

Литиевые аккумуляторы

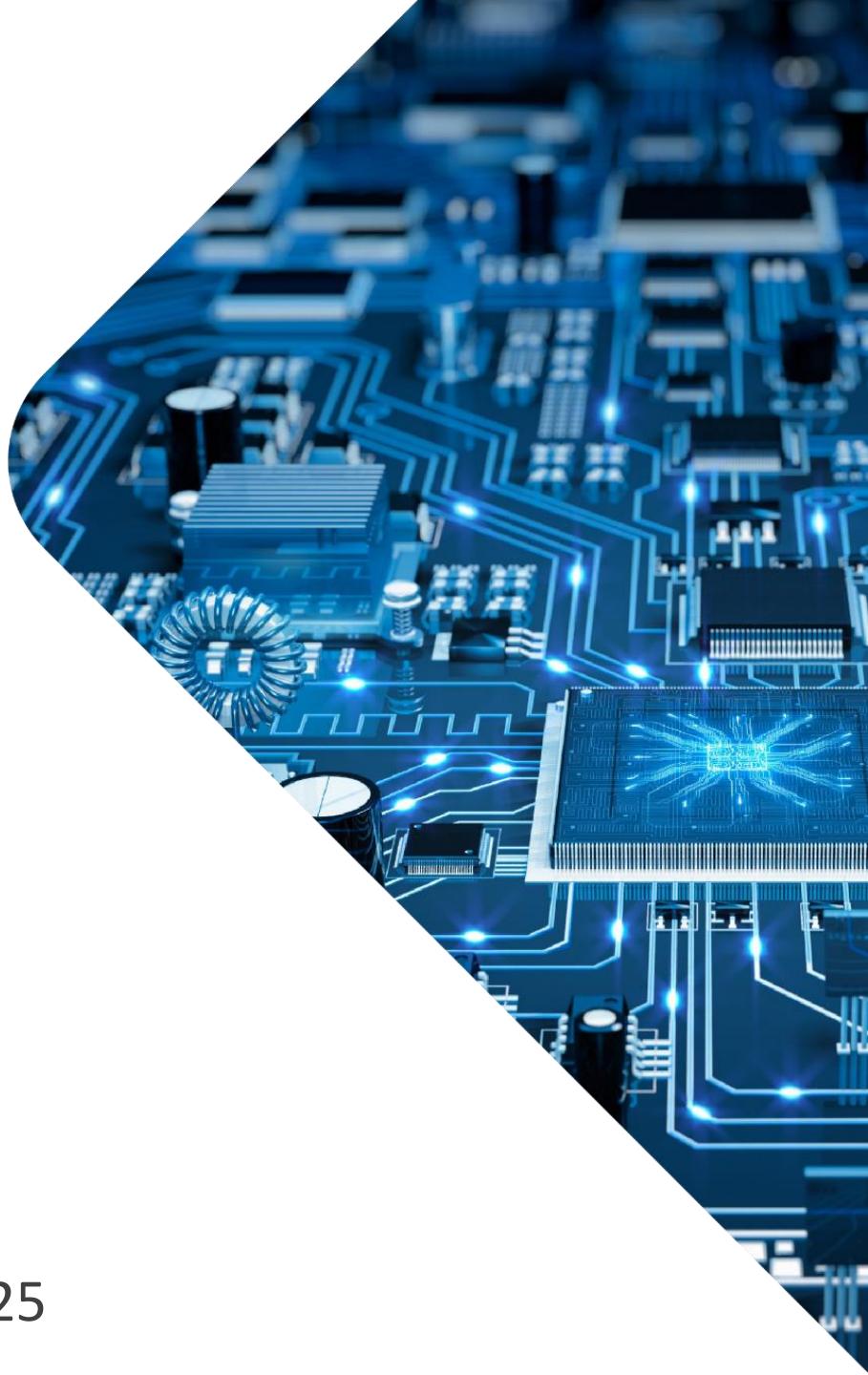
Как выбрать оптимальное решение для вашего проекта?



Миронов Сергей

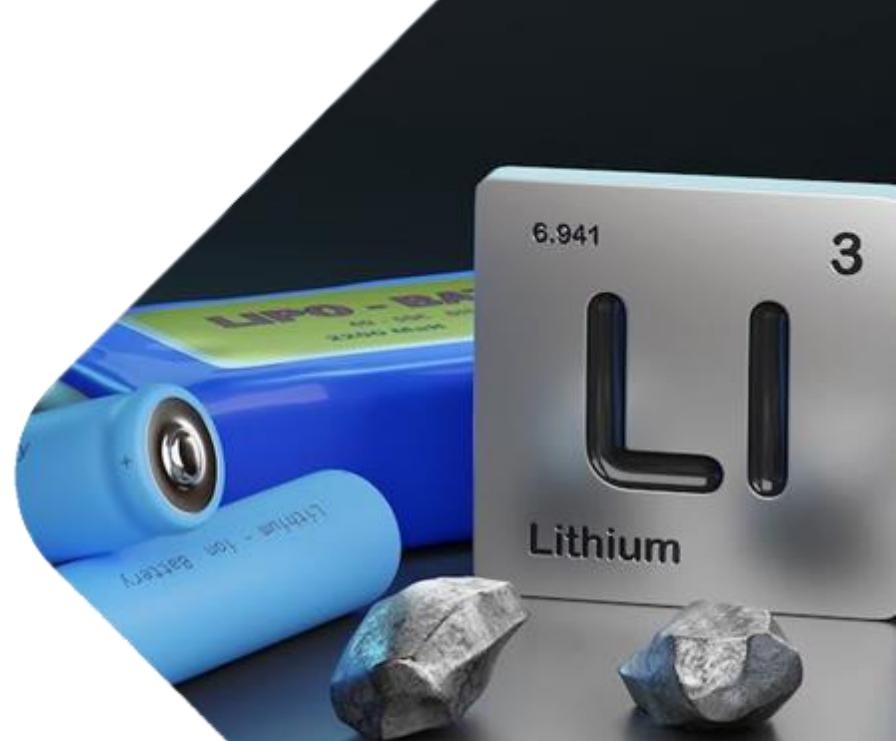
Инженер по модульным ИП и ХИТ

07.10.2025

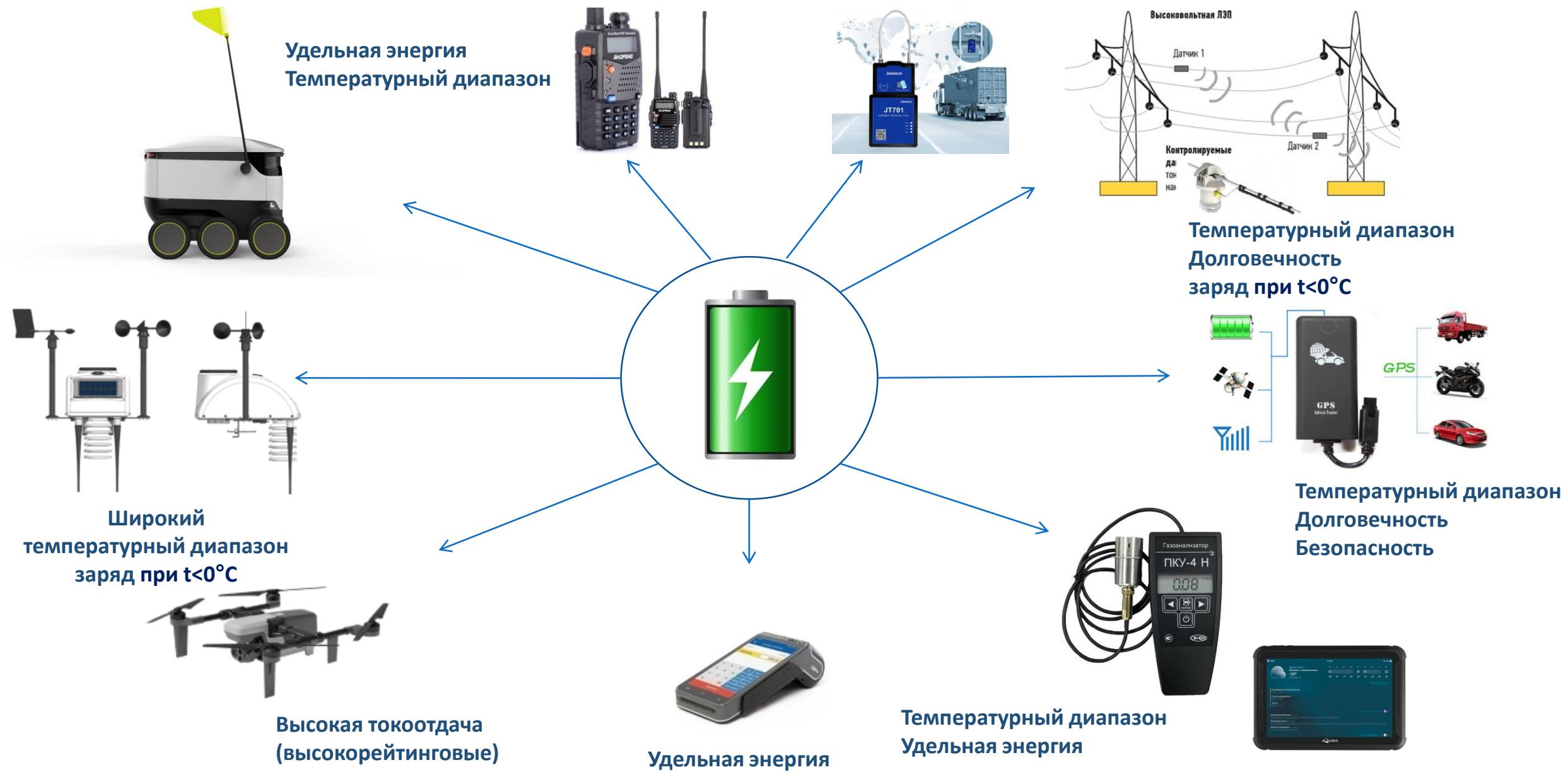


Программа вебинара

- Основные параметры литиевых аккумуляторов
- Критерии выбора аккумулятора
- Разновидности литиевых аккумуляторов
- Рекомендованные производители и их продукция
- Выбор аккумуляторов для устройства
- Особенности хранения
- Нюансы работы с литиевыми аккумуляторами
- Как избежать нештатных ситуаций?



Литиевые аккумуляторы среди нас



Особенности литиевых аккумуляторов

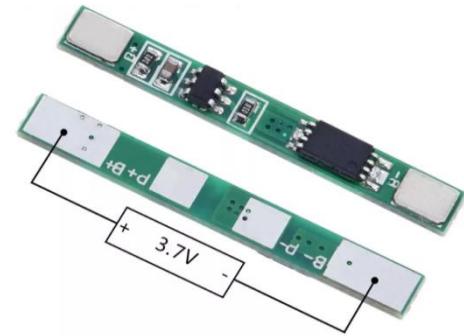


- относительно высокое напряжение*: 2,3/3,2/3,7 В (в зависимости от химии)
- повышенная плотность энергии (в сравнении с Pb/Ni-Mh/Ni-Cd)
- отсутствие “эффект памяти” (в сравнении с Ni-Cd/Ni-Mh)
- низкий саморазряд (до 3% в месяц при НУ хранения)
- высокая скорость разряда/заряда*
- широкий температурный диапазон эксплуатации*



- Стоимость
- Склонны к перезаряду:

необходимость использования системы управления (BMS) или платы защиты

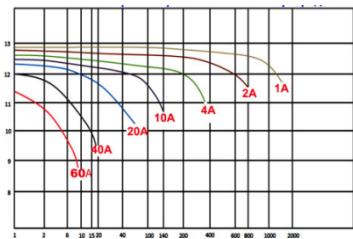


* - специальные разновидности

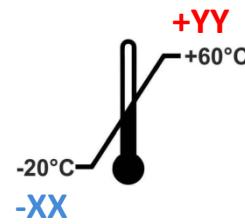
Основные критерии выбора



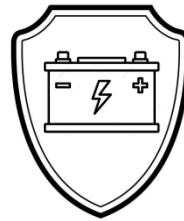
Ток разряда
(кратность в “С”)



Энергия/
(ёмкость/напряжение)



Безопасность



Температурный
диапазон

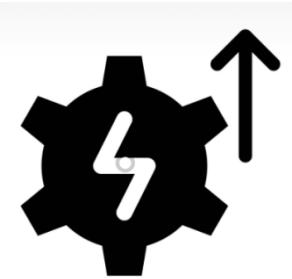


Форм-фактор

Количество циклов
(долговечность)

Основные тенденции развития аккумуляторов

Снижение веса



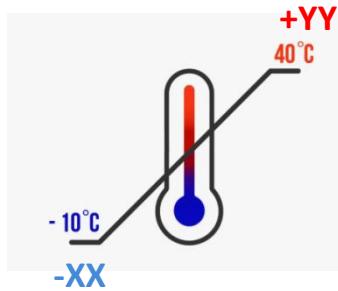
Увеличение срока хранения



Повышение безопасности



Увеличение плотности энергии



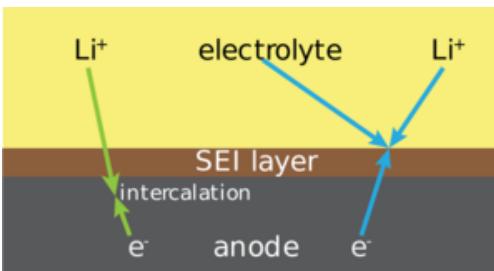
Расширение температурного диапазона

Увеличение срока службы

Легче, меньше, дольше!

Какой тип химии выбрать?

| Параметр | Литий-ионные (Li-Ion) | | | Литий-полимерные | Литий-железофосфатные | Литий-титанатные |
|------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | ICR (кобальтовые) | INR (никель-марганцевые) | IMR (марганцевые) | Li-Pol | LiFePO ₄ | LTO |
| Конструктив (основной) | цилиндрический | | | паучи | цилиндрический/призматический | |
| Напряжение разряда, В | 3.6–3.7 | | | 3.7 В | 3.2 В | 2.4 В |
| Удельная объёмная энергия (Вт·ч/л) | 220-300 | 250-350 | 200-280 | 200-350 | 190-250 | 80-130 |
| Максимальный ток разряда, тип. | 1–2C | 3–5C / 10C | 5–10C / 15–20C | 3–5C / 30C (высокорейт.) | 5–10C / 25–30C | 10–20C / 30–100C |
| Максимальный ток заряда, тип. | 1C | 1C / до 2–3C | 1C / 3–4C | 0.5–1C / 3–5C (высокорейт.) | 1C / 3–5C (высокорейт.) | 5–10C / 20–50C |
| Температура разряда, °C | –20 ... +60 | –20 ... +60 –40 ... +75 | –20 ... +60 | –20 ... +60 –40 ... +60 –20 ... +70 | –20/30 ... +60 | –40 ... +60 |
| Температура заряда, °C | 0 ... +45 | 0 ... +45 | 0 ... +45 | 0 ... +45 | –10 ... +55 | –30 ... +60 |
| Количество циклов (до 80% ёмкости), тип. | 500–800 | 1000–1500 | 500–1000 | 300–800 | 2000–5000 | 10 000–20 000 |
| Безопасность | Низкая | Средняя | Высокая | Средняя | Очень высокая | Высочайшая |
| Популярность / Доступность | Высокая | Высокая | Высокая | Очень высокая | Растёт | Низкая |



Почему именно +60°C?

SEI – твёрдый электролитный интерфейс/плёнка, образованная на поверхности анода в процессе формовки (препятствует разложению электролита (переносу электронов) и обеспечивает стабильный транспорт ионов лития)

Ионный проводник и электрический изолятор в одном флаконе. Важная составляющая Li-Ion аккумулятора!
при +70°C разрушается!

Нет идеального аккумулятора. Для каждого применения есть своя оптимальная химия

Не все аккумуляторы одинаково полезны

Существующие разновидности литий-ионных/полимерных аккумуляторов

| | Температурный диапазон (разряд) | Ток разряда | Напряжение (заряда) |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Стандартные | -20°C ... +60°C | До 2C/3C | 4,2 В |
| Низкотемпературные | -40°C ...+60 | До 2C (5C) | 4,2 В |
| Высокотемпературные | -20/-10°C ... +70/90°C | До 2C | 4,2 В |
| С расширенным диапазоном | -30°C ... +70°C | До 5C | 4,2 В |
| Высокорейтинговые | -20/-30...+55/60°C | 5C, 10C, 15C, 20C и выше | 4,2 В |
| Высоковольтные (Li-HV) | -20°C ... +60°C | 1C-2C | 4,35-4,45 В |

Li-HV (Li-Ion-High Voltage; разновидность Li-Ion) - высоковольтные.

Для циклического режима работы.

На первых 100-200 циклах имеют улучшенные показатели энергии до +10-15%

Рекомендованные производители и спектр продукции

EVE Energy

EEMB[®]
EEMB BATTERY

BPI[®] 倍特力

CHANGHONG 长虹
Jiangsu Sunpower Co.,Ltd.

MOLICEL[®]

| Тип химии | Конструктив | Группа | EVE | EEMB | BPI | SUNPOWER_J | MOLICEL |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Li-Po | Призматические (паучи) | Стандартные | | | | | |
| | | Низкотемпературные/с расширенным диапазоном | | -40°C (до 80%) | -40°C (до 80%) -30...+70C | | |
| | | Высокотемпературные | | -20...+70°C | -20...+90°C | -20...+75°C | |
| | | Высокорейтинговые | | 5C/10C/15C/20C | 5C/10C/15C | | |
| | | Повышенной ёмкости | | +15...20% ★ | | | |
| Li-Ion | Цилиндрические (18650/21700) | Высоковольтные | 4,35 В | 4,35 В ★ | 4,45 В | | |
| | | Стандартные | | | | | |
| | | Низкотемпературные/с расширенным диапазоном | PLM -40...85°C | | | -40...75 (80...85%) | -40...60°C (70...80%) |
| | | Высокорейтинговые | 10C/15C/20C | 5C/10C | | До 10C/15C | До 10C |
| | | таблеточные | Стандартные | LIRxxxx | | | |
| LiFePO ₄ | цилиндрические | Повышенной ёмкости | | LIRxxxxH (+50%) | | | |
| | Призматические (паучи) | Стандартные | Ёмкие системы хранения | Замена свинцовых | | | |
| | | | Склад по 18650/21700 | Широкий выбор Цена на паучи | Есть Ni-MH Склад 18650 | Оптимально для экстрема | Premium-класс Экстрим |

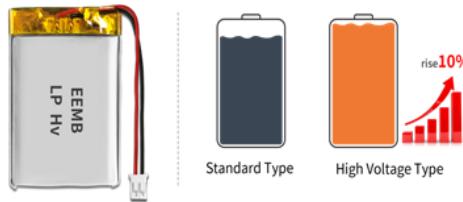
ЕЕМВ: литий-полимерные. Новинки

Низкотемпературные (-40°C ... +60°C)

LPxxxxxxLC



- Эффективность до 80% при -40°C
- Возможен заряд при -20°C



Высоковольтные (+10%)

LPxxxxxxHV

- Напряжение заряда 4,35 В
- Увеличенная плотность энергии

| | Standard Type LP743870 | High Capacity Type LP743870 |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Charge cut-off voltage | 4.2±0.05V | 4.2±0.05V |
| Discharge cut-off voltage | 2.75V | 2.75V |
| Capacity released | 2520mAh | 3000mAh |

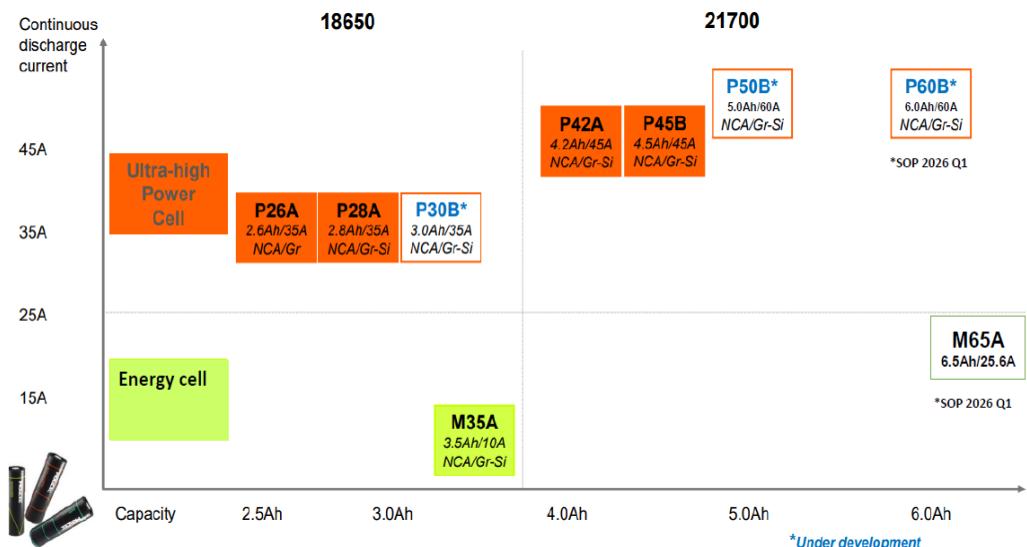
Control Models Smartphones IoT device Medical device

- пористые электроды
- оптимизированный состав электролита
- уменьшено “мёртвое” пространство
- нанокомпозиты вместо графита

С увеличенной плотностью энергии (+15...20%)

- Стандартное напряжение заряда **4,2 В**
- >800 циклов (при 0,2C до 80% ёмкости)
- Плотность энергии **>350 Вт*ч/кг**
- Стоимость одного цикла ниже на 12%

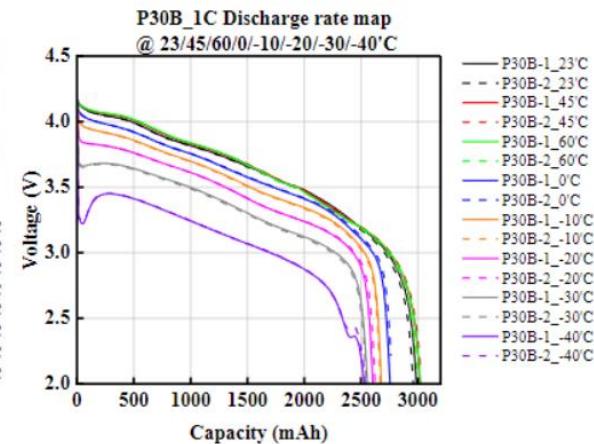
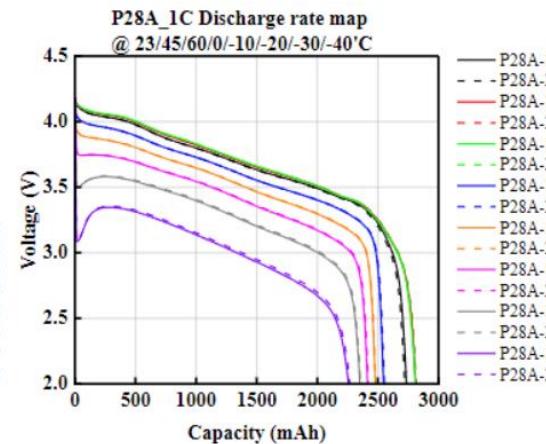
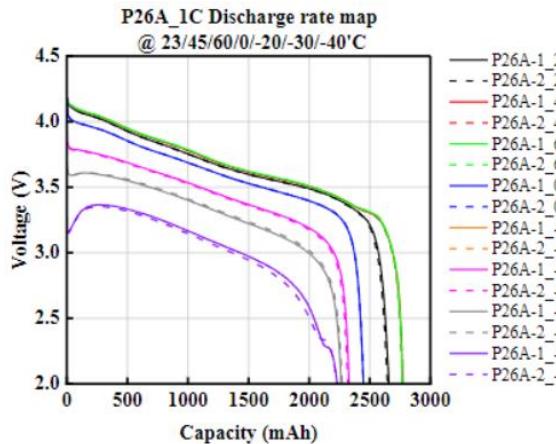
Molicel: низкотемпературные и высокорейтинговые 2-в-1



Низкотемпературные высокорейтинговые (-40°C ... +60°C)

| Наименование | Ёмкость, мАч | Ток разряда, А | Ток заряда |
|----------------|--------------|----------------|------------|
| INR-18650-P26A | 2600 | 35 | 2C |
| INR-18650-P28A | 3800 | 35 | 2C |
| INR-18650-P30B | 3000 | 36 | 3C |
| INR-21700-P45B | 4500 | 45 | 3C |
| INR-21700-P42A | 4200 | 45 | 2C |

>70...80% ёмкости при -40°C и токе 1C



MOLICEL®

SUNPOWERJ: высокорейтинговые в широком диапазоне



Типоразмеры: 18650/21700/26700

Высокорейтинговые (разряд >5C)

| Наименование | Ёмкость, мАч | Ток разряда непр./имп. (2 сек.), А | Температурный диапазон, °С |
|-----------------|--------------|------------------------------------|----------------------------|
| INR18650-1500 | 1500 | 20/50 | -20 ... +60 |
| INR18650-3200 | 3200 | 20/50 | -20 ... +60 |
| INR18650-3500 | 3500 | 20/50 | -20 ... +60 |
| INR21700-5000SE | 5000 | 35/90 | -20 ... +60 |
| INR21700-5500 | 5000 | 30/70 | -20 ... +60 |
| INR18650-2000 | 2000 | 20/50 | -20 ... +75 |
| INR18650-2200 | 2200 | 20/40 | -20 ... +75 |
| INR18650-2500 | 2500 | 30/50 | -20 ... +75 |
| INR18650-2600 | 2600 | 20/50 | -20 ... +75 |
| INR18650-3000 | 3000 | 30/50 | -20 ... +75 |
| INR21700-3000 | 3000 | 40/80 | -20 ... +75 |
| INR21700-4000 | 4000 | 50/80 | -20 ... +75 |
| INR21700-4000Y | 4000 | 70/100 | -20 ... +75 |

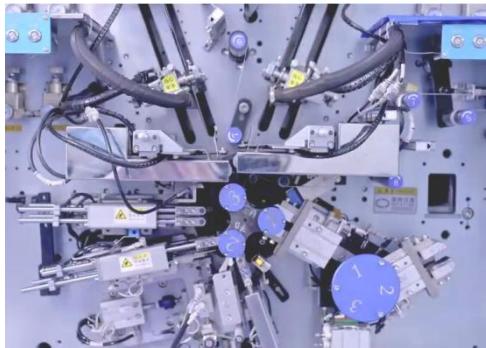
Низкотемпературные (-40°С ... +75°С)
>(80...85)% ёмкости при -40°С и токе 0,2C

| Наименование | Ёмкость, мАч | Ток разряда непр./имп. (2 сек.), А |
|----------------|--------------|------------------------------------|
| INR18650-2500L | 2500 | 20/30 |
| INR18650-3000L | 3000 | 10/30 |
| INR21700-4000L | 4000 | 40/80 |

Железо-фосфатные LiFePO₄ (-20°С ... +60°С)

| Наименование | Ёмкость, мАч | Ток разряда непрерывный |
|---------------|--------------|-------------------------|
| IFR18650-2000 | 2000 | 3C |
| IFR26700-4300 | 4300 | 3C |
| IFR26700-4500 | 4500 | 3C |
| IFR26700-5000 | 5000 | 2C |

BPI: литий-полимерные



Стандартные

Высоковольтные

Высокотемпературные

Низкотемпературные

Высокорейтинговые

Широкодиапазонные

Рабочее напряжение
2,5-4,2 В

Температура
-20...+60С

Разрядный ток
2C

Рабочее напряжение
2,5-4,45 В

Температура
-20...+60С

Разрядный ток
1C

Рабочее напряжение
2,5-4,2 В

Температура
-10...+90С

Разрядный ток
2C

Рабочее напряжение
2,5-4,2 В

Температура
-40...+50С

Разрядный ток
5C

Рабочее напряжение
2,5-4,2 В

Температура
-30...+55С

Разрядный ток
15C

Рабочее напряжение
2,5-4,2 В

Температура
-30...+70С

Разрядный ток
5C

- Хранение при температуре 105°C/24 часа без образования газа.
- Хранение при температуре 80°C/28 дней с потерей емкости до 10%.
- Циклирование при +60°C после 500 циклов ёмкость 80%
- Широко используется в базовых станциях, автомобильных видеорегистраторах и т. д.



- Ёмкость до 92% при -40°C.
- Поддерживают зарядку током 0,2C при -10°C.
- Широко используется в электронных устройствах наружного исполнения



Серийная продукция EVE

Цилиндрические:

- литий-кобальтовые (ICR)
- литий-никель-марганец-кобальтат (INR)



Температурный диапазон:

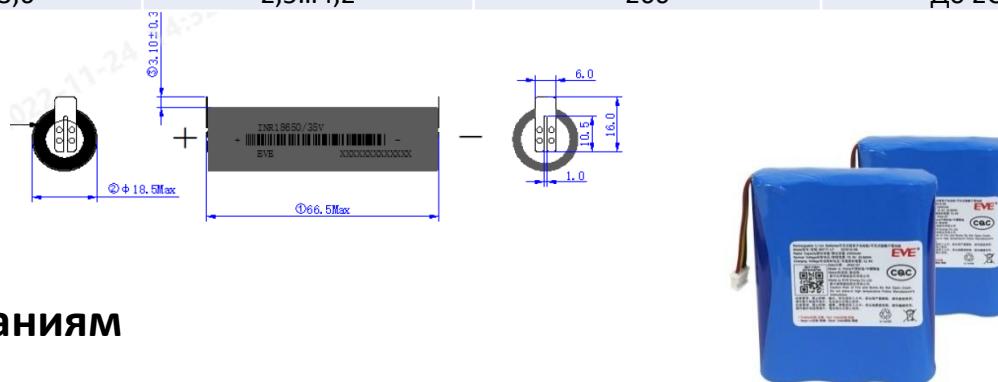
заряд от 0 до 45°C, разряд от -20 до 60/80°C

| Модель | Размеры, мм | Ёмкость, Ач | Напряжение, В | Диапазон рабочего напряжения, В | Плотность энергии, Втч/кг | Ток разряда, макс./кол-во циклов |
|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| ICR18650/15P | 18,35x65 | 1,5 | 3,6 | 2,5...4,2 | 135 | До 20C/300 |
| ICR18650/20P | 18,35x65 | 2 | 3,6 | 2,5...4,2 | 167 | до 15C/300 |
| ICR18650/26V | 18,35x65 | 2,55 | 3,6 | 2,5...4,2 | 204 | До 3C/1000 |
| INR18650/25P | 18,35x65 | 2,5 | 3,6 | 2,5...4,2 | 200 | До 12C/300 |
| INR18650/29V | 18,35x65 | 2,85 | 3,6 | 2,5...4,2 | 231 | До 3C/1000 |
| INR18650/33V | 18,35x65 | 3,2 | 3,6 | 2,5...4,2 | 250 | До 3C/1000 |
| INR18650/35V | 18,35x65 | 3,5 | 3,6 | 2,5...4,2 | 263 | До 3C/800 |
| INR21700/40P | 21,2x70,2 | 4 | 3,6 | 2,5...4,2 | 215 | До 10C/300 |
| INR21700/50E | 21,2x70,2 | 5 | 3,6 | 2,5...4,2 | 260 | До 2C/1000 |

Вариант с лепестковыми выводами

[INR18650/33V KC1011](#)

[INR18650/35V KC1011](#)



Возможность заказа сборок с BMS по требованиям

Серийная продукция EVE

Цилиндрические литий-железофосфатные

Температурный диапазон -20...+60°C



| Модель | Размеры, мм | Ёмкость, Ач | Напряжение, В | Диапазон рабочего напряжения, В | Плотность энергии, Втч/кг | Кол-во циклов |
|----------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------------|---------------------------|---------------|
| C33 (IFR33140) | 33x140 | 15 | 3,2 | 2,5...3,65 | 185 | 2500 |
| C40-V2 | 40x135 | 20 | 3,2 | 2,5...3,65 | 185 | 4000 |

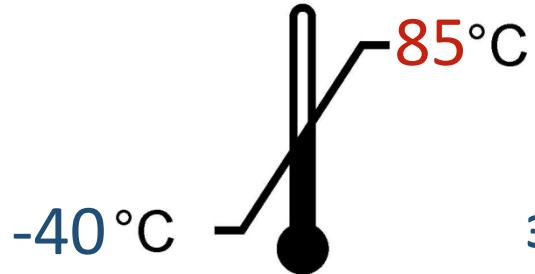
Призматические литий-железофосфатные

Температурный диапазон -20/-30...60°C



| Наименование | LF50F | LF90K | LF100F | LF100MA | LF100LA | LF105 | LF230 | LF280K | LF304 |
|-----------------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ёмкость, Ач | 50 | 90 | 100 | 100 | 100 | 105 | 230 | 280 | 304 |
| Размеры, мм | 148x27x130 | 130x37x200 | 130x37x200 | 160x50x118 | 160x50x118 | 130x37x200 | 174x54x207 | 174x72x207 | 174x72x207 |
| Плотность энергии Втч/кг | 155 | 144 | 166 | 167 | 162 | 170 | 180 | 165 | 180 |
| Применение | Телеком/системы хранения энергии | | | | | | | | |

PLM - «идеальный» аккумулятор от EVE Energy



3000 циклов (DOD 100%)

Высокая токоотдача



Automotive

«Обычные» литий-ионные аккумуляторы:

-20...60°C

до 800...1000

низкая/средняя

**взрываются,
воспламеняются**

PLM1550
PLM18650



- Специально разработан для длительного использования в суровых условиях.
 - Герметичная и взрывозащищённая конструкция
 - Продолжительный и импульсный ток высокого значения
 - Длительный срок службы, емкость составляет более 90% после 1500 циклов.
 - Безопасный и надёжный.

Основы выбора аккумулятора

Определить приоритеты

- Температурный диапазон эксплуатации
- Требуемая энергоёмкость (Втч)
- Мощность и токоотдача
- Срок службы системы
- Требования безопасности
- Ограничения по форм-фактору

Выбрать BMS систему

- Контроль напряжения
- Контроль тока заряда/разряда
- Температурная защита (NTC)
- Защита от КЗ и перегрузки
- Балансировка для батарейных сборок

Выбрать тип химии

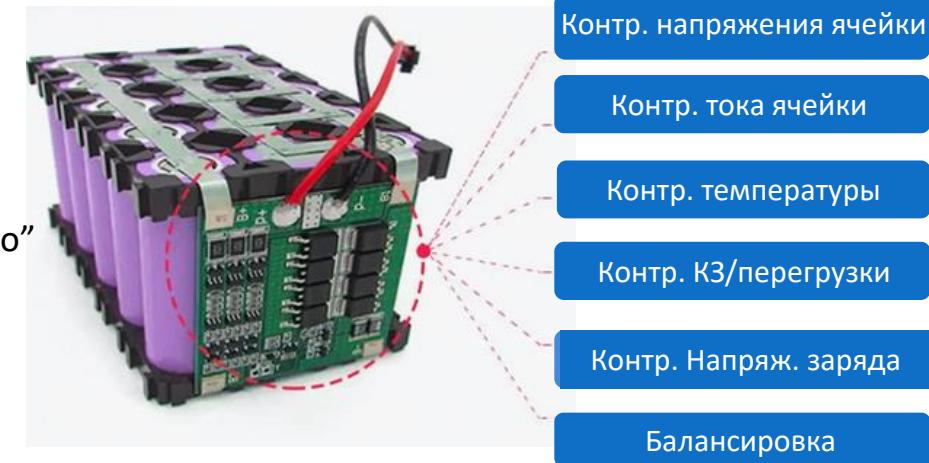
- Оценить стоимость за Втч
- Проверить доступность на рынке
- Анализ характеристик по температуре

На заметку

- Запас по току (x1.5 мин).
- Используйте NTC – даже если “вроде не нужно”
- Заложите софт-лимит заряда до 80–90% для увеличения срока службы.
- Термическое расширение 3-5%

Рассчитать конфигурацию

- Определить схему S/P соединения
- Подбор ячеек
- Заложить запас мощности 10-20%
- Выбрать подходящий NTC датчик*

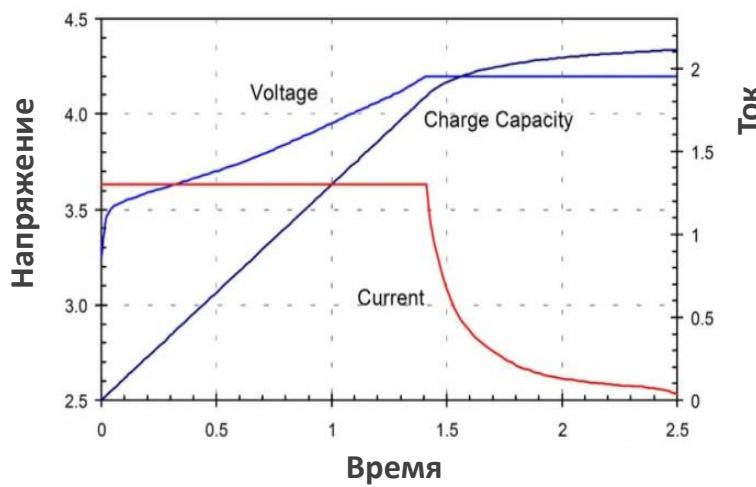


***Критически важно:** NTC датчик температуры — это не опция, а обязательный элемент. BMS должна блокировать заряд при $>45^{\circ}\text{C}$ и разряд при $>60^{\circ}\text{C}$. Никогда не заряжайте Li-Ion при температуре ниже 0°C ! (если это не регламентировано)

Соблюдение параметров из технического описания — основа долговечной и безопасной работы

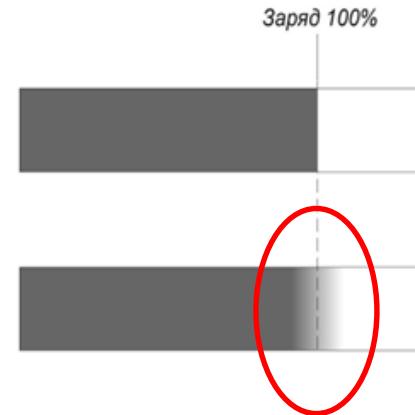
Важность схемы BMS для литиевых АКБ

Режим заряда ЛИА: CC+CV



Типичные значения (точные значения см. даташит)

- ток зарядки 0,5С
- напряжение зарядки 4,2 В (+/- 0,05 В)
- окончание зарядки: снижение тока до 0,02С



Свинцово-кислотный аккумулятор
Выше 100% не зарядится

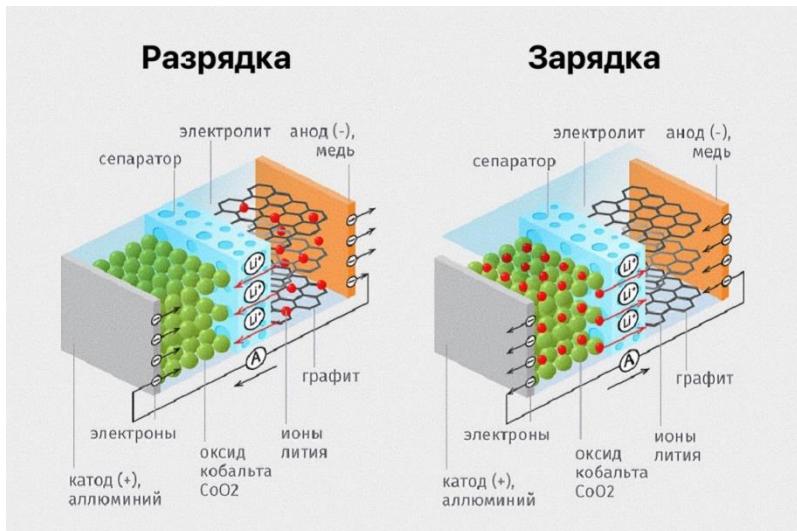
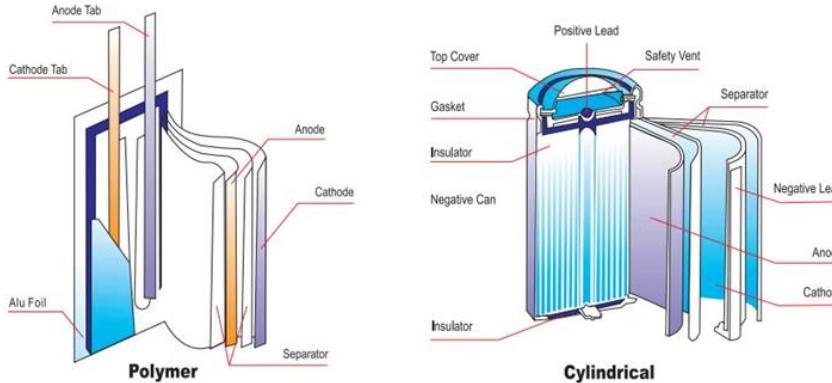
Литиевый аккумулятор.
Граница 100% заряда - размыта

При снижении тока заряда до 0,02С – считается, что все ионы лития из катода деинтеркалированы и это 100% заряд.

Если зарядное напряжение присутствует, то запускается химическая реакция, с преобразованием вещества электролита, что приводит к деградации аккумулятора

**Необходимо останавливать заряд в буферном режиме!
Требуется схема BMS или плата защиты**

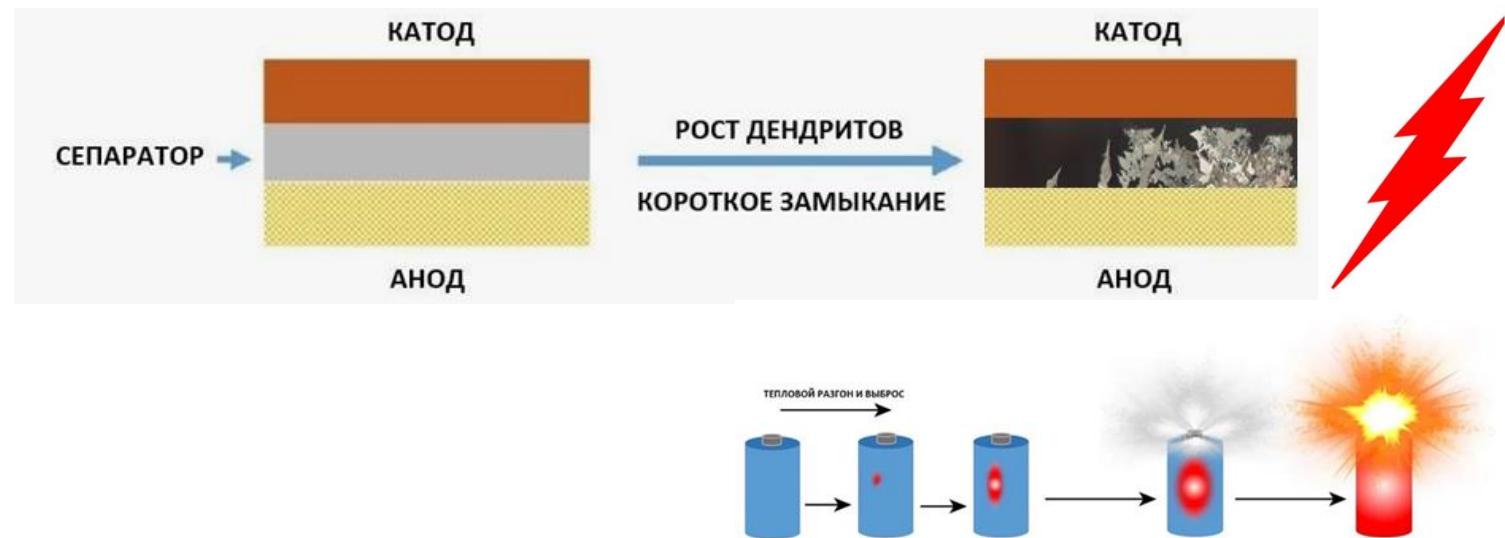
«Ой, мороз, мороз, не морозь меня»



- Ионы лития
- Интеркаляция/деинтеркаляция
- Отсутствие металлического лития

Что происходит при заряде Li-Ion аккумулятора ниже 0°C?

- Ионы лития не внедряются в анод, а осаждаются в виде металла
- Рост дендритов → внутреннее КЗ
- Риск: перегрев, терморазгон, взрыв
- После 10 циклов при –10°C — потеря до 30% ёмкости

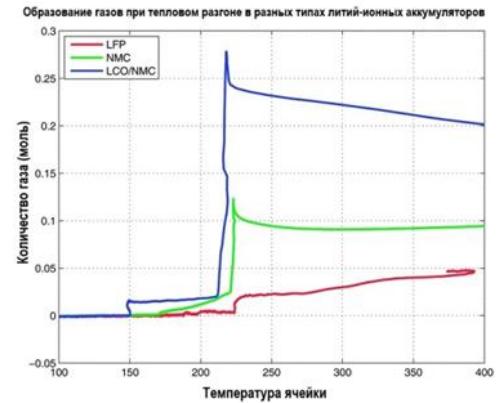


Не заряжайте “обычный” Li-ion аккумулятор при температуре ниже 0 °C!

Перенапряжение и перезаряд – путь к катастрофе

Если напряжение на ячейке превышает 4,25 В (для стандартных Li-ion):

- Разложение электролита
образуются газы (CO_2 , CO , CH_4 и др.) → вздутие аккумулятора → риск разрыва корпуса
- Разрушение катодного материала
катод (NMC, LCO) начинает терять стабильность → выделяется кислород → поддерживает горение!
- Литирование анода
при перенапряжении анод (графит) перенасыщается литием → выделение металлического лития
- Рост SEI-слоя
SEI начинает нестабильно расти, **поглощая ионы лития** → потеря ёмкости, рост сопротивления.



Если ток заряда выше допустимого:

- Перегрев
Высокий ток → джоулевый нагрев (I^2R) → Температура внутри элемента растёт → ускоряются побочные реакции.
- Литирование анода (не опять, но снова!)
Ионы лития не успевают интеркалироваться в графит → осаждаются как металл.
(Особенно опасно при низкой температуре или высоком уровне заряда (>80%))
- Неравномерное распределение лития
Литий осаждается неравномерно → локальные "горячие точки", ускоренная деградация.
- Механические напряжения в электродах
Быстрое встраивание/удаление ионов вызывает микротрешины в материалах → потеря контакта, снижение ёмкости.



Литий-ионный аккумулятор — не терпит насилия

Если зарядить обычный 18650-аккумулятор током 5А (вместо 1–2А) и довести до 4.5 В — он может вздуться за минуты или воспламениться.

«Что?.. Стареем, стареем...» — или почему аккумулятор не «изнашивается», а деградирует

При длительной эксплуатации в аккумуляторе происходят необратимые процессы:

- Разрушение активных материалов катода и анода
- Разложение электролита
- Рост внутреннего сопротивления (ESR)
- Образование литиевых дендритов

Аккумулятор деградирует!

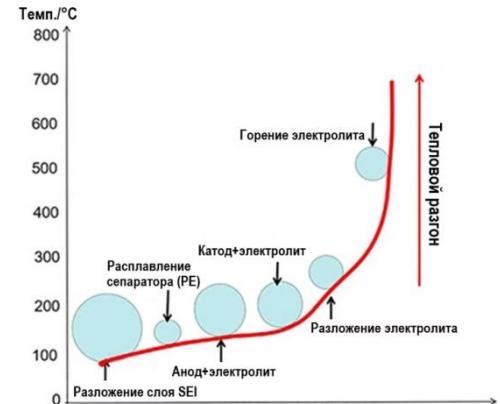
Потеря ёмкости >30-40% — это не просто "меньше работает",
а признак опасности дальнейшей эксплуатации!

Риски при дальнейшей эксплуатации:

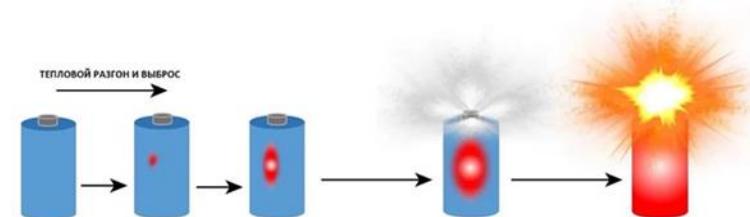
- Перегрев и терморазгон → даже при нормальных токах из-за высокого ESR
- Внутреннее КЗ → из-за роста дендритов и осыпания материалов
- Вздутие, утечка, возможно возгорание → особенно при попытке "выжать последнее" из батареи

Аккумулятор с потерей ёмкости >50% — это потенциальная бомба замедленного действия

Контролировать остаточную ёмкость и вовремя заменять АКБ!



При температуре от 130-150°C полимерный сепаратор начинает плавиться



«Хранить как зеницу ока» — или как не убить аккумулятор до начала эксплуатации

Литиевые аккумуляторы — груз 9 класса опасности по МПОГ (Международные правила по перевозке опасных грузов)

Чем они опасны?

- Возгорание или взрыв при тепловом разгоне из-за повреждения/перезаряда/КЗ
- Выделение токсичных газов при горении.

Требования к перевозке:

- Обязательная маркировка (метка класса 9, надпись "LITHIUM BATTERIES"), изолирование клемм, определённая упаковка
- Уровень заряда <30%. Архи-важно! (через полгода/год аккумулятор полностью разряжается с "вытекающими" последствиями)

| Температура | Саморазряд | Деградация за год (при 100% заряде) | Рекомендации |
|-------------|------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| -20°C | <0.5% | Очень низкая, но риск выпадения лития | Только при 30–50% заряда |
| 0°C | ~0.5–1% | Низкая | Допустимо |
| +10–25°C | 1–3% | ~4% (при 40% заряда) | Оптимально для хранения |
| +30°C | 3–5% | ~15% | Не рекомендуется долгосрочное хранение |
| +40°C | 5–10% | ~30–35% | Избегать! Особенно при полном заряде |
| +60°C | 15–25%+ | >50% за несколько месяцев | Категорически избегать |



Холод — снижает саморазряд, но требует внимания



Жара — резко увеличивает саморазряд и убивает аккумулятор даже без использования

Не хранить полностью разряженными!
Напряжение ниже 2.5 В — риск "смерти" аккумулятора.

Не хранить полностью заряженными!
Идеальный заряд при хранении 40-60%!



Правила безопасной эксплуатации Li-Ion аккумуляторов



Что можно и нужно:

- Использовать только совместимые зарядные устройства (по напряжению/току/алгоритму заряда)
- Контролировать температуру с помощью NTC-датчика в самом горячем месте
- Хранить при 40–60% заряда и +10...+25 °C
- Подбирать ячейки по ёмкости и ESR при сборке
- Использовать правильные BMS
- Не “выходить” за рамки спецификации
- Во время заменять аккумуляторы



Что нельзя:

- Заряжать на морозе (для “обычных” Li-Ion)
- Перегревать или вскрывать АКБ
- Использовать повреждённые ячейки
- Собирать батареи без опыта

Безопасность — в деталях.

Один просчёт — и аккумулятор или батарея превращается в бомбу.

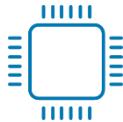
Все литиевые аккумуляторы должны соответствовать стандарту **IEC62133-2:2017**

Литиевые аккумуляторы безопасны при соблюдении режимов работы, хранения и правильной эксплуатации!

Рекомендованные каналы покупки



Заказы на поставку компонентов
от 1 штуки оформляются здесь:
www.electronshik.ru



Вопросы по техническим характеристикам
и условиям поставки направляйте своему
менеджеру Компэл



Магазин на OZONe:
[Источники питания и компоненты](#)



Система Дистанционного Снабжения (СДС)

**Удачи
и берегите аккумуляторы!**

