разработки. Samsung SDI завершила строительство опытной производственной линии (S-line) для ASSB в 2023 году и планирует выйти на серийное производство в 2027 году.
- ❑ В **США** разработкой твердотельных аккумуляторов в основном занимаются стартапы. Такие компании, как **QuantumScape** и **Solid Power**, имеют опытные образцы.
- ❑ **Власти Китая** собираются вложить \$830 млн в разработку твердотельных тяговых батарей, поделив эти средства между шестью китайскими компаниями CATL, BYD, WeLion New Energy Technology, FAW, SAIC и Geely.
- ❑ В **России** **РОСАТОМ** и ряд организаций разрабатывают собственную твердотельную технологию. Получены первые экспериментальные образцы.

В целом, период около 2028 года, как ожидается, станет переломным моментом для массового производства ASSB.

## Tipping Point of Mass Production of All-Solid-State Battery May Fall on Around 2028

TRENDFORCE



# Эволюция технологий

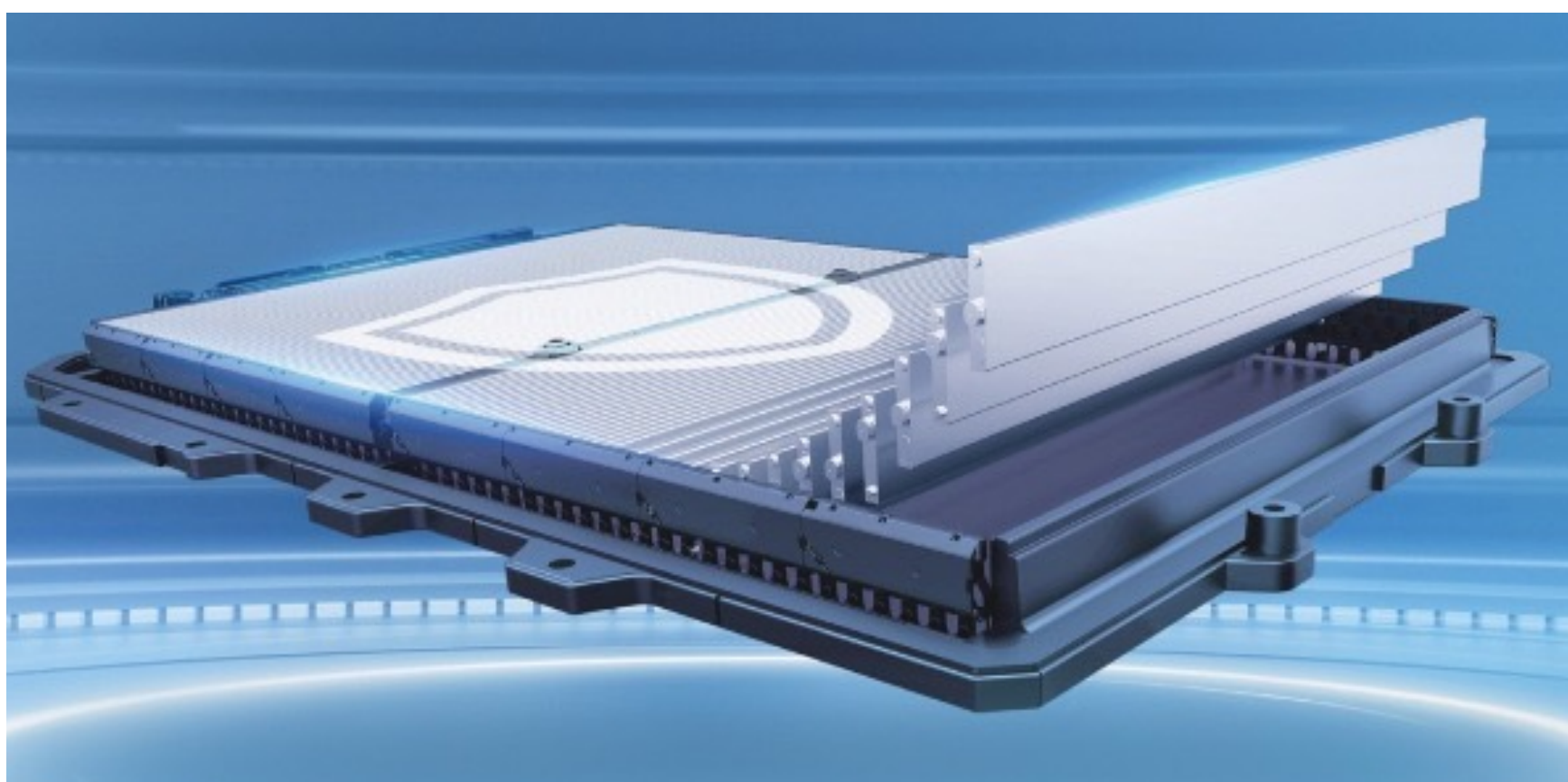


# Химическая эволюция - эволюция в материалах

|                      |            | 2010                              | 2016               | 2018                                                  | 2021         | 2022                     | 2023 | 2024                      | 2028 - 2035 |
|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------|-------------|
| МИРОВАЯ<br>ТЕНДЕНЦИЯ | КАТОД      | NCM 111                           | NCM 523-622        | NCM 622-811                                           |              | Высокоэнергетический NMC |      | Твердотельный аккумулятор |             |
|                      | АНОД       | Углерод                           | Углерод + Si (<5%) |                                                       | Углерод + Si |                          |      | Li                        |             |
|                      | ЭЛЕКТРОЛИТ | LiPF6 + органические растворители |                    | Гель-полимерный электролит, высоковольтный электролит |              |                          |      | Твердый электролит        |             |

## Эволюция инженерных решений

### Концепция безмодульных накопителей электроэнергии Cell-to-Pack



Аккумуляторы **Cell-to-Pack (CTP)** — это новый тип технологии аккумуляторов, который устраняет необходимость в модулях аккумуляторов, интегрируя ячейки непосредственно в батарею.

Росатом наравне с мировыми лидерами уже разрабатывает эту технологию.

# Области применения новых материалов в энергетике будущего

## Атомная отрасль: материалы для новых поколений реакторов



- ❑ новые стали
- ❑ никелевые и молибденовые сплавы
- ❑ керамические системы на базе карбида кремния
- ❑ высокопрочное углеволокно
- ❑ высокоэнергетические магниты из принципиально новых сплавов редкоземельных элементов

Перспектива применения за пределами атомной отрасли от машиностроения до авиации, космоса и термоядерного синтеза



## Цифровое материаловедение: инструменты для проектирования перспективных материалов

Разработка и внедрение новых материалов для атомной отрасли может занимать не одно десятилетие из-за **высочайших требований** к их надежности и безопасности.

Поэтому особое значение в Росатоме придают созданию инфраструктуры для **ускоренной разработки новых материалов**.

Важнейшее направление таких работ — разработка инструментов **цифрового материаловедения** — большой пул различных программ для мультимасштабного моделирования и предсказания свойств перспективных материалов.

В настоящее время **АО «Оператор ТМиК»** формирует широчайшую **базу данных о материалах** и их свойствах. Наша платформа активно пополняется промышленными данными о материалах, технологиях и конструкциях.

# Цифровая платформа ТМиК: как это работает

## 1. Поиск материалов, технологий и конструкций по их характеристикам:

- Классификация продукции (единый кодификатор предметов снабжения (ЕКПС), СФО)
- Статические характеристики
- Динамические характеристики
- Программы и методики испытаний
- Результаты испытаний
- Технология получения
- Требованиям и стандарты по которым разрабатывался материал.
- Производители
- Исходные компоненты («родословная»)
- Реферативные данных о РИД
- Цифровые модели, паспорта и сертификаты
- Инструкции к расчету свойств
- Уровень готовности технологии (УГТ/TRL)
- Применяемость в конкретных изделиях



## 2. Интеграция с экосистемой цифровых платформ цифрового материаловедения.

## 3. Автоматизация получения требуемых достоверных данных в специализированном ПО (CAD/CAM/CAE/PDM/PLM и др.)

# Группы пользователей платформы ТМик

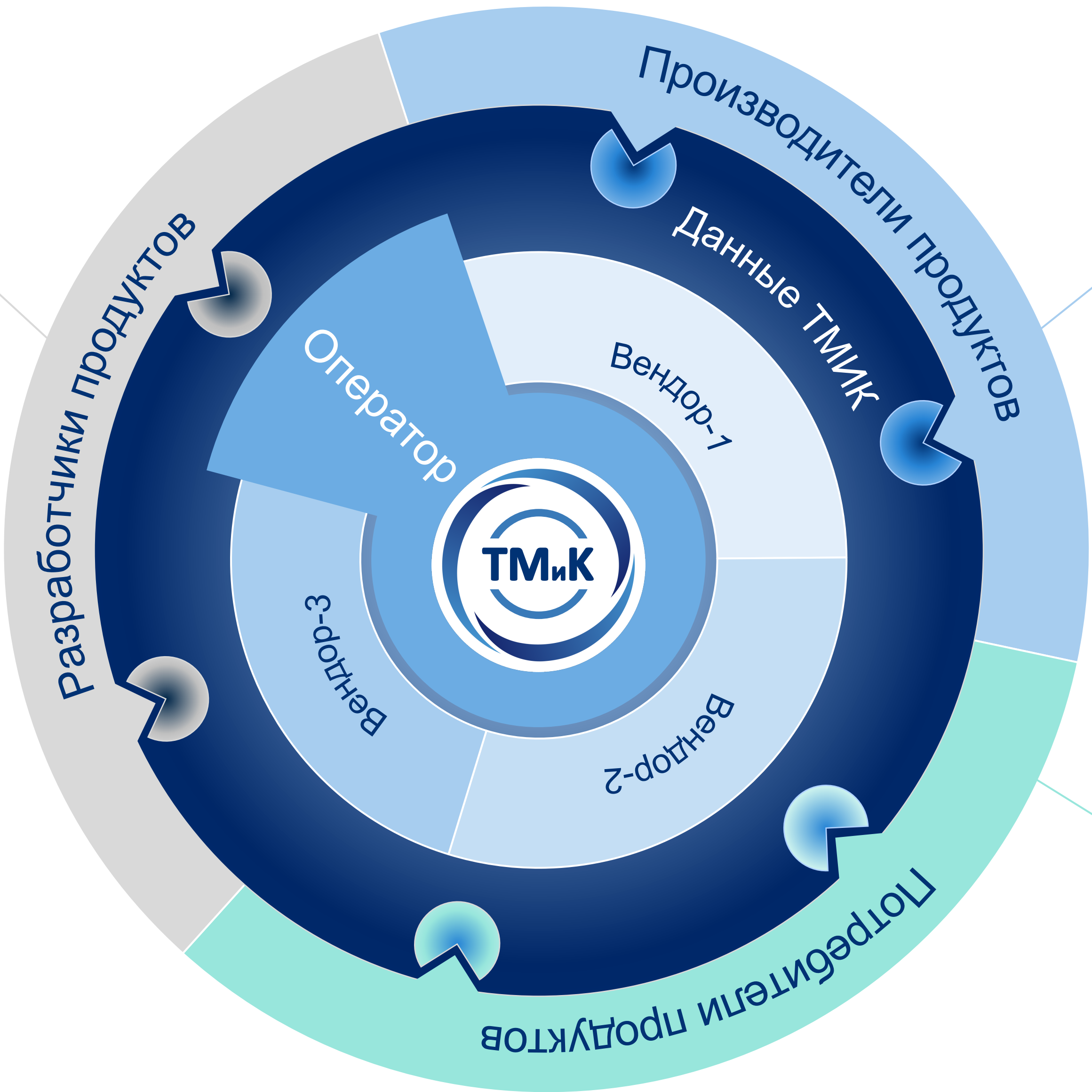


## Разработчики продуктов

- Конструктор
- Расчетчик
- Проектировщик
- Технолог
- Руководитель проекта

## Другие клиенты платформы,

которые будут появляться в процессе формирования портфеля продуктов и продуктовой экосистемы



## Производители продуктов

- Директор по производству
- Закупщики/логисты
- Служба качества
- Сбыт, продажи, маркетинг

## Потребители продуктов

- Расширение бизнеса
- Инжиниринг
- Строительство
- Администрирование проектов
- и др.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
СИМПОЗИУМ  
«СОЗДАВАЯ БУДУЩЕЕ»

СПАСИБО

