

Питание и аккумуляторы

Конспект

Аккумуляторы и питание FPV-дрона

Источник курса: school/Система живления БПАК .pptx, 77 слайдов.

Ниже сначала дан короткий конспект материала презентации. Проверенные дополнения и исправления вынесены отдельно, чтобы не смешивать их с исходным материалом.

Главное за минуту

- S задаёт напряжение сборки, P увеличивает ёмкость и допустимый ток.
- mAh показывает запас заряда. Для сравнения батарей с разным напряжением нужны Wh.
- Большая надпись C на этикетке не заменяет datasheet: важны постоянный ток, температура и реальные тестовые кривые.
- Просадка напряжения и нагрев растут вместе с током и внутренним сопротивлением.
- Сначала проверяют допустимое напряжение всей электроники, затем ток, энергию, массу и разъёмы.
- Зарядка требует правильной химии, числа банок, тока, балансировочного разъёма и постоянного наблюдения.

Иллюстрация источника: Путь питания в FPV-дроне. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Типы аккумуляторов

Тип	Напряжение одной банки	Сильная сторона	Ограничение
LiPo	ном. 3,7 V, заряд до 4,20 V	высокая токоотдача, компактный пакет	чувствительность к повреждению, перезаряду, перегреву и глубокому разряду
LiHV	ном. около 3,8 V, заряд до 4,35 V	немного больше энергии и напряжения	нужен отдельный профиль LiHV; режим LiPo/Li-ion не взаимозаменяем
Li-ion	обычно ном. 3,6–3,7 V, заряд до 4,20 V	высокая удельная энергия, удобен для дальних спокойных полётов	допустимый ток сильно зависит от конкретной модели элемента
LiFePO ₄	ном. около 3,2 V, заряд до 3,60 V	ресурс и термостабильность	ниже напряжение и удельная энергия; в силовых FPV-сборках встречается редко

Форматы 18650 и 21700 описывают размер цилиндрической банки, а не её ток или качество. Две банки одного размера могут отличаться по допустимому току в несколько раз.

Solid State и Semi-Solid State в презентации показаны как перспективные технологии. Для реального выбора важнее не название, а паспорт готового изделия: напряжение, ток, масса, температурные ограничения и подтверждённые испытания.

Что означают S и P

Для одинаковых банок:

- $U_{сборки} = S \times U_{банки}$;

- $Q_{\text{сборки}} = P \times Q_{\text{банки}}$;
- $I_{\text{доп. сборки}} \approx P \times I_{\text{доп. банки}}$;
- $E = U \times Q = S \times P \times U_{\text{банки}} \times Q_{\text{банки}}$.

Иллюстрация источника: Последовательное и параллельное соединение банок.
(Изображение не включено в текстовую базу.)

Пример для банки 3,6 V, 4,2 Ah, 45 A:

Сборка	Номинальное напряжение	Ёмкость	Сумма паспортных токов банок	Энергия
6S1P	21,6 V	4,2 Ah	45 A	≈90,7 Wh
6S2P	21,6 V	8,4 Ah	90 A	≈181,4 Wh

Последний столбец с током ещё не является допустимым током готовой батареи. Его могут ограничивать сварка, шины, провода, разъём, охлаждение, разброс банок и условия из datasheet.

Ёмкость, энергия, ток и мощность

Ёмкость и энергия

- $1000 \text{ mAh} = 1 \text{ Ah}$.
- $Wh = V_{\text{ном}} \times Ah$.
- При одинаковом числе одинаковых банок запас Wh почти одинаков независимо от схемы S/P; меняются напряжение, ёмкость в Ah и допустимый ток.

Пример: одна Molicel P42A имеет примерно $3,6 \text{ V} \times 4,2 \text{ Ah} = 15,1 \text{ Wh}$. Двенадцать таких банок в 6S2P дают около 181 Wh номинальной энергии.

C-рейтинг

- $I = C \times Q$, где Q берётся в ампер-часах.
- $C = I / Q$.
- При добавлении одинаковых банок в параллель одновременно растут I и Q, поэтому собственный C-rate элемента не меняется.

Пример: элемент 5 Ah, рассчитанный на 25 A, имеет $25 / 5 = 5C$. Сборка 2P получит 10 Ah и сумму паспортных токов 50 A, то есть те же 5C.

Просадка и нагрев

Упрощённо:

- $U_{\text{под нагрузкой}} \approx U_{\text{без нагрузки}} - I \times R_{\text{внутр.}}$;
- $P_{\text{потерь}} \approx I^2 \times R_{\text{внутр.}}$.

Поэтому удвоение тока при том же сопротивлении увеличивает нагрев примерно в четыре раза. Старение, холод, плохая сварка и окисленный разъём повышают сопротивление и усиливают просадку.

Как подобрать батарею

1. Узнать допустимое число S и максимальное напряжение у ESC, FC, BEC, VTX и другой аппаратуры. Полностью заряженная 6S LiPo даёт 25,2 V, а не номинальные 22,2 V.
2. Взять ток моторов из стендового теста конкретной связки мотор + пропеллер + напряжение. Сравнить суммарный ток с постоянным, а не рекламным пиковым током батареи.

3. Проверить провода, разъём и силовые дорожки. Самый слабый участок ограничивает всю систему.
4. Сравнивать дальнолётные варианты по Wh/kg, а не только по mAh.
5. Проверить массу и габариты: большая батарея несёт больше энергии, но повышает требуемую тягу и средний ток.

Напряжение влияет на потенциальные обороты мотора примерно через $RPM \approx KV \times V$ без нагрузки, но количество S нельзя выбирать отдельно от KV, пропеллера, ESC и допустимого тока мотора.

Оценка времени полёта

Две удобные формы одной оценки:

- $t_{мин} \approx 60 \times \text{используемые Ah} / I_{средний}$;
- $t_{мин} \approx 60 \times \text{используемые Wh} / P_{средняя}$.

Если сборка 6S2P имеет 181 Wh, для расчёта условно доступно 80%, а средняя мощность в контрольном полёте равна 450 W, то:

$$t \approx 60 \times 181 \times 0,8 / 450 \approx 19 \text{ мин.}$$

Это только ориентир. Реальный контрольный полёт выполняют с рабочей массой и типовым режимом, затем фиксируют израсходованные mAh, средний ток, минимальное напряжение под нагрузкой и температуру батареи.

Зарядка и хранение

Иллюстрация источника: Безопасный цикл зарядки и хранения. (Изображение не включено в текстовую базу.)

На рисунке 3,80–3,85 V/банку относится прежде всего к типичным профилям LiPo/LiHV. Для Li-ion режим хранения и пределы всегда сверяют с инструкцией зарядного устройства и datasheet конкретного элемента.

Перед зарядкой:

- осмотреть оболочку, банки, провода, XT-разъём и балансировочный шлейф;
- дать батарее после полёта остыть примерно до комнатной температуры;
- выбрать правильные Battery Type, Cell Count, режим Balance Charge и ток по паспорту;
- подключить силовой и балансировочный разъёмы так, как требует инструкция зарядки;
- поставить батарею на негорючую непроводящую поверхность вдали от горючих материалов;
- не накрывать и не оставлять без наблюдения.

Зарядный ток:

- $I_{зар} = C_{зар} \times Q$;
- для 4200 mAh ток 1C = 4,2 A;
- если ёмкость или химия неизвестны, ток не угадывают: сначала идентифицируют аккумулятор.

Требуемая выходная мощность зарядки приблизительно равна $P = U_{макс} \times I_{зар}$. Для 6S при 5 A: $25,2 \times 5 = 126 \text{ W}$. Блок питания DC-зарядки должен иметь запас сверх этого значения из-за потерь преобразования.

Для хранения используют профиль Storage конкретной химии. В инструкции SkyRC D400 приведены ориентиры: LiPo 3,80 V, LiHV 3,85 V, Li-ion 3,70 V на банку.

Повреждённую, вздутую, протекающую, необычно горячую или пахнущую батарею не заряжают и не ремонтируют. Её изолируют от горючих материалов, защищают выводы от короткого замыкания и передают в пункт приёма опасных отходов. Металлический ящик не должен превращаться в герметичный сосуд: для газов нужен безопасный сброс давления.

Быстрая диагностика

Признак	Возможная причина	Что проверить
сильная просадка при газе	высокое внутреннее сопротивление, холодная или слабая батарея	напряжение под нагрузкой, IR при одинаковых температуре и SOC, разъёмы
одна банка заметно уходит вниз	разбаланс, повреждение или разная деградация банок	напряжение каждой банки после отдыха и после зарядки
батарея или XT-разъём греется	ток выше допустимого, плохой контакт, тонкий провод	место нагрева, пайку, обжим, ток по логам
FC перезапускается при резком газе	просадка VBAT, слабый BEC, плохая земля, помехи	питание осциллографом/логом, конденсатор, разъёмы, регуляторы
ёмкость ещё есть, но тяга исчезла	выросло внутреннее сопротивление	сравнить просадку и нагрев с исправной батареей
вздутие, вмятина, прокол, запах	опасное внутреннее повреждение	прекратить использование и отправить батарею в карантин

Показание IR зарядного устройства удобно для сравнения одной батареи с самой собой. Абсолютные значения зависят от температуры, уровня заряда, проводов и метода измерения; AC- и DC-сопротивление напрямую не сравнивают.

Практика в FPV-дроне

В типичном малом FPV-дроне силовой путь выглядит так: аккумулятор → XT60/XT30 → ESC 4-в-1 → моторы. Конденсатор подключён параллельно VBAT рядом с ESC и подавляет короткие выбросы напряжения. FC, RX, GPS и VTX получают питание от BEC/стабилизаторов; конкретные выходы 5 V, 9 V или VBAT проверяют по схеме платы.

Безопасная проверка после сборки или ремонта:

1. Снять пропеллеры.
2. Мультиметром проверить отсутствие короткого замыкания между VBAT+ и GND и правильную полярность.
3. Первое включение выполнить через smoke stopper/ограничитель тока.
4. Проверить реальные 5 V, 9 V и VBAT на соответствующих площадках.
5. Сверить показания напряжения и тока в OSD с мультиметром/эталонной нагрузкой.
6. Кратко проверить моторы без пропеллеров, затем сделать контрольный полёт с записью минимального напряжения, расхода mAh и температуры.
7. После посадки дать батарее отдохнуть и измерить каждую банку через балансировочный разъём.

OSD обычно показывает общее напряжение, делённое на обнаруженное число банок. Это среднее V/cell, а не измерение каждой банки. Опасную слабую банку можно увидеть только через балансировочный разъём или систему с поэлементным мониторингом.

Проверенные дополнения и исправления к презентации

- Для Molicel P42A официальный datasheet указывает 4,2 Ah, 3,6 V, заряд до 4,2 V, постоянный разряд 45 A, заряд при 0...45 °C. Указанный на слайде диапазон зарядки -20...+60 °C для P42A не подтверждается этим паспортом.

- Предел 2,5 V относится к конкретным испытаниям и элементам вроде P42A. Это не универсальное целевое напряжение посадки и не общий предел для всех LiPo/Li-ion.
- Потеря измеренной ёмкости с 5000 до 4000 mAh не доказывает автоматическое уменьшение допустимого тока ровно на 20%. Состояние оценивают по внутреннему сопротивлению, просадке, нагреву и тестам под нагрузкой.
- Утверждение «BMS нельзя использовать в FPV» слишком категорично. Защитная плата должна выдерживать рабочий и пиковый ток и иметь предсказуемую логику отключения. Неожидаанное отключение в полёте опасно, поэтому многие FPV-сборки контролируют баланс внешней зарядкой, но это инженерное решение, а не общий запрет.
- Балансировочный ток не менее 1 A не является универсальным минимумом. Например, у зарядок SkyRC встречается 500 mA; больший ток ускоряет выравнивание сильно разбалансированного пакета, но не заменяет исправность банок.
- Цифры о 1,5–2× энергии, 6× скорости зарядки Solid State и 30–50% приросте времени Semi-Solid нельзя переносить на любой товар с таким названием без паспорта и независимых испытаний.
- Универсальные границы классов по внутреннему сопротивлению и возрасту батареи ненадёжны. IR сравнивают одинаковым методом при одинаковых температуре и уровне заряда; решение принимают по фактическому состоянию.

Проверенные источники

- [Molicel INR-21700-P42A, официальный datasheet](#)
- [Molicel INR-21700-P50B, официальный datasheet](#)
- [SkyRC D400, инструкция: профили, напряжения и безопасность](#)
- [PX4: модули питания и распределение энергии](#)
- [PX4: оценка батареи и напряжение под нагрузкой](#)
- [NFPA: риск герметичных контейнеров при выделении газов](#)
- [Пожарно-спасательная служба: признаки повреждения и безопасная зарядка](#)

Материалы для курса — 2026-09-07

Подготовлены удобные расчёты и сравнение батарей, химия, просадка, балансировка и CC/CV, украинские переводы и две русские части подачи базы. Параметры модели отделены от размерного кода; Ah — от энергии, предел мощности зарядки — от выставленного тока. Все версии (исходный материал вне поставки: `lectures/REVIEW_PACKAGE_ru.md`).

Аккумуляторы 2: ремонт, точечная сварка, сборка

Сборка должна хранить нужный заряд и отдавать ток без лишних потерь. Для этого нужны **подходящие друг к другу банки, хорошие соединения и целая изоляция**. Ремонт проверяет те же три вещи — только в уже собранной батарее.

Здесь речь о цилиндрических **Li-ion 18650/21700**. Мягкие пакеты **LiPo** устроены иначе; технологию сварки цилиндрических банок на них не переносят.

1. Банка → группа → батарея

Банка / комірка / cell — отдельный аккумуляторный элемент. Параллель **P** соединяет одинаковые полюса: напряжение остаётся общим, ёмкости складываются.

Последовательное соединение **S** связывает плюс одной группы с минусом следующей: складываются напряжения.

6S2P — 6 последовательных групп по 2 параллельные банки: всего 12 элементов. У такой батареи 6 измеряемых напряжений групп и 7 балансировочных проводов. Провода выводят границы групп, поэтому между соседними — напряжение одной группы, а между крайними — всей батареи.

Иллюстрация источника: Две банки образуют параллельную группу; шесть таких групп — батарею 6S2P с семью измерительными выводами. (Изображение не включено в текстовую базу.)

В последовательной цепи через все группы идёт один ток. Группа с меньшей ёмкостью первой разрядится и ограничит полезную ёмкость всей батареи. Зарядка через балансировочный шлейф видит **группу целиком**: две разные по состоянию банки внутри параллели могут выглядеть как одна нормальная группа.

2. Что означает «подходящие банки»

У элемента проверяют три разных свойства:

- **Напряжение, В** — его текущее электрическое состояние. По нему приблизительно судят о заряде, но не об износе.
- **Разрядная ёмкость, мА·ч** — сколько заряда он действительно отдаёт в заданном тесте. Её измеряет зарядка-анализатор или электронная нагрузка — прибор, потребляющий заданный ток. Энергия измеряется отдельно, в **Вт·ч**.
- **Внутреннее сопротивление, IR, мОм** — насколько заметны просадка напряжения и потери под нагрузкой. Его измеряют батарейным тестером; показания зависят от метода, температуры и уровня заряда.

Одинаковое напряжение не означает одинаковую ёмкость. Хорошая ёмкость при слабом разряде ещё не означает способность отдать большой ток. Поэтому в сборку подбирают **одну модель с близкими ёмкостью, IR и состоянием**, а суммарные ёмкости последовательных групп делают близкими.

Параметр подбора	Ориентир курса
Разница напряжений непосредственно перед соединением в параллель	Не более 0,05 В = 50 мВ ; лучше ближе к нулю
Разброс IR одинаковых элементов	1-2 мОм ; для однозначного сравнения здесь принята цель $R_{\max} - R_{\min} \leq 2 \text{ мОм}$
Разброс разрядной ёмкости	2-3% ; здесь размах считают относительно средней ёмкости

Это **ориентиры отбора из курса**, а не паспортные нормы для любой банки. Размах IR — уточнение неоднозначной записи на слайде. Сравнение имеет смысл при одинаковом методе измерения и условиях; ёмкость — при одинаковых токе и конечном напряжении

разряда.

Разница напряжений вызывает переток уже при соединении параллели. Поэтому банки предварительно выравнивают отдельной управляемой зарядкой/разрядкой. **50 мВ не означают гарантированно малый ток:** он зависит ещё от сопротивления банок и соединений.

Абсолютного «больше N мОм — брак» для всех моделей нет. Рабочая оценка — сравнение с исправными элементами **той же модели**, повторное измерение, ёмкость и поведение под нагрузкой. Например, у одной P42A типичные **10 мОм AC** измерены переменным сигналом, а **16 мОм DC** — изменением постоянного тока нагрузки. Это разные методы, не два порога браковки. [MoliceL](#)

3. Почему плюс требует отдельной изоляции

У обычной цилиндрической банки **металлический корпус — минус**, а центральная площадка сверху — плюс. Между ними есть заводская изоляция. Дополнительное кольцо из **электрокартона / fish paper** прикрывает металлическое плечо: плюсовая лента не должна замкнуться на край корпуса.

Иллюстрация исходника: Вид сверху: центральный плюс, заводская изоляция, дополнительное кольцо и отрицательный корпус. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Наружная термоусадка изолирует боковую поверхность. Электрокартон защищает у рёбер и между слоями; **Kapton**, полиимидная лента, закрывает открытые проводящие участки. Изоляция и механическая фиксация решают разные задачи: сварные точки не должны удерживать массу банок при вибрации.

Повреждённую оболочку у исправной банки можно заменить. **Вмятина, течь, деформированный клапан или прожог металла — основание исключить элемент**, даже если прибор показывает хорошее IR. Внутреннее повреждение может вызвать замыкание и **тепловой разгон** — самоускоряющийся нагрев за счёт реакций внутри элемента.

4. Что делает точечная сварка

Два электрода прижимают ленту к **одному выводу** банки. Сопротивление токового пути превращает энергию короткого импульса в тепло; металл локально разогревается в местах соединения. После импульса прижим сохраняется, пока соединение остывает. Припой не добавляется: лента и вывод образуют сварные зоны.

Иллюстрация исходника: Разрез сварного соединения: лента прилегает к одному выводу, зоны сплавления находятся на границе металлов под электродами. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Результат определяется **током, временем и прижимом**, а также материалом, толщиной, состоянием поверхностей и электродов. Поэтому число на дисплее чужого аппарата не является готовым режимом. Слишком слабый импульс оставит вмятины без прочного соединения; чрезмерный может дать выброс металла и прожог. Нестабильный прижим делает результат неповторяемым.

Качество определяют прочность и повторяемость соединения, а не красота точек. На пробном соединении отрыв ленты должен разрушать металл вокруг сформированных сварных зон, а не просто отделять ленту целиком. Разрушающую проверку выполняют на технологическом образце; для готовой батареи важны также сопротивление соединений и нагрев под нагрузкой. [AMADA](#)

5. Почему хороших точек недостаточно

Чистый никель / pure nickel проводит лучше стальной ленты такой же геометрии.

Никелированная сталь / nickel-plated steel лишь покрыта никелем; **медь** проводит ещё лучше, но требует подходящей технологии соединения. Название «никелевая лента» у продавца не раскрывает состав.

Прорезь между местами прижима уменьшает обходной ток непосредственно по ленте и помогает направить его через вывод. «Лесенка», Н-образная лента и **шина / busbar** — варианты геометрии, а не классы допустимого тока.

Внутри параллели ток делится, но через единственный последовательный мостик между группами проходит **весь ток батареи**. Именно такой узкий участок может греться при вполне хороших банках и сварных точках. Допустимый ток ограничивают все участки цепи: элементы, лента, сварка, провода, разъём и отвод тепла. Одной толщины ленты или надписи XT60 для его определения недостаточно.

6. Что ремонт восстанавливает, а что — нет

Удобно различать **неисправность соединения** и **неисправность элемента**. Обрыв балансировочного провода может дать 0 В на чекере при нормальном напряжении самой группы. Поэтому нулевое показание разъёма ещё не означает мёртвую банку.

Подтверждённые 0 В на выводах отдельной банки — уже основание исключить её из рабочей сборки.

Локальный нагрев под током указывает, где искать потери: контакт разъёма, пайка, лента или сама банка. Повторное расхождение групп после балансировки заставляет проверять ёмкость, саморазряд и соединения. **Саморазряд** — потеря заряда при хранении без внешней нагрузки; заметное отличие одной банки от одинаково подготовленных соседей требует отдельной проверки.

Балансировка сближает уровни заряда групп. Активный балансир переносит энергию между ними, обычная балансирующая зарядка часто разряжает более высокие группы. Ни тот, ни другая не возвращают утраченную ёмкость и не устраняют внутреннее повреждение. Балансир также не заменяет **BMS** — систему контроля и защиты батареи.

Замена банки требует подбора к оставшимся: новая банка той же модели может сильно отличаться от изношенных. «Оживший» после принудительного заряда глубоко разряженный элемент не становится от этого исправным.

7. Практика в FPV-дроне

Батарея через силовой разъём питает **ESC — регуляторы моторов** и электронику. Под нагрузкой плохое соединение или слабая группа дают просадку, которую не видно по напряжению покоя. Показание среднего **V/cell** на экране тоже может скрывать одну слабую группу.

Смысл проверки собранной или отремонтированной батареи — подтвердить полярность и напряжения групп, затем работу под контролируемой нагрузкой и отсутствие локального перегрева. Проверка питания электроники на столе проводится **без пропеллеров** и подтверждает только работу при малом токе. Пригодность к рабочей нагрузке устанавливает отдельное нагрузочное испытание.

Короткая база для повторения · Справочник: приборы, материалы и паспортные числа

Основа: «ремонт батарей» — 36 слайдов; «контактные точечные сваривания» — 40 слайдов.

Дополнения сверены с документацией; ошибки исходников и происхождение чисел собраны в редакционной свёрке.