

РЕМОНТ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

ТОМ 3
АККУМУЛЯТОРЫ
ДВИГАТЕЛИ · ДИАГНОСТИКА



Иван Грешник

Ремонт электротранспорта Том 3

«Автор»

2026

Грешник И.

Ремонт электротранспорта Том 3 / И. Грешник — «Автор», 2026

Третий том серии «Ремонт электротранспорта» посвящён устройству, обслуживанию и диагностике основных электрических компонентов электровелосипедов, электросамокатов и других видов персонального электротранспорта. В книге рассматриваются аккумуляторные батареи, принципы их работы, последовательное и параллельное соединение элементов, электрические параметры, системы управления аккумуляторами (BMS), электродвигатели и контроллеры. Особое внимание уделяется поиску неисправностей, измерению напряжения, тока и сопротивления, анализу показаний измерительных приборов и определению причин отказа оборудования. Материал помогает разобраться в принципах работы электрических систем, понять взаимосвязь между их компонентами и освоить последовательный подход к диагностике. Теоретические объяснения, формулы и практические примеры делают книгу полезной как для начинающих мастеров, так и для специалистов, желающих систематизировать свои знания.

© Грешник И., 2026

© Автор, 2026

Содержание

Ремонт электротранспорта. Том	6
Часть V. Аккумуляторы	8
Глава 44. Li-Ion — литий-ионные аккумуляторы	8
44.1. Что такое Li-Ion аккумулятор	8
44.2. Принцип работы	8
44.3. Устройство литий-ионного элемента	8
44.4. Основные химические составы	9
44.5. Форм-факторы элементов	9
44.6. Основные характеристики	9
44.7. Преимущества Li-Ion	10
44.8. Ограничения и недостатки	10
44.9. Старение аккумулятора	10
44.10. Основные неисправности	10
44.11. Диагностика	11
44.12. Правила эксплуатации	11
44.13. Практический пример	11
44.14. Профилактика	11
Совет мастера	12
Итоги главы	12
Глава 45. LiFePO ₄ — литий-железо-фосфатные аккумуляторы	14
45.1. Что такое LiFePO ₄	14
45.2. Развитие технологии	14
45.3. Принцип работы	14
45.4. Основные характеристики	14
45.5. Преимущества LiFePO ₄	15
45.6. Недостатки	15
45.7. Области применения	15
45.8. LiFePO ₄ и NMC/NCA	16
45.9. BMS для LiFePO ₄	16
45.10. Основные неисправности	16
45.11. Диагностика	16
45.12. Эксплуатация	17
45.13. Практический пример	17
45.14. Типичные ошибки начинающих мастеров	17
45.15. Профилактика	17
Совет мастера	18
Итоги главы	18
Глава 46. Сборка аккумуляторов	20
46.1. Что такое аккумуляторная сборка	20
46.2. Требования к качественной сборке	20
46.3. Подбор элементов	20
46.4. Формирование последовательных и параллельных групп	20
46.5. Материалы для соединения элементов	21
46.6. Соединение элементов	21

46.7. Почему нежелательно паять непосредственно к элементам	21
46.8. Установка BMS	21
46.9. Изоляция	22
46.10. Контроль качества	22
46.11. Типичные ошибки	22
46.12. Практический пример	23
46.13. Профилактика	23
Совет мастера	23
Итоги главы	23
Глава 47. Балансировка аккумуляторов	25
47.1. Что такое балансировка	25
47.2. Почему возникает разбалансировка	25
47.3. Чем опасна разбалансировка	25
47.4. Виды балансировки	26
Пассивная балансировка	26
Активная балансировка	26
47.5. Как работает балансировка	26
47.6. Балансировка при ремонте	27
47.7. Ручная балансировка	27
47.8. Признаки разбалансировки	27
47.9. Диагностика	27
47.10. Типичные ошибки начинающих мастеров	28
47.11. Практический пример	28
47.12. Профилактика	28
Совет мастера	29
Итоги главы	29
Глава 48. Замена элементов аккумуляторной батареи	31
48.1. Что такое замена элементов	31
48.2. Когда требуется замена элементов	31
48.3. Первичная диагностика	31
48.4. Подготовка к ремонту	31
48.5. Разборка аккумулятора	32
48.6. Определение неисправных элементов	32
Конец ознакомительного фрагмента.	33

Иван Грешник

Ремонт электротранспорта Том 3

Ремонт электротранспорта. Том

3

Глава 44

Li-Ion

ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

ЭНЕРГИЯ
ДЛЯ БОЛЬШИХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ

 **ВЫСОКАЯ
ЭНЕРГОЁМКОСТЬ**

 **НЕБОЛЬШОЙ
ВЕС**

 **НАДЁЖНОСТЬ
И БЕЗОПАСНОСТЬ**





**НАДЁЖНАЯ ЭНЕРГИЯ
ДЛЯ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ**

*Современные
технологии
движения*

Часть V. Аккумуляторы

Глава 44. Li-Ion — литий-ионные аккумуляторы

44.1. Что такое Li-Ion аккумулятор

Литий-ионный аккумулятор — электрохимический источник энергии, в котором заряд и разряд связаны с обратимым перемещением ионов лития между электродами. Благодаря высокой удельной энергоёмкости и относительно небольшой массе такие аккумуляторы широко применяются в электровелосипедах, электросамокатах, электроскутерах и другом электротранспорте.

По сравнению со многими более старыми аккумуляторными технологиями Li-Ion позволяет получить большую ёмкость при меньшей массе. Однако высокая энергоёмкость предъявляет повышенные требования к конструкции батареи, контролю температуры, зарядке и защите от неправильных режимов работы.

Аккумулятор электротранспорта представляет собой не просто набор отдельных элементов. В его состав входят соединённые между собой ячейки, система управления и защиты BMS, проводка, соединители, предохранительные элементы и корпус. Надёжность всей батареи зависит от согласованной работы этих компонентов.

44.2. Принцип работы

Внутри литий-ионного элемента происходит обратимое перемещение ионов лития между двумя электродами.

При разряде ионы лития перемещаются от отрицательного электрода к положительному через электролит, а электроны проходят по внешней электрической цепи и питают нагрузку. При зарядке направление движения ионов меняется на противоположное.

Электролит обеспечивает возможность перемещения ионов, но не должен создавать прямого электрического соединения между электродами. Для этого между ними находится сепаратор — тонкий пористый материал, пропускающий ионы и препятствующий непосредственному контакту электродов.

Многочисленное повторение этих процессов позволяет использовать аккумулятор в большом количестве циклов. При этом материалы постепенно изменяются, поэтому со временем ёмкость и способность элемента отдавать ток снижаются.

44.3. Устройство литий-ионного элемента

Конструкция элемента зависит от его химического состава и форм-фактора, но в общем случае включает положительный электрод, отрицательный электрод, электролит и сепаратор.

В цилиндрических элементах электроды и сепаратор сворачиваются в компактный рулон и помещаются в металлический корпус. Внутри также предусмотрены токосъёмники и другие конструктивные элементы.

Некоторые цилиндрические элементы оснащаются внутренними защитными механизмами, которые реагируют на опасное повышение давления. Однако наличие такой защиты не делает аккумулятор безопасным при неправильной эксплуатации или повреждении.

Пакетные и призматические элементы имеют другую конструкцию корпуса, но основные электрохимические процессы остаются сходными.

44.4. Основные химические составы

Термин Li-Ion объединяет несколько разновидностей аккумуляторов, отличающихся прежде всего материалами электродов. От химического состава зависят рабочее напряжение, энергоёмкость, допустимые токи, ресурс, температурные характеристики и требования к зарядке.

NMC — литий-никель-марганец-кобальтовая система. Она получила широкое распространение благодаря сочетанию энергоёмкости, мощности и относительно компактных размеров. Конкретные характеристики зависят от состава и конструкции элемента.

NCA — литий-никель-кобальт-алюминиевая система. Она позволяет получать высокую энергоёмкость и применяется в некоторых тяговых аккумуляторах.

LSO — литий-кобальтовая система. Она широко использовалась в портативной электронике, однако для тяговых батарей электротранспорта применяется значительно реже.

LMO — литий-марганцевая система. Она способна обеспечивать высокую мощность, но обычно уступает некоторым другим химическим составам по энергоёмкости и ресурсу.

LFP, или LiFePO_4 , также относится к литиевым аккумуляторным технологиям. Для неё характерны хорошая термическая стабильность и большой ресурс, но при сопоставимых размерах энергоёмкость обычно ниже, чем у ряда NMC-систем.

Особенности LFP и требования к работе с такими элементами будут рассмотрены отдельно в следующей главе.

44.5. Форм-факторы элементов

В электротранспорте используются цилиндрические, призматические и пакетные элементы.

Цилиндрические ячейки получили широкое распространение благодаря стандартизированным размерам и относительно удобной автоматизированной сборке. В аккумуляторных батареях можно встретить форматы 18650 и 21700, а также более крупные элементы.

Призматические элементы имеют жёсткий прямоугольный корпус. Их форма позволяет эффективно использовать внутренний объём батарейного корпуса, особенно в крупных аккумуляторных системах.

Пакетные элементы заключены в гибкий многослойный корпус. Они позволяют создавать батареи различной формы и отличаются хорошим отношением массы к ёмкости, но требуют защиты от механических повреждений и правильного прижима в составе батареи.

44.6. Основные характеристики

При оценке аккумулятора необходимо учитывать сразу несколько параметров. Одного значения ёмкости недостаточно для определения пригодности батареи.

Важны номинальное напряжение и максимальное напряжение заряда, допустимый диапазон напряжения разряда, ёмкость в ампер-часах и запас энергии в ватт-часах. Для тягового аккумулятора также имеют большое значение допустимые токи заряда и разряда, внутреннее сопротивление, рабочая температура и ожидаемый ресурс.

Например, две батареи с одинаковой ёмкостью в А·ч могут иметь разную энергоёмкость, если отличаются по напряжению. Кроме того, аккумулятор с большой ёмкостью не обязательно

способен отдавать большой ток — это зависит от характеристик используемых элементов, их соединения и системы управления батареями.

44.7. Преимущества Li-Ion

Главным преимуществом литий-ионной технологии является высокая удельная энергоёмкость. Это позволяет создавать относительно компактные и лёгкие батареи, способные обеспечивать значительный запас энергии.

К достоинствам также относятся низкий саморазряд при хранении, отсутствие классического «эффекта памяти» и возможность получения высоких токов в зависимости от типа элемента.

Однако конкретные характеристики зависят от химического состава, качества элементов и конструкции батареи. Поэтому нельзя переносить параметры одной Li-Ion ячейки на все аккумуляторы этого типа.

44.8. Ограничения и недостатки

Литий-ионные элементы чувствительны к неправильным режимам эксплуатации. Перезаряд, глубокий разряд, чрезмерный ток, перегрев и механическое повреждение могут привести к деградации или опасному отказу элемента.

Аккумулятор также постепенно стареет даже тогда, когда им практически не пользуются. Высокая температура ускоряет многие процессы старения, а длительное хранение при экстремальном уровне заряда может дополнительно снижать ресурс.

Именно поэтому тяговая батарея должна использоваться вместе с системой защиты, соответствующей её химическому составу и конфигурации.

44.9. Старение аккумулятора

Снижение характеристик аккумулятора происходит постепенно. В процессе эксплуатации уменьшается доступная ёмкость и может увеличиваться внутреннее сопротивление.

На скорость старения влияют температура, глубина циклов, токи заряда и разряда, время хранения и уровень заряда при хранении. Особенно неблагоприятными факторами могут быть длительный перегрев и продолжительное нахождение батареи в крайних состояниях заряда.

Рост внутреннего сопротивления приводит к большему падению напряжения под нагрузкой и дополнительному нагреву. Поэтому старая батарея иногда сохраняет приемлемое напряжение без нагрузки, но значительно хуже работает при разгоне или подъёме.

44.10. Основные неисправности

С течением времени аккумулятор может потерять часть ёмкости, отдельные группы элементов могут деградировать, а внутреннее сопротивление может увеличиться.

Другие проблемы связаны с механическим повреждением корпуса, попаданием влаги, коррозией контактов, нарушением соединений и неисправностью BMS. Для пакетных элементов опасным признаком является вздутие корпуса.

Особого внимания требуют следы перегрева, запах электролита, повреждение изоляции и деформация корпуса. При обнаружении признаков серьёзного повреждения аккумулятор нельзя продолжать эксплуатировать до выяснения причины.

44.11. Диагностика

Диагностику аккумуляторной батареи проводят комплексно. Начинают с внешнего осмотра корпуса, разъёмов и проводки, после чего измеряют общее напряжение батареи.

Если конструкция и доступ к измерительным точкам позволяют безопасно выполнить такую проверку, оценивают напряжение отдельных последовательных групп. Сильное отличие одной группы от остальных может указывать на проблему с элементами, соединениями или балансировкой.

Дополнительно оценивают внутреннее сопротивление и фактическую ёмкость батареи. Для этого применяются специализированные тестеры и зарядно-разрядное оборудование.

При диагностике BMS необходимо учитывать её конфигурацию и защитные алгоритмы. Нельзя делать вывод о состоянии всех элементов только по напряжению на выходных силовых контактах батареи.

Проверка под нагрузкой также может быть информативна: деградировавшая батарея способна показывать нормальное напряжение без нагрузки, но резко проседать при большом токе. При этом любые испытания мощных литий-ионных батарей должны проводиться с оборудованием и защитными средствами, соответствующими уровню энергии батареи.

44.12. Правила эксплуатации

Для увеличения срока службы необходимо использовать зарядное устройство, соответствующее конкретной батарее и её химическому составу. Не следует самостоятельно изменять параметры зарядки, если они не предусмотрены производителем.

Батарею необходимо защищать от сильного нагрева, ударов, проникновения воды и повреждения корпуса. Не рекомендуется продолжать эксплуатацию аккумулятора после серьёзного падения без проверки его состояния.

При длительном хранении желательно соблюдать уровень заряда и температурный режим, рекомендованные производителем. Точные значения могут отличаться в зависимости от конкретных элементов и конструкции батареи.

44.13. Практический пример

Электровелосипед заметно потерял запас хода, хотя двигатель и контроллер продолжали работать без явных неисправностей.

При диагностике аккумулятора оказалось, что одна из последовательных групп имела характеристики, существенно отличавшиеся от остальных. Под нагрузкой эта группа просаживалась сильнее, из-за чего BMS раньше ограничивала работу батареи.

Дальнейшая проверка показала деградацию элементов данной группы. После замены аккумуляторной сборки на исправную и проверки всей батареи запас хода восстановился.

Этот пример показывает, почему снижение дальности поездки нельзя автоматически связывать с двигателем или контроллером.

44.14. Профилактика

При длительном хранении аккумулятор желательно оставлять в состоянии заряда, рекомендованном производителем, а не держать его месяцами полностью заряженным или полностью разряженным.

Батарею следует защищать от прямого солнечного нагрева, экстремальных температур и механических повреждений. Периодически необходимо осматривать корпус, крепления, силовые разъёмы и кабели.

После ремонта или замены аккумулятора важно проверить не только физическое крепление батареи, но и соответствие её напряжения, BMS, разъёмов и допустимого тока требованиям электротранспорта.

Совет мастера

Не оценивайте состояние Li-Ion батареи только по общему напряжению. Нормальное напряжение на выходе ещё не означает, что все последовательные группы находятся в хорошем состоянии.

При профессиональной диагностике необходимо учитывать напряжение отдельных групп, поведение батареи под нагрузкой, внутреннее сопротивление, фактическую ёмкость и работу BMS. Только совокупность этих данных позволяет сделать обоснованный вывод о состоянии аккумулятора.

Итоги главы

Li-Ion аккумулятор представляет собой сложную электрохимическую систему, состоящую из отдельных элементов, соединённых в батарею и дополненных системой управления и защиты. Его характеристики определяются не только напряжением и ёмкостью, но также химическим составом, форм-фактором элементов, допустимыми токами, температурой и состоянием каждой последовательной группы.

Для мастера особенно важно понимать разницу между общей исправностью батареи и состоянием отдельных групп. Последовательная диагностика напряжений, внутреннего сопротивления, фактической ёмкости, поведения под нагрузкой и работы BMS позволяет выявлять деградацию на ранней стадии и принимать обоснованные решения о дальнейшем ремонте или замене батареи.

Важно: работы внутри мощных Li-Ion батарей требуют специального оборудования и подготовки. Ошибка при коротком замыкании, соединении элементов или зарядке может привести к сильному нагреву, пожару и повреждению оборудования, поэтому такие операции нельзя выполнять как обычный ремонт низковольтной электроники.

Глава 45

LiFePO₄

ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗО-ФОСФАТНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

НАДЁЖНОСТЬ • БЕЗОПАСНОСТЬ • ДОЛГИЙ РЕСУРС

Больше чем просто энергия

 МАКСИМАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

 ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ

 СТАБИЛЬНАЯ РАБОТА

 ВЫСОКИЕ ТОКИ РАЗРЯДА

 ЭКОЛОГИЧНОСТЬ



 ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДЫ

 ЭЛЕКТРОСАМОКАТЫ

 ЭЛЕКТРОСКУТЕРЫ

 ГРУЗОВОЙ ТРАНСПОРТ

 СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

 ДОМАШНИЕ НАКОПИТЕЛИ

 ЛОДКИ И КАТЕРА



LiFePO₄

СТАБИЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА — ЗАЛОГ БЕЗОПАСНОСТИ

ЗАРЯДКА
(ИОНЫ Li⁺ →)

РАЗРЯДКА
(ИОНЫ Li⁺ ←)



ГРАФИТОВЫЙ АНОД СЕПАРАТОР И ЭЛЕКТРОЛИТ КАТОД LiFePO₄



ФОСФАТ ЖЕЛЕЗА (LiFePO₄)

- ✓ ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ
- ✓ ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС
- ✓ ВЫСОКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Надёжные решения для реального движения



СЕГОДНЯ БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

13

Глава 45. LiFePO_4 — литий-железо-фосфатные аккумуляторы

45.1. Что такое LiFePO_4

LiFePO_4 (литий-железо-фосфат) — разновидность литий-ионной аккумуляторной технологии, в которой материал положительного электрода основан на литий-железо-фосфате. По принципу работы такие элементы относятся к семейству Li-Ion, однако отличаются от NMC, NCA и других химических систем характеристиками напряжения, энергоёмкости, ресурса и температурной устойчивости.

Главной особенностью LiFePO_4 является сочетание хорошей термической стабильности, длительного ресурса и способности работать с достаточно большими токами. Поэтому эта технология используется не только в электротранспорте, но и в системах накопления энергии, автономном электроснабжении, кемперах, лодках и промышленном оборудовании.

При этом LiFePO_4 нельзя считать полностью безопасным аккумулятором. Как и любая аккумуляторная система с высокой запасённой энергией, он требует правильно рассчитанной зарядки, BMS, защиты от короткого замыкания и соблюдения температурных ограничений.

45.2. Развитие технологии

Литий-железо-фосфатная химия получила распространение как один из вариантов литиевых аккумуляторов, позволяющий получить хороший баланс между ресурсом, мощностью и термической стабильностью.

По мере совершенствования элементов и систем управления LiFePO_4 стали использовать в самых разных областях. В электротранспорте такая химия особенно интересна для техники, которая ежедневно работает под большой нагрузкой и где масса аккумулятора не является единственным критерием.

Сегодня LiFePO_4 можно встретить в электровелосипедах, трициклах, коммерческом электротранспорте, лодках, автономных системах питания и стационарных накопителях энергии.

45.3. Принцип работы

Принцип работы LiFePO_4 такой же, как у других литий-ионных аккумуляторов: во время зарядки и разрядки ионы лития перемещаются между электродами.

Положительный электрод содержит материал LiFePO_4 , отрицательный электрод в большинстве распространённых элементов выполнен на основе графита. Между ними находятся сепаратор и электролит, обеспечивающие движение ионов и предотвращающие непосредственный контакт электродов.

При разряде ионы лития перемещаются в сторону положительного электрода, а электроны проходят через внешнюю цепь и создают ток нагрузки. Во время зарядки процесс идёт в обратном направлении.

Стабильная структура фосфатного катодного материала способствует хорошей термической и химической устойчивости LiFePO_4 .

45.4. Основные характеристики

Номинальное напряжение одного LiFePO_4 -элемента составляет примерно **3,2 В**, а типичное максимальное напряжение при зарядке — около **3,65 В**.

Минимально допустимое напряжение зависит от конкретного элемента и рекомендаций производителя. Значение около 2,5 В часто используется как ориентир для некоторых элементов, но доводить батарею до этого уровня при обычной эксплуатации необязательно и нежелательно.

Из-за относительно плоской кривой разряда напряжение LiFePO_4 в значительной части рабочего диапазона изменяется сравнительно мало. Поэтому определить точный уровень заряда только по напряжению сложнее, чем у некоторых других аккумуляторных систем.

При проектировании батареи необходимо учитывать не только напряжение элемента, но и ёмкость, допустимый ток, внутреннее сопротивление, температурный диапазон и характеристики BMS.

45.5. Преимущества LiFePO_4

Одним из главных преимуществ LiFePO_4 является длительный ресурс при правильной эксплуатации. Конкретное количество циклов зависит от производителя, глубины разряда, температуры, токов и других условий, поэтому универсальное значение для всех батарей указывать неправильно.

Фосфатная химия также отличается хорошей термической стабильностью. При штатных режимах работы она менее склонна к развитию опасных процессов, связанных с перегревом, чем некоторые другие литиевые химические системы.

Кроме того, LiFePO_4 хорошо подходит для приложений, где аккумулятор регулярно испытывает значительные токовые нагрузки и большое количество циклов.

45.6. Недостатки

Главным ограничением LiFePO_4 по сравнению с некоторыми NMC и NCA является меньшая удельная энергоёмкость. Для получения одинакового запаса энергии батарея может оказаться тяжелее и крупнее.

При низких температурах характеристики LiFePO_4 также ухудшаются. Особенно важно учитывать температуру во время зарядки: заряд литиевых элементов при температуре ниже допустимой может привести к повреждению аккумулятора. Конкретные температурные ограничения необходимо брать из документации производителя.

Кроме того, LiFePO_4 требует BMS, рассчитанной именно на эту химическую систему. Пороговые напряжения такой BMS отличаются от параметров BMS для NMC или других литиевых элементов.

45.7. Области применения

LiFePO_4 хорошо подходит для техники, которая регулярно работает с большой нагрузкой. В электротранспорте такие батареи можно встретить на грузовых электровелосипедах, трициклах, коммерческой технике и других машинах, где большой ресурс имеет особое значение.

Кроме транспорта, технология широко используется в автономных системах питания, домашних накопителях энергии, солнечных установках, кемперах и автодомах, лодках и промышленном оборудовании.

Выбор LiFePO_4 определяется не только характеристиками самой химии, но и требованиями конкретного проекта. Масса, размеры, рабочая температура, токи и требуемая ёмкость должны оцениваться вместе.

45.8. LiFePO_4 и NMC/NCA

LiFePO_4 и NMC/NCA относятся к литий-ионным технологиям, но имеют разные эксплуатационные свойства.

LiFePO_4 обычно выбирают, когда важны длительный ресурс, хорошая термическая стабильность и способность выдерживать большое количество циклов. Обратной стороной может стать большая масса при одинаковом запасе энергии.

NMC и NCA позволяют получить более высокую удельную энергоёмкость. Поэтому при одинаковой массе аккумулятор такой химии способен обеспечить больший запас энергии.

Таким образом, сравнивать эти технологии только по одному параметру неправильно. При выборе необходимо учитывать массу, размеры, необходимую мощность, запас энергии, режим эксплуатации, температуру и требуемый ресурс.

45.9. BMS для LiFePO_4

Даже при хорошей стабильности LiFePO_4 аккумулятору необходима система управления BMS. Она контролирует состояние отдельных последовательных групп и обеспечивает защиту батареи от недопустимых режимов работы.

В зависимости от конструкции BMS может выполнять защиту от перезаряда и переразряда, ограничивать ток, контролировать температуру и выполнять балансировку групп.

Особенно важно соответствие BMS химическому составу аккумулятора. BMS, рассчитанная на NMC, не должна автоматически использоваться для LiFePO_4 только потому, что количество последовательных элементов совпадает.

При выборе необходимо учитывать количество последовательных групп, допустимый ток, диапазон напряжений, температурные датчики и особенности балансировки.

45.10. Основные неисправности

Со временем LiFePO_4 батарея также подвергается естественному старению. Возможны снижение ёмкости, увеличение внутреннего сопротивления и разбалансировка последовательных групп.

Другие неисправности связаны с повреждением корпуса, нарушением внутренних соединений, коррозией контактов или отказом BMS.

При диагностике важно отличать неисправность элемента от проблемы системы управления. Например, BMS может отключать батарею из-за одного из защитных условий, хотя сами элементы ещё находятся в рабочем состоянии.

45.11. Диагностика

Проверку начинают с внешнего осмотра корпуса, кабелей и разъёмов. Затем измеряют общее напряжение батареи и, если конструкция позволяет безопасно получить доступ к измерительным точкам, проверяют напряжение отдельных последовательных групп.

При необходимости оценивают внутреннее сопротивление и фактическую ёмкость. Для этого применяются специализированные тестеры и зарядно-разрядные устройства.

Также необходимо проверить работу BMS и её защитных функций. При испытании под нагрузкой полезно контролировать изменение напряжения и температуру батареи.

Одного измерения общего напряжения недостаточно. Батарея может иметь нормальное напряжение на выходе и при этом содержать группу элементов с существенно худшими характеристиками.

45.12. Эксплуатация

Для зарядки необходимо использовать зарядное устройство, соответствующее именно LiFePO₄-батареи и её конфигурации. Нельзя ориентироваться только на номинальное напряжение батареи — важно учитывать максимальное напряжение заряда всей сборки.

Аккумулятор следует защищать от механических повреждений, воды и перегрева. Особое внимание необходимо уделять температуре во время зарядки.

При длительном хранении не рекомендуется оставлять батарею полностью разряженной. Оптимальный уровень заряда для хранения зависит от конкретных элементов и рекомендаций производителя, поэтому следует руководствоваться технической документацией.

45.13. Практический пример

Грузовой электровелосипед ежедневно использовался для перевозки тяжёлого груза. При такой эксплуатации аккумулятор регулярно работал с большими токами и большим количеством циклов.

Владелец решил заменить батарею на LiFePO₄, поскольку для него срок службы и устойчивость к интенсивной эксплуатации были важнее минимальной массы.

Новая батарея оказалась тяжелее аккумулятора аналогичной энергоёмкости на NMC, однако её характеристики лучше соответствовали режиму ежедневной работы. При этом для корректной работы была установлена BMS, рассчитанная на соответствующее количество LiFePO₄-групп и требуемый ток.

Этот пример показывает, что выбор химии должен определяться не только запасом хода, но и реальным режимом эксплуатации.

45.14. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из наиболее опасных ошибок — использование зарядного устройства с неподходящим напряжением окончания заряда. Даже если разъём подходит физически, это не означает электрическую совместимость.

Нельзя устанавливать BMS от другой химической системы без проверки её порогов и конфигурации. Также не следует объединять в одну батарею элементы с существенно различающимися характеристиками, ёмкостью или степенью износа.

При диагностике ошибочно оценивать состояние всей батареи только по её общему напряжению. Необходимо учитывать состояние отдельных последовательных групп и поведение аккумулятора под нагрузкой.

45.15. Профилактика

Для поддержания батареи в исправном состоянии необходимо периодически контролировать состояние отдельных групп, BMS, разъёмов и силовых соединений.

Следует не допускать длительного воздействия высокой температуры и защищать аккумулятор от ударов и деформации. После механического повреждения корпуса батарею необходимо внимательно осмотреть перед дальнейшей эксплуатацией.

При ремонте следует использовать элементы с подходящими характеристиками и не смешивать без необходимости новые и значительно изношенные ячейки.

Совет мастера

При выборе между LiFePO_4 и другой литиевой химией сначала определите режим работы электротранспорта. Если техника ежедневно работает с большой нагрузкой и важны ресурс и стабильность, характеристики LiFePO_4 могут хорошо соответствовать такой задаче.

Но при ограниченном пространстве и необходимости получить максимальный запас энергии при минимальной массе необходимо учитывать более низкую удельную энергоёмкость LiFePO_4 .

Итоги главы

LiFePO_4 — литий-ионная технология с фосфатным катодом, отличающаяся хорошей термической стабильностью, длительным ресурсом и пригодностью для интенсивной эксплуатации. По сравнению с NMC и NCA она обычно проигрывает по удельной энергоёмкости, зато позволяет получить другие преимущества, важные для тяговых и стационарных систем.

Для мастера принципиально важно использовать BMS и зарядное оборудование, рассчитанные именно на LiFePO_4 , а при диагностике оценивать не только общее напряжение батареи, но и состояние отдельных последовательных групп, внутреннее сопротивление, фактическую ёмкость и поведение под нагрузкой.

Как и любой литиевый аккумулятор, LiFePO_4 требует правильной эксплуатации, защиты от недопустимых режимов и соблюдения температурных ограничений.

Глава 46

СБОРКА АККУМУЛЯТОРОВ

НАДЁЖНАЯ ЭНЕРГИЯ
В ТВОИХ РУКАХ

Правильная
сборка —
стабильная
работа

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ
РЕМОНТ
ДИАГНОСТИКА
МОДЕРНИЗАЦИЯ

ЗНАНИЯ
И ОПЫТ

КАЧЕСТВЕННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ

БЕЗОПАСНАЯ
СБОРКА

ДОЛГИЙ
СРОК СЛУЖБЫ

SPOT WELDER

25 mS

21700 Li-Ion

BMS

ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

ФОРМИРОВАНИЕ ГРУПП

УСТАНОВКА BMS

ИЗОЛЯЦИЯ И КОРПУС

БОЛЬШЕ КИЛОМЕТРОВ
БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Глава 46. Сборка аккумуляторов

46.1. Что такое аккумуляторная сборка

Аккумуляторная сборка представляет собой группу отдельных элементов, соединённых в батарею с заданными электрическими характеристиками. В зависимости от схемы соединения можно получить необходимое напряжение, ёмкость и допустимый ток для конкретного электротранспортного средства.

Тяговая батарея состоит не только из аккумуляторных элементов. В её конструкции также присутствуют соединительные элементы, изоляция, система управления BMS, силовые и балансировочные провода, разъёмы, температурные датчики и корпус.

Сборка или ремонт такой батареи требует особой осторожности. Ошибка при соединении элементов, повреждение изоляции или неправильное подключение BMS способны привести к короткому замыканию, перегреву и возгоранию. Поэтому работы с мощными литиевыми батареями должны выполняться с использованием подходящего оборудования и с соблюдением требований безопасности.

46.2. Требования к качественной сборке

Готовая батарея должна иметь надёжные электрические соединения, достаточную механическую прочность и хорошую изоляцию токоведущих частей.

Необходимо обеспечить равномерное распределение тока между параллельными элементами, исключить возможность случайного контакта между противоположными потенциалами и надёжно закрепить батарею внутри корпуса.

Также необходимо учитывать тепловой режим. При больших токах соединения, проводники и сами элементы выделяют тепло, поэтому конструкция батареи должна соответствовать реальной нагрузке и обеспечивать допустимый температурный режим.

Качество сборки определяется не внешним видом батареи, а совокупностью электрических, механических и защитных характеристик.

46.3. Подбор элементов

Для формирования одной батареи необходимо использовать элементы с совместимой химией и подходящими электрическими характеристиками.

Особое внимание уделяют ёмкости, внутреннему сопротивлению, допустимому току разряда, состоянию и степени износа. Элементы с существенно различающимися характеристиками могут по-разному нагружаться и по-разному изменять напряжение во время работы.

Не следует без необходимости смешивать в одной сборке новые и значительно изношенные элементы. Также нельзя использовать элементы с механическими повреждениями, следами перегрева, деформацией корпуса или другими признаками неисправности.

Одинаковая дата производства сама по себе не гарантирует одинаковое состояние элементов. Для подбора важнее фактические характеристики и совместимость конкретных ячеек.

46.4. Формирование последовательных и параллельных групп

В тяговых батареях элементы объединяются последовательно и параллельно.

Последовательное соединение увеличивает напряжение батареи. При параллельном соединении увеличивается суммарная ёмкость и, в зависимости от характеристик элементов и конструкции сборки, допустимая способность отдавать ток.

Например, обозначение **13S4P** означает тринадцать последовательных групп, в каждой из которых четыре элемента соединены параллельно. Если используются элементы 18650, такая конфигурация содержит 52 ячейки.

При проектировании важно учитывать не только номинальное напряжение и ёмкость, но и токовую нагрузку, характеристики элементов, BMS, проводников и соединений. Все эти компоненты должны соответствовать друг другу.

46.5. Материалы для соединения элементов

Для соединения цилиндрических элементов применяются никелевые ленты, никелированные материалы, а в мощных батареях — специальные токоведущие шины и комбинированные решения.

Здесь важно различать электрическую проводимость и технологичность сварки. Медь обладает значительно меньшим удельным сопротивлением, чем никель, но её непосредственная точечная сварка с цилиндрическими элементами требует специализированного оборудования и подходящей технологии.

Поэтому в практических батареях часто применяются никелевые или комбинированные токоведущие элементы. Выбор материала зависит от тока, конструкции батареи, способа соединения и требований производителя элементов.

46.6. Соединение элементов

Для цилиндрических литий-ионных элементов широко используется контактная сварка. При правильно подобранном режиме она позволяет сформировать соединение с небольшим тепловым воздействием на корпус элемента.

Качество соединения зависит от материала и толщины ленты, состояния контактных поверхностей и параметров сварочного оборудования. Недостаточная энергия импульса может привести к слабому соединению, а чрезмерная — к повреждению элемента.

Нельзя оценивать качество сварки только визуально. Соединение должно обладать достаточной механической прочностью и низким сопротивлением, а технология сварки должна соответствовать используемым элементам и материалам.

46.7. Почему нежелательно паять непосредственно к элементам

Попытка припаять силовые соединения непосредственно к корпусу цилиндрического элемента обычным паяльником создаёт значительную тепловую нагрузку.

Продолжительный нагрев может повредить внутренние компоненты элемента, изоляцию и защитные элементы. Кроме того, перегрев способен ускорить деградацию аккумулятора.

Поэтому для цилиндрических элементов в аккумуляторных сборках обычно применяют технологию, которая позволяет минимизировать тепловое воздействие на сам элемент. Если конструкция предусматривает специальные выводы или приваренные контактные элементы, пайка может выполняться уже к ним с соблюдением соответствующей технологии.

46.8. Установка BMS

BMS контролирует состояние аккумуляторной батареи и обеспечивает защиту от предусмотренных конструкцией опасных режимов. В зависимости от модели она может контролировать напряжение отдельных последовательных групп, ток и температуру, выполнять балансировку и отключать батарею при выходе параметров за допустимые пределы.

Подключение BMS зависит от её схемы и конфигурации. Поэтому нельзя использовать универсальную последовательность подключения для всех плат.

Перед подключением необходимо определить количество последовательных групп, тип BMS, назначение всех проводов и требования производителя. Особое внимание уделяют балансировочным соединениям: ошибка в их распиновке может вывести плату из строя и создать опасную ситуацию.

46.9. Изоляция

После соединения элементов все потенциально опасные токоведущие участки должны быть надёжно изолированы.

Для этого используются специальные электроизоляционные материалы: Fish Paper, изоляционные кольца, каптоновая лента, пластиковые прокладки, термоусадочные материалы и другие решения, подходящие для конкретной конструкции.

Особое внимание уделяется положительным выводам цилиндрических элементов. Даже небольшое повреждение изоляции может создать путь для короткого замыкания между соседними частями сборки.

Изоляция должна не только выдерживать рабочее напряжение, но и сохранять свойства при вибрации, нагреве и длительной эксплуатации.

46.10. Контроль качества

После сборки необходимо проверить электрические и механические параметры батареи. Проверяется общее напряжение, соответствие напряжений последовательных групп, состояние соединений, отсутствие случайных замыканий и правильность работы BMS.

При необходимости выполняются испытания под контролируемой нагрузкой и проверка фактической ёмкости. Во время испытаний контролируют температуру элементов и соединений.

Если батарея имеет заметный разброс напряжений между последовательными группами или быстро нагревается под нагрузкой, её нельзя считать готовой к эксплуатации до выяснения причины.

Окончательная проверка должна проводиться до установки батареи на электротранспорт.

46.11. Типичные ошибки

При сборке батарей часто встречаются попытки объединить элементы с существенно разными характеристиками, использование неподходящих материалов для соединений, недостаточная изоляция и неправильное подключение BMS.

Проблемой может стать и недостаточная механическая фиксация. При вибрации элементы и соединительные ленты не должны перемещаться относительно друг друга.

Ещё одна ошибка — отсутствие полноценной проверки после сборки. Внешне аккуратная батарея может иметь скрытый дефект соединения или неправильное подключение балансировочной цепи.

46.12. Практический пример

В мастерскую поступила батарея электровелосипеда, которая отключалась при резком увеличении нагрузки.

В ходе диагностики выяснилось, что в одной из параллельных групп использовались элементы с характеристиками, заметно отличавшимися от остальных. При высокой нагрузке эта группа сильнее проседала по напряжению.

Дополнительная проверка выявила проблемы в соединениях. BMS реагировала на недопустимое состояние батареи и отключала нагрузку.

Причина неисправности была связана не с двигателем и не с контроллером, а с состоянием аккумуляторной сборки. Этот пример показывает, почему при диагностике отключений под нагрузкой необходимо оценивать не только общее напряжение батареи, но и состояние отдельных групп и соединений.

46.13. Профилактика

При изготовлении и ремонте батарей необходимо использовать совместимые элементы и материалы, рассчитанные на предполагаемый ток и условия эксплуатации.

Соединения должны периодически проверяться при диагностике батареи, особенно если транспорт используется на дорогах с сильной вибрацией. Корпус и крепления также должны сохранять достаточную механическую прочность.

При ремонте BMS необходимо контролировать распиновку и соответствие платы конфигурации батареи. После вмешательства желательно повторно проверить напряжения последовательных групп и работу защитных функций.

Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы исключить случайное попадание металлических предметов между токоведущими частями батареи.

Совет мастера

В аккумуляторной сборке нет незначительных деталей. Даже небольшая проблема с соединением, изоляцией или балансировочной проводкой может проявиться только при высокой нагрузке.

Перед передачей батареи клиенту необходимо проверить не только её общее напряжение, но и состояние последовательных групп, соединений, BMS и температурное поведение под контролируемой нагрузкой.

Итоги главы

Сборка аккумулятора представляет собой сложную технологическую операцию, при которой отдельные элементы объединяются в единую систему с заданными электрическими характеристиками. Надёжность батареи зависит от правильного подбора элементов, конструкции последовательных и параллельных групп, качества соединений, изоляции, BMS и механической защиты.

Особое значение имеет контроль качества. Даже правильно рассчитанная батарея может работать ненадёжно, если отдельные элементы имеют разные характеристики, соединения обладают повышенным сопротивлением или BMS подключена неправильно.

Работы с мощными литий-ионными батареями требуют специального оборудования, подготовки и соблюдения мер безопасности. При повреждённых, перегретых или нестабильных элементах ремонт не должен продолжаться до выяснения причины и оценки риска.

Глава 47

БАЛАНСИРОВКА АККУМУЛЯТОРОВ

ОДИН ЗАРЯД — ОДНА КОМАНДА

Баланс сегодня — долгий завтра

РАВНЫЙ ЗАРЯД
ДОЛШИЙ СРОК СЛУЖБЫ
БОЛЬШЕ РЕАЛЬНОЙ ЁМКОСТИ
БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Напряжение групп (S) **✓ Балансировка**

Группа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Напряжение	3.412	3.408	3.410	3.409	3.411	3.407	3.413	3.409	3.410	3.412	3.408	3.411	3.409

U max: 3.413 V
U min: 3.407 V
Разброс: 0.006 V

РАЗБАЛАНСИРОВАННАЯ БАТАРЕЯ

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение	3.25	3.32	3.41	3.28	3.39	3.22	3.40	3.31

✗ меньшая ёмкость
✗ раннее отключение BMS
✗ ускоренный износ элементов

ПРОЦЕСС БАЛАНСИРОВКИ

Пассивная (через резисторы)
Активная (перенос энергии)

СБАЛАНСИРОВАННАЯ БАТАРЕЯ

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41

✓ полная доступная ёмкость
✓ стабильная работа
✓ максимальный срок службы

КАЧЕСТВЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ
ПРАВИЛЬНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ BMS
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ ГРУПП
ИЗОЛЯЦИЯ И ЗАЩИТА

НАДЁЖНЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ ДАЛЬНИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

БОЛЬШЕ СВОБОДЫ В ДВИЖЕНИИ

Глава 47. Балансировка аккумуляторов

47.1. Что такое балансировка

Балансировка аккумуляторной батареи — это выравнивание состояния последовательно соединённых групп элементов по напряжению и степени заряда. Для литий-ионных батарей эта процедура особенно важна, поскольку даже элементы одной партии имеют небольшие различия по ёмкости, внутреннему сопротивлению и саморазряду.

В батарее с последовательным соединением групп каждая группа должна находиться в допустимом диапазоне напряжения. При эксплуатации различия между группами постепенно увеличиваются. В результате одна группа может достигнуть верхнего предела раньше остальных во время зарядки, а при разряде другая группа первой приблизится к нижнему пределу.

В такой ситуации BMS может ограничить заряд или отключить нагрузку, хотя суммарное напряжение всей батареи ещё выглядит нормальным. Поэтому при диагностике аккумулятора важно оценивать не только напряжение всего пакета, но и состояние отдельных последовательных групп.

Следует учитывать, что балансировка не является способом восстановления неисправных элементов. Если одна из групп имеет значительно меньшую ёмкость или повышенное внутреннее сопротивление, простое выравнивание напряжений устранил только проявление проблемы, но не её причину.

47.2. Почему возникает разбалансировка

Разница между группами может появляться даже в исправной батарее. Элементы имеют индивидуальные характеристики, которые со временем меняются под воздействием нагрузки, температуры и количества циклов.

На состояние групп влияют различия в фактической ёмкости и внутреннем сопротивлении, неодинаковый саморазряд, рабочая температура, токи заряда и разряда, возраст элементов и качество соединений. Дополнительной причиной может стать сама конструкция батареи: плохой контакт, повышенное сопротивление сварного соединения или соединительного проводника способны создавать заметную разницу в поведении групп под нагрузкой.

Особенно важно учитывать состояние элементов при ремонте. Если в старую батарею установить новые элементы без оценки совместимости с остальными, различия между группами могут стать ещё более выраженными.

47.3. Чем опасна разбалансировка

Небольшое отклонение между группами не всегда означает неисправность. Однако если разница становится существенной и продолжает увеличиваться, это начинает влиять на работу всей батареи.

При зарядке одна группа может достигнуть верхнего допустимого напряжения раньше остальных. BMS в этом случае ограничивает процесс или завершает заряд. При разряде слабая группа, наоборот, первой достигает нижнего порога, после чего защита отключает нагрузку.

В результате пользователь получает меньшую доступную ёмкость и сокращение запаса хода. При высокой нагрузке проблема проявляется особенно заметно, поскольку напряжение слабой группы сильнее проседает из-за её внутреннего сопротивления.

Постоянная работа элементов в неблагоприятных режимах ускоряет их старение. Поэтому значительную разбалансировку следует рассматривать не просто как неудобство, а как повод для полноценной диагностики аккумулятора.

47.4. Виды балансировки

В аккумуляторных системах применяются два основных подхода: пассивная и активная балансировка.

Пассивная балансировка

Пассивная балансировка является распространённым решением в BMS для электро-транспорта. При достижении определённого напряжения отдельной группой BMS подключает к ней балансирующий резистор. Часть тока проходит через этот резистор, а энергия рассеивается в виде тепла.

Метод отличается простой схемой и относительно невысокой стоимостью. Его недостаток заключается в том, что балансирующий ток обычно невелик, поэтому выравнивание сильно отличающихся групп может занимать продолжительное время. Кроме того, энергия при такой работе не возвращается в батарею, а превращается в тепло.

Порог включения и условия работы балансировки зависят от конкретной BMS. Поэтому нельзя считать, что любая BMS постоянно балансирует батарею во время всего процесса зарядки.

Активная балансировка

При активной балансировке энергия перераспределяется между группами. Избыток энергии одной группы передаётся другой, имеющей более низкий уровень заряда.

Для этого применяются различные схемы на основе конденсаторов, индуктивных элементов и DC-DC-преобразователей. Конкретная архитектура зависит от конструкции BMS.

Главное преимущество такого подхода заключается в возможности передавать энергию между группами с меньшими потерями, чем при простом рассеивании её на резисторе. Недостатком является более сложная схема, более высокая стоимость и повышенные требования к проектированию и диагностике.

47.5. Как работает балансировка

BMS контролирует напряжение последовательных групп аккумулятора. Если условия работы системы соответствуют заданному алгоритму балансировки и одна из групп достигает установленного порога раньше остальных, BMS может начать её выравнивание.

При пассивной схеме к соответствующей группе подключается балансирующий резистор. Ток через него уменьшает скорость дальнейшего роста напряжения этой группы, пока остальные группы постепенно приближаются к тому же уровню.

Активная BMS работает иначе: энергия передаётся от более заряженной группы к менее заряженной. В результате разница между группами уменьшается без необходимости рассеивать всю передаваемую энергию в виде тепла.

Важно понимать, что балансировка работает только в пределах возможностей самой BMS. Если одна группа имеет серьёзный дефект, значительно меньшую ёмкость или повышенное внутреннее сопротивление, балансировка не способна превратить её в исправную.

47.6. Балансировка при ремонте

После ремонта аккумулятора необходимо проверить состояние всех последовательных групп и убедиться, что они совместимы между собой по своим основным характеристикам.

Особое внимание требуется после замены элементов или одной из групп. Перед окончательной эксплуатацией необходимо проверить напряжение каждой группы, правильность соединений и работу BMS. Если конструкция и состояние батареи это позволяют, выполняется контролируемый цикл заряда с последующим контролем напряжений групп.

После завершения зарядки повторно измеряют напряжения и сравнивают их между собой. Если одна группа заметно отличается от остальных или быстро уходит в сторону при нагрузке, необходимо искать причину, а не пытаться устранить проблему одной только балансировкой.

47.7. Ручная балансировка

В сервисной практике встречается ручное выравнивание групп с использованием специализированного оборудования. Для этого применяются лабораторные источники питания с подходящими параметрами, аккумуляторные анализаторы и специализированные балансировочные устройства.

Такая работа требует точного понимания химии аккумулятора, количества последовательных групп, допустимых напряжений и особенностей конкретной BMS. Нельзя ориентироваться только на одинаковое показание мультиметра: необходимо учитывать состояние элементов и допустимые режимы заряда.

Особенно осторожно следует относиться к сильно разбалансированным или повреждённым литиевым батареям. Принудительное выравнивание неисправной группы может скрыть проблему и одновременно создать опасный режим эксплуатации.

Поэтому при значительном разбалансе сначала устанавливают его причину. Если обнаружены повреждённые элементы, повышенное сопротивление соединений, следы перегрева или другие дефекты, аккумулятор необходимо ремонтировать в соответствии с безопасной технологией, а не просто доводить напряжения групп до одинакового значения.

47.8. Признаки разбалансировки

Разбалансировка может проявляться по-разному. Наиболее характерный признак — заметное отличие напряжения одной или нескольких последовательных групп от остальных.

На практике пользователь может заметить сокращение запаса хода, отключение аккумулятора при ещё отображаемом заряде или резкую просадку напряжения при разгоне. Иногда BMS выдаёт соответствующую ошибку, если её конструкция предусматривает контроль отдельных групп.

Быстрая зарядка сама по себе также не доказывает наличие разбалансировки. Аналогичные симптомы могут возникать при снижении ёмкости батареи, повышенном внутреннем сопротивлении, неисправности BMS, плохом контакте или повреждении соединений.

Поэтому диагноз необходимо подтверждать измерениями.

47.9. Диагностика

Диагностику начинают с проверки общего состояния аккумулятора и его внешних соединений. После этого измеряют напряжение последовательных групп и определяют разницу между ними.

Одного измерения без нагрузки может быть недостаточно. Если одна группа имеет повышенное внутреннее сопротивление, на холостом ходу её напряжение может выглядеть вполне нормально, но при нагрузке оно будет проседать сильнее остальных.

Поэтому при возможности сравнивают состояние групп в нескольких режимах: после зарядки, в состоянии покоя и под контролируемой нагрузкой. Дополнительно оценивают температуру батареи и состояние BMS.

Для работы используются мультиметр, специализированный аккумуляторный анализатор, лабораторное оборудование, а при необходимости — тепловизор и программное обеспечение Smart BMS. Измерения должны проводиться с учётом конструкции конкретной батареи и требований безопасности.

Главный диагностический принцип прост: **общее напряжение показывает состояние батареи в целом, а напряжения отдельных групп позволяют увидеть, как распределяется это состояние внутри батареи.**

47.10. Типичные ошибки начинающих мастеров

Одна из распространённых ошибок — оценивать батарею только по её общему напряжению. Даже нормальное суммарное значение не исключает наличия слабой последовательной группы.

Другой ошибкой является установка новых элементов без проверки их совместимости с уже использующимися в батарее. Новые и сильно изношенные элементы могут существенно отличаться по ёмкости и внутреннему сопротивлению.

Не следует также считать, что установка новой BMS автоматически решает проблему аккумулятора. Если причина разбаланса находится в элементах или соединениях, новая плата защиты не устранит неисправность.

Опасно и просто «подтягивать» слабую группу до нужного напряжения, не выясняя, почему она отклоняется от остальных. Если после выравнивания напряжение снова быстро уходит вниз, проблема, скорее всего, связана с состоянием элементов или соединений.

47.11. Практический пример

Электровелосипед начал отключаться при отображаемом заряде около 40 %. Общее напряжение батареи на момент проверки находилось в допустимом диапазоне, поэтому первоначально аккумулятор мог показаться исправным.

После проверки отдельных последовательных групп обнаружилось, что одна из них имеет более низкое напряжение. Под нагрузкой разница увеличивалась: слабая группа проседала значительно сильнее остальных и первой достигала нижнего порога защиты BMS.

Дальнейшая диагностика показала, что причиной было ухудшение состояния элементов этой группы. После устранения неисправности и проверки всей батареи её напряжения были повторно сопоставлены с остальными группами.

Этот пример показывает, почему диагностика аккумулятора не должна ограничиваться измерением общего напряжения. В батарее с последовательным соединением именно одна слабая группа может определять поведение всего аккумулятора.

47.12. Профилактика

Снизить вероятность сильной разбалансировки помогает правильный подбор элементов при сборке батареи, использование исправной BMS, подходящей для конкретной химии и конфигурации, а также контроль температуры и режимов эксплуатации.

Не следует регулярно доводить литий-ионный аккумулятор до глубокого разряда. При длительном хранении батарею не оставляют полностью разряженной. Для зарядки используют совместимое зарядное устройство с подходящими параметрами.

Периодическая диагностика особенно полезна для аккумуляторов, которые работают под большой нагрузкой. Если напряжения групп начинают заметно расходиться, лучше выявить проблему на раннем этапе, пока она не привела к повреждению других элементов.

Совет мастера

После ремонта аккумулятора не стоит отдавать его клиенту сразу после завершения сборочных работ. Сначала необходимо проверить соединения, BMS, напряжения последовательных групп и поведение батареи в контролируемом режиме.

Если конструкция аккумулятора и условия ремонта позволяют провести контрольный цикл, его выполняют с наблюдением за напряжением групп и температурой. Особое внимание обращают на группу, которая заметно отличается от остальных.

Если после зарядки одна группа быстро достигает верхнего порога или при нагрузке значительно сильнее проседает, это повод продолжить диагностику. Балансировка в таком случае не должна использоваться как способ скрыть неисправность элемента.

Итоги главы

Балансировка позволяет уменьшить различия между последовательными группами аккумулятора и обеспечить более равномерную работу батареи. Наиболее распространённый вариант — пассивная балансировка, при которой избыточная энергия рассеивается на резисторе. В более сложных системах применяется активная балансировка с передачей энергии между группами.

Для мастера важно понимать, что разбалансировка является не самостоятельной неисправностью во всех случаях, а одним из признаков состояния батареи. Она может быть связана с естественным разбросом характеристик элементов, их старением, повышенным сопротивлением соединений или повреждением отдельной группы.

Поэтому качественная диагностика начинается с измерения каждой последовательной группы и продолжается проверкой её поведения под нагрузкой. **Балансировка выравнивает группы, но не ремонтирует неисправные элементы.** Это принципиальное правило, которое необходимо учитывать при ремонте аккумуляторов.

Глава 48

ЗАМЕНА ЭЛЕМЕНТОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

РЕМОНТ • ВОССТАНОВЛЕНИЕ • НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Продлеваем жизнь
вашего
аккумулятора

ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

ЗАМЕНА ЭЛЕМЕНТОВ

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ЭКОНОМИЯ ВМЕСТО НОВОЙ БАТАРЕИ

1. ДИАГНОСТИКА
Проверка напряжения каждой группы и состояния элементов

2. РАЗБОРКА
Аккуратное вскрытие корпуса и осмотр внутренних компонентов

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Выявление повреждённых или деградировавших элементов

4. ПОДБОР НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Использование качественных и совместимых элементов

5. ДЕМОНТАЖ
Удаление старых соединений и неисправных элементов

6. УСТАНОВКА НОВЫХ
Монтаж новых элементов с соблюдением схемы сборки

7. ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА
Надёжные соединения с помощью точечной сварки

8. УСТАНОВКА BMS
Подключение BMS и балансировочных проводов

9. ИЗОЛЯЦИЯ
Изоляционные материалы и защита от замыканий

10. ТЕСТИРОВАНИЕ
Контрольный заряд, разряд и проверка балансировки

11. ГОТОВАЯ БАТАРЕЯ
Восстановленная батарея готова к эксплуатации

- ✓ Долше срок службы
- ✓ Стабильная работа
- ✓ Экономия средств
- ✓ Экологичный подход
- ✓ Надёжность в дороге

Профессиональный
подход к каждой детали

БОЛЬШЕ КИЛОМЕТРОВ
БОЛЬШЕ СВОБОДЫ

Глава 48. Замена элементов аккумуляторной батареи

48.1. Что такое замена элементов

Замена элементов аккумуляторной батареи — сложный вид ремонта, при котором неисправные или значительно деградировавшие элементы либо последовательные группы заменяются совместимыми компонентами. Цель такой работы — восстановить работоспособность батареи и, насколько это возможно, её исходные эксплуатационные характеристики.

В отличие от полной замены аккумулятора, ремонт позволяет сохранить оригинальный корпус, BMS, разъёмы и штатные крепления. Однако это имеет смысл только в том случае, если остальные компоненты батареи находятся в удовлетворительном состоянии.

Работа с литиевыми аккумуляторами связана с высокой запасённой энергией и большими токами короткого замыкания. Поэтому ремонт должен выполняться специалистом, располагающим подходящим оборудованием и умеющим безопасно обращаться с аккумуляторными сборками.

48.2. Когда требуется замена элементов

Необходимость ремонта может возникнуть при заметном уменьшении запаса хода, выраженной просадке напряжения под нагрузкой, преждевременном срабатывании защиты BMS или обнаружении последовательной группы, характеристики которой значительно отличаются от остальных.

Причиной также могут быть повреждение элементов, последствия глубокого разряда, перегрев, попадание влаги, коррозия соединений или естественное старение батареи.

При этом одинаковые симптомы могут возникать из-за неисправной BMS, разъёмов, проводки или других компонентов электротранспорта. Поэтому решение о замене элементов принимают только после диагностики всей системы.

48.3. Первичная диагностика

До вскрытия корпуса необходимо получить как можно больше информации о состоянии батареи. Проверяют общее напряжение, напряжение последовательных групп, работу BMS и состояние внешних соединений.

Если конструкция и оборудование позволяют, дополнительно оценивают поведение батареи под контролируемой нагрузкой. Особое внимание обращают на группы, напряжение которых заметно отличается от остальных или значительно проседает при нагрузке.

Такая диагностика позволяет понять, действительно ли проблема связана с элементами, и определить примерный объём ремонта.

48.4. Подготовка к ремонту

Рабочее место должно быть сухим, чистым, хорошо освещённым и свободным от посторонних металлических предметов и горючих материалов. Необходимо предусмотреть подходящие средства пожарной безопасности и возможность безопасного размещения аккумуляторной сборки.

Для диагностики и ремонта применяются мультиметр, аккумуляторный анализатор, оборудование для оценки состояния элементов и соединений, а при необходимости — лабора-

торное оборудование. Для восстановления соединений цилиндрических элементов обычно используется специализированное оборудование для контактной сварки.

Также заранее подготавливают подходящие изоляционные материалы, элементы защиты корпуса и расходные материалы.

Выбор оборудования зависит от конструкции батареи. Самодельные приспособления, способные случайно создать короткое замыкание или перегреть элемент, для такой работы использовать не следует.

48.5. Разборка аккумулятора

Перед вскрытием батарею отключают от электротранспорта и фиксируют её исходное состояние. Полезно сфотографировать расположение BMS, проводов, соединительных лент и отдельных групп.

После снятия корпуса выполняют визуальный осмотр. Ищут следы перегрева, повреждения изоляции, коррозии, деформации элементов, попадания влаги и других механических повреждений.

Особенно внимательно следует относиться к аккумуляторам с признаками вздутия, сильного нагрева, повреждения корпуса или утечки. В таких случаях дальнейшая разборка требует специальных мер безопасности и соответствующей квалификации.

При отсоединении BMS необходимо учитывать конструкцию конкретной батареи и последовательность соединений. Ошибка в подключении балансировочных проводов может привести к повреждению платы.

48.6. Определение неисправных элементов

После вскрытия батареи диагностика становится более подробной. Сравнивают напряжение последовательных групп, оценивают внутреннее сопротивление и, при наличии подходящего оборудования, фактическую ёмкость.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.