

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

Е. Л. Савич
А. С. Гурский
В. С. Смольская

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Пособие
для студентов специальностей 1-37 01 06
«Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)»
по направлению 1-37 01 06-01 «Техническая эксплуатация
автомобилей (автотранспорт общего и личного пользования)»
и 1-37 01 07 «Автосервис»

*Рекомендовано научно-методическим объединением по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2023

УДК 621.355:629.33/36(075.8)
ББК 31.251я7
С13

Р е ц е н з е н т ы:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусско-Российского университета *Н. А. Коваленко*;
доцент кафедры «Технологии и организация технического сервиса» БГАТУ, канд. техн. наук *А. С. Сай*;
зав. кафедрой «Технологии и организация технического сервиса» БГАТУ, канд. техн. наук, доцент *В. Е. Тарасенко*

Савич, Е. Л.

С13 Источники питания электромобилей : пособие для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» по направлению 1-37 01 06-01 «Техническая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и личного пользования)» и 1-37 01 07 «Автосервис» / Е. Л. Савич, А. С. Гурский, В. С. Смольская. – Минск : БНТУ, 2023. – 65 с.
ISBN 978-985-583-913-3.

В пособии приведены содержание и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Автомобили».

УДК 621.355:629.33/36(075.8)
ББК 31.251я7

ISBN 978-985-583-913-3

© Савич Е. Л., Гурский А. С.,
Смольская В. С., 2023
© Белорусский национальный
технический университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Аккумуляторные батареи	
для тягового электродвигателя.....	4
1.1. Общие положения.....	4
1.2. Никель-металлгидридные аккумуляторы.....	7
1.3. Литий-ионные аккумуляторы.....	10
1.4. Натрий-ионные аккумуляторы.....	22
1.5. Литий-железо-фосфатные батареи.....	25
1.6. Графеновые аккумуляторы.....	32
1.7. Твердотельные АКБ.....	35
1.8. Устройство силовых АКБ электромобилей.....	39
1.9. Порядок выполнения работы.....	45
1.10. Содержание отчета.....	45
1.11. Контрольные вопросы.....	45
Лабораторная работа № 2. Система управления	
АКБ BMS (battery management system).....	46
2.1. Общие положения.....	46
2.2. Функции системы управления BMS.....	47
2.3. Балансировка тяговой АКБ.....	50
2.4. Порядок выполнения работы.....	54
2.5. Содержание отчета.....	54
2.6. Контрольные вопросы.....	54
Лабораторная работа № 3. Суперконденсаторы.....	55
3.1. Принцип работы конденсатора.....	55
3.2. Устройство и принцип работы суперконденсатора.....	57
3.3. Порядок выполнения работы.....	64
3.4. Содержание отчета.....	64
3.5. Контрольные вопросы.....	64
Список использованных источников.....	65

Лабораторная работа № 1

АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: Изучить и закрепить знания по устройству и принципу действия аккумуляторных батарей для тяговых двигателей гибридных и электромобилей.

Организация рабочего места: на рабочем месте должен быть учебный стенд, АКБ для тяговых двигателей, блоки системы управления аккумуляторных батарей BMS, мультиметр.

1.1. Общие положения

В электромобилях используются 3 основные системы потребления и производства электроэнергии: система низкого напряжения бортовой сети постоянного тока (12, 24, 48 В), системы высокого напряжения постоянного тока (200–500 В), система высокого напряжения переменного тока. Для питания систем низкого и высокого напряжения применяются аккумуляторные батареи.

У большинства электромобилей устанавливаются одновременно два аккумулятора: *тяговой* (он питает электродвигатель) и *батареи сети низкого напряжения* (как и в машинах с ДВС, он помогает системе освещения, системе подогрева). Эти аккумуляторы разные не только по назначению, но и по техническим характеристикам.

Тяговый аккумулятор электрического двигателя электромобиля предназначен для питания электродвигателя. У такого аккумулятора нет высокого пускового тока, но он предназначен для длительной работы, выдерживает большое количество циклов заряда-разряда. Это самый дорогой узел электромобиля. Типичная тяговая АКБ – моноблочная секционная конструкция, состоящая из толстых электронных пластин: пористых сепараторов и электролитного вещества. Такая АКБ

представляет из себя набор элементарных аккумуляторов (ячеек), который управляется целой системой из микроконтроллеров. Батареи различаются по емкости, рабочему напряжению (на EV – от 144 до 800 вольт), а также по форме, адаптированной под компоновку конкретной модели электромобиля. Отличаются они и ячейками, при изготовлении которых могут использоваться разные материалы.

В качестве АКБ для тягового электродвигателя могут применяться различные аккумуляторы.

В соответствии с конфигурацией трансмиссии электромобиля можно классифицировать как электромобили с тяговой аккумуляторной батареей (ТАБ, Battery Electric Vehicle – BEV), гибридные электромобили (Hybrid Electric Vehicle – HEV), гибридные электромобили с подключаемым модулем (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV) и электромобили на топливных элементах (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV).

Аккумуляторы электромобилей необходимы для работы с высокой мощностью (до 100 кВт) и высокой энергией (десятки кВт·ч) в условиях ограниченного пространства и массы. В гибридном электромобиле батарея обеспечивает только часть необходимой мощности и энергии.

В корпусе высоковольтной батареи размещаются не только наборы элементов питания, но и (как на примере высоковольтной батареи гибридного автомобиля) ЭБУ гибридного привода (высоковольтный контроллер) и ЭБУ батареи (в некоторых системах интегрированный с контроллером гибридного привода) (рис. 1.1). Кроме того, в корпусе находится высоковольтное реле и другие необходимые компоненты, такие как предохранители, резисторы предварительной зарядки и конденсаторы.

Энергопотребление электромобиля зависит от многих факторов: массы автомобиля, размера, формы кузова, дорожных условий, стиля вождения водителя; размер вспомогательных систем, таких как охлаждение, обогрев, освещение и т. д. Типичное энергопотребление электромобиля среднего размера

колеблется в пределах 160–200 Вт·ч/км. Стандартный размер тяговой батареи для ЭМ может варьироваться от 20 кВт·ч до 60 кВт·ч или даже выше для большей дальности поездки. Для автобусов она находится в диапазоне от 90 кВт·ч до 150 кВт·ч и выше. После начала движения ЭМ и движения по ровной дороге мощность привода используется для ускорения автомобиля и преодоления сопротивления качению между шинами и дорожным покрытием. Однако, как только необходимая скорость достигнута, для поддержания скорости требуется меньшая мощность за счет преодоления сопротивления качению и силы аэродинамического сопротивления. Для разгона электромобиля массой около 1350 кг до скорости около 95 км/ч за 10 с требуется мощность около 61 кВт. Для того же транспортного средства пиковая мощность торможения для остановки транспортного средства, движущегося со скоростью 95 км/ч, за 5 с может достигать примерно 185 кВт.



Рис. 1.1. Высоковольтная батарея гибридного автомобиля

Высоковольтная батарея должна иметь следующие характеристики:

- соответствующий срок службы (количество циклов зарядки и разрядки);
- способность отдавать и принимать большой ток;
- короткое время зарядки;
- умеренный нагрев;
- безопасность во время аварии.

1.2. Никель-металлгидридные аккумуляторы

У этих аккумуляторов положительный никелевый электрод представляет собой пасту гидроксида никеля, что не позволяет вытекать ему в случае повреждения батареи, смешанную с проводящим материалом и нанесенную на стальную сетку, а отрицательный электрод изготовлен из никелевого сплава с добавлением редкоземельных элементов. Пространство между электродами заполнено желеобразным составом на основе влажной щелочи, который замерзает при $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Никель-металлогидридные аккумуляторы всех размерностей, емкостей и предназначений выпускают в двух основных типах форм – цилиндрической и параллелепипед типа «крона» (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Формы никель-металлогидридных аккумуляторов

Вне зависимости от формы, подобные АКБ состоят из следующих обязательных элементов:

- металлгидридных и никелевых электродов (катодов и анодов), образующих гальванический элемент сеточной структуры, который отвечает за движение и накопление электрического заряда;

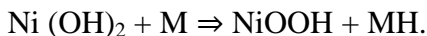
- сепараторных областей, разделяющих электроды и также участвующих в процессе электролитических реакций;

- выводных контактов, отдающих во внешнюю среду накопленный заряд;

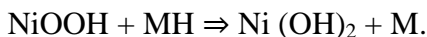
- крышки с вмонтированным в нее клапаном, необходимой для сброса излишнего давления из полостей аккумулятора (давления свыше 2–4 МПа);

- термозащитного корпуса.

Суммарная реакция, протекающая в Ni-MH аккумуляторе, выглядит следующим образом. При заряде:



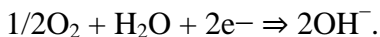
При разряде:



При этом щелочной электролит не принимает участия в реакции образования тока. После того как при заряде аккумулятора до уровня 70...80 процентов на оксидно-никелевом запускается выделение кислорода в соответствии со следующей реакцией:



На отрицательном электроде происходит реакция восстановления этого кислорода:



Так описывается процесс перезарядки никель-металлогидридного аккумулятора. Эти реакции образуют собой замкнутую циркуляцию кислорода. В процессе восстановления кислорода происходит увеличение емкости металлогидридного электрода благодаря выделению группы OH^- .

В Ni-MH аккумуляторах призматической формы поочередное размещение разноименных электродов. Их также разделяет сепаратор. Сборка электродов находится в металлическом или пластиковом корпусе, который закрывается герметичной крышкой. В крышке в большинстве случаев ставится датчик или клапан давления. Ниже представлена конструкция никель-металлогидридного аккумулятора призматической формы.

В качестве примера рассмотрим никель-металлогидридный аккумулятор автомобиля Toyota NHW20 Prius (рис. 1.3). Батарея состоит из двух модулей, каждый соответственно с напряжением 144 В. Оба модуля батареи соединены друг с другом через защитный выключатель и вместе выдают напряжение при уровне зарядки в 75 % 288 В.

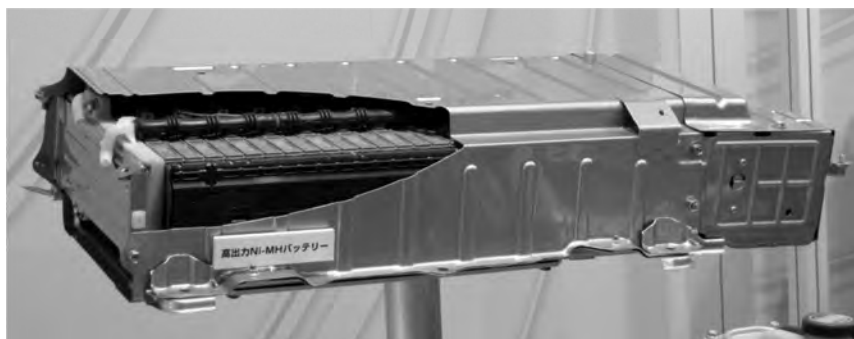


Рис. 1.3. Ni-MH-аккумулятор автомобиля Toyota NHW20 Prius

При заряде выделяется достаточно большое количество тепла, особенно в конце заряда, что является одним из признаков необходимости завершения заряда. Разряд никель-металлогидридных аккумуляторов при низких температурах

лимитируется тем фактом, что эта реакция эндотермическая и на отрицательном электроде образуется вода, разбавляющая электролит, что приводит к высокой вероятности замерзания электролита. Поэтому, чем меньше температура окружающей среды, тем меньше отдаваемая мощность и емкость аккумулятора. Напротив, при повышенной температуре в процессе разряда, разрядная емкость никель-металлгидридного аккумулятора будет максимальной.

В зависимости от типа и условий эксплуатации наработка может составлять 500–1000 циклов заряд-разряд и время службы 3–5 лет.

К преимуществам этих батарей относятся:

- низкая цена Ni-Cd Никель-кадмиевых аккумуляторов;
- возможность отдавать наибольший ток нагрузки;
- возможность быстрого заряда аккумуляторной батареи;
- сохранение высокой емкости аккумулятора до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- большое количество циклов заряда-разряда.

Недостатками являются:

– при заряде этот тип батарей выделяет много тепла, из-за этого требуется установка в них температурных реле или предохранителей;

– опасность переплюсовки и перегрева элементов в батарее растет с увеличением срока службы и количества циклов заряд-разряд.

– высокий саморазряд. Это обусловлено реакцией водорода из электролита с оксидно-никелевым электродом.

– Никельметаллогидридные аккумуляторы функционируют в более узком диапазоне температур. При минус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ практически все они становятся неработоспособными. Такая же картина наблюдается при температуре выше $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.3. Литий-ионные аккумуляторы

Использование литий-ионных аккумуляторов в качестве тяговых батарей является перспективным направлением для

электротранспорта. Технология производства этих аккумуляторов совершенствуется из года в год: улучшаются характеристики, уменьшается стоимость кВт/час.

Литий-ионные аккумуляторы подразделяются на несколько типов (рис. 1.4).

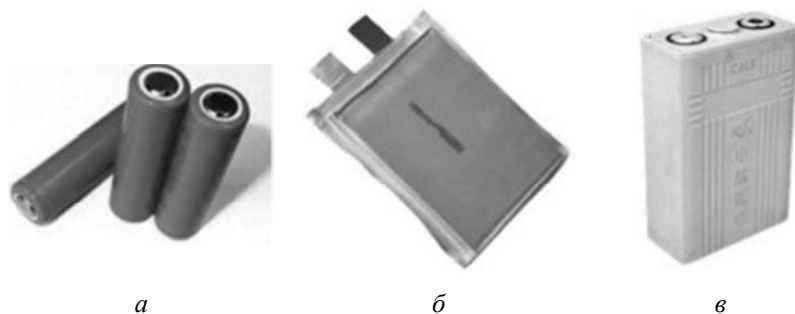


Рис. 1.4. Типы литий-ионных элементов питания:
а – цилиндрический; *б* – пакетный; *в* – призматический

В настоящее время литий-ионные аккумуляторы устанавливаются на большинстве современных гибридных автомобилей и электромобилях (рис. 1.5).

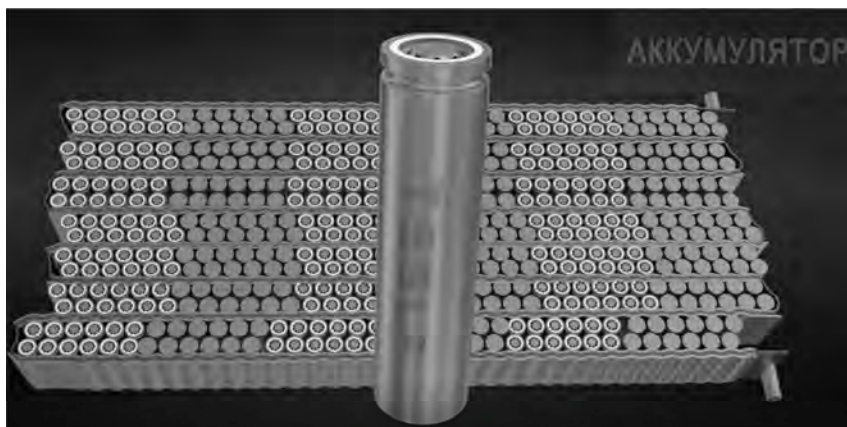


Рис. 1.5. Блок литий-ионной АКБ

Литий-ионный аккумулятор (рис. 1.6) состоит из электродов (катодного материала, представляющего собой активный материал в виде оксидов переходных металлов, в кристалле которого встроены ионы лития на алюминиевой фольге 8 и анодного графитного материала на медной фольге 10, разделенных пропитанными электролитом пористыми сепараторами 9, который предотвращает «самовольный» переход ионов лития между электродами. Электролит, который используется в данном типе аккумуляторов, представляет собой органический раствор солей лития. Пакет электродов помещен в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъемникам. Корпус имеет предохранительный клапан 5, сбрасывающий внутреннее давление при аварийных ситуациях и нарушении условий эксплуатации. Литий-ионные аккумуляторы различаются по типу используемого катодного материала.

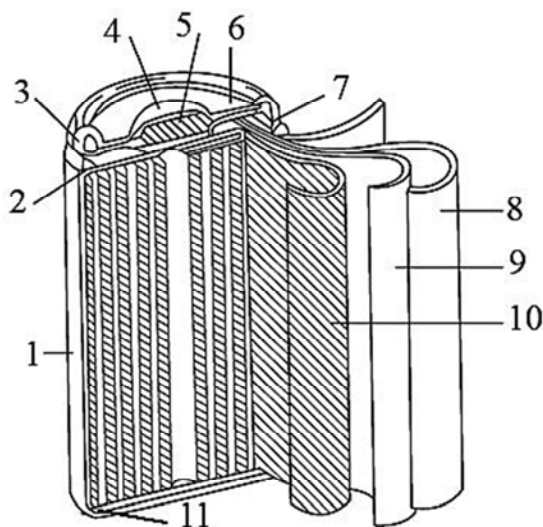


Рис. 1.6. Литий-ионный аккумулятор:

- 1 – корпус ячейки; 2 – положительный полюс; 3, 7 – изолирующая шайба;
 4 – положительный полюс; 5 – предохранительный клапан;
 6 – верхняя крышка; 8 – катод; 9 – сепаратор;
 10 – анод; 11 – отрицательный полюс

Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решетку других материалов (например, в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи.

Ионы лития при зарядке и разрядке мигрируют от анода к катоду и наоборот (рис. 1.7).

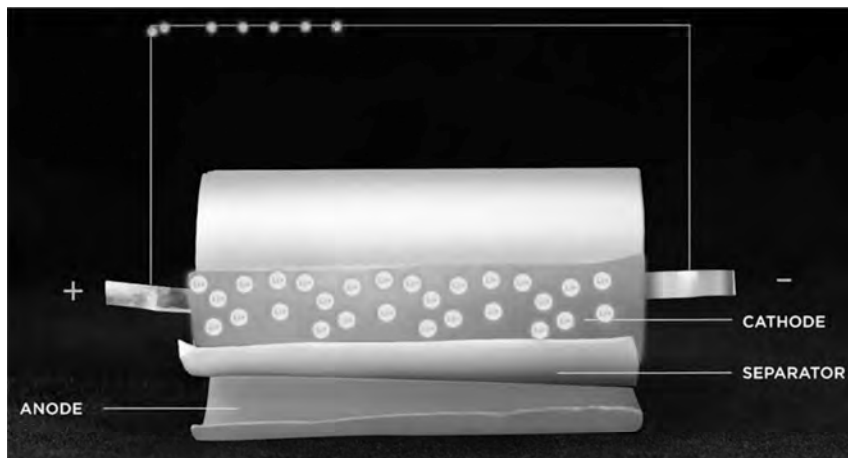


Рис. 1.7. Общий принцип работы литий-ионного аккумулятора

На аноде 4 (рис. 1.8) при подключении батареи в замкнутую цепь образуется химическая реакция, которая приводит к образованию свободных электронов. Указанные электроны при разряде, в случае подключения к цепи, стремятся попасть на катод 1, где их концентрация меньше. Однако от прямого пути к катоду от анода их удерживает электролит, который находится между электродами. В аккумуляторе предусмотрен разделительный сепаратор 8 для предотвращения самопроизвольного перемещения ионов лития. Остается единственный путь – через цепь, куда замыкается батарея. При этом электроны, двигаясь по указанной цепи, питают устройство энергией. Положительно заряженные ионы лития 5 внутри аккумулятора,

через электролит, преодолевают разделительный сепаратор и направляются к катоду, чтобы удовлетворить потребность в электронах на стороне катода (позиция 7 – разряд). После перемещения всех электронов к катоду аккумулятор разряжается. Но литий-ионный аккумулятор является перезаряжаемым, то есть процесс можно обратить вспять. При подаче на электроды зарядного напряжения (позиция 6) ионы лития 5 мигрируют из литийсодержащего катода 1 в анод 4, окисляя его.

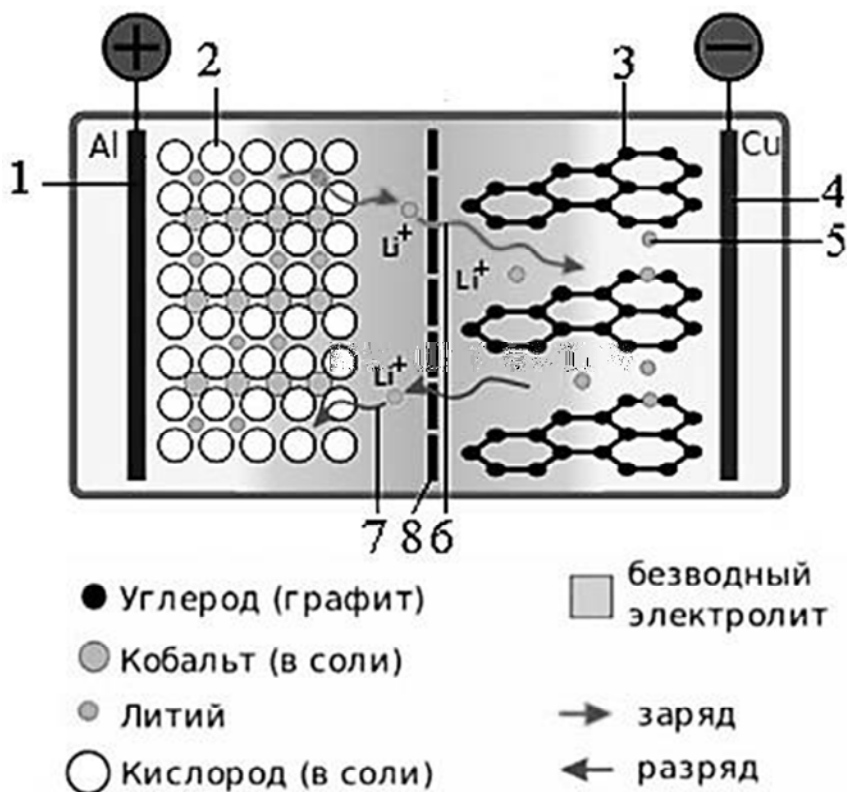


Рис. 1.8. Схема работы литий-ионного аккумулятора:
 1 – катод; 2 – кислород (в соли); 3 – углерод (графит); 4 – анод;
 5 – литий; 6 – заряд; 7 – разряд; 8 – разделительный сепаратор

Первая зарядка аккумулятора сопровождается процессом встраивания лития в анод, что создает на электрозащитный ионопроводящий слой, защищающий электроды от вредных взаимодействий с электролитом.

В массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются три класса катодных материалов:

– кобальтат лития LiCoO_2 и твердые растворы на основе изоструктурного ему никелата лития;

– литий-марганцевая шпинель LiMn_2O_4 ;

– литий-феррофосфат LiFePO_4 .

Электрохимические схемы литий-ионных аккумуляторов:

– литий-кобальтовые $\text{LiCoO}_2 + 6\text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{LiC}_6$;

– литий-ферро-фосфатные $\text{LiFePO}_4 + 6\text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + \text{LiC}_6$.

Основные характеристики литий-ионного аккумулятора: напряжение заряженного элемента – 3,6–4,2 В, напряжение разряженного – 2,75 В, температурный режим – –20 до +60 градусов Цельсия, время заряда – 2–4 часа. Цикл жизни – свыше 1000 разряд/заряд аккумулятора.

Типичный график заряда литий-ионного аккумулятора показан на рис. 1.9. Зарядка происходит в три этапа: заряд постоянным током (объемный заряд), заряд постоянным напряжением (заряд насыщения) и подзарядки. Литий-ионный аккумулятор считается полностью заряженным, когда его напряжение достигает номинального значения (4,2 В) и зарядный ток падает примерно до 3 % от номинального значения. Литий-ионные аккумуляторы не могут поглощать перезаряд. Даже небольшой непрерывный ток после достижения полного заряда приведет к увеличению напряжения на ячейке. Когда напряжение ячейки достигает около 4,7 В, происходит распад электролита и растворителей и образуются легко воспламеняющиеся газы, ведущие к вздутию батареи и, в дальнейшем, к взрыву и возгоранию. Другим последствием перезарядки является литиевое покрытие. При чрезмерном токе после достижения полного заряда ионы лития не могут быстро аккомодироваться внутри слоев углерода, в результате чего ионы

лития накапливаются на аноде, то есть образуется литиевое покрытие. Следствием этого является потеря зарядной емкости и рост дендритов. Дендриты – это волокна из металлического лития. Эти образования могут стать причиной замыкания и выхода из строя батареи.



Рис. 1.9. Зарядка литий-ионного аккумулятора

Деградация батареи приводит к снижению емкости (рис. 1.10), постепенно уменьшая запас хода. Емкости аккумуляторов всех транспортных средств снижаются со скоростью 2,3 % в год. Тем не менее, аккумулятор электромобиля может разряжаться с большей или меньшей скоростью в зависимости от того, как эксплуатируется электромобиль: скорость разряда-заряда, температура хранения и эксплуатации и т. д.

Каждая зарядка аккумулятора электромобиля на 100 % значительно сокращает срок его службы, так как это приводит к коррозии алюминиевого коллектора и образованию газов внутри батареи, ведущих к внутреннему механическому напряжению. В итоге это приводит к разрядке аккумулятора. Чтобы продлить срок службы зарядка должна быть не более 80 % полной емкости. Оставшиеся 20 % позволят осуществлять рекуперативное торможение, которое может преобразовывать кинетическую энергию в полезную энергию, так как при заряде более 80 % эта функция автоматически отключается.

Нельзя разряжать аккумулятор до 0 %. Такая глубокая разрядка аккумуляторной батареи приведет к чрезмерному износу

и ухудшению состояния медного токосъемника и переходных металлов. Зарядку необходимо осуществлять только тогда, когда заряд аккумулятора электромобиля упадет до 10 %, чтобы он не оставался разряженным в течение длительного периода времени.

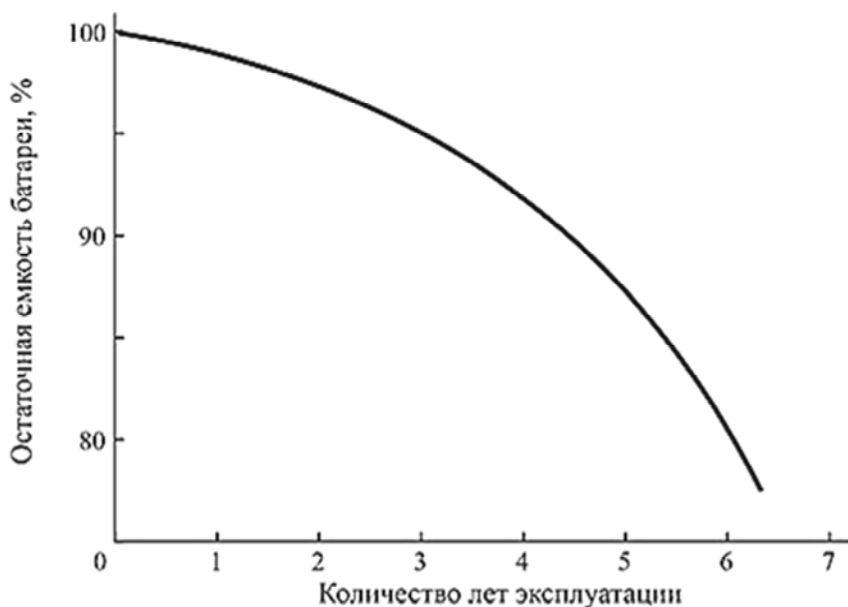


Рис. 1.10. Зависимость остаточной емкости батареи от пробега электромобиля

Быстрая зарядка сокращает общий срок службы аккумулятора вследствие интенсивного нагрева аккумулятора, которое ведет к ускорению химических реакций, разрушающих ячейки.

Технической задачей является обеспечение оптимальной скорости зарядки аккумуляторных батарей электромобилей, исходя из их технического состояния и остаточного ресурса.

Инновационными в развитии литий-ионных батарей являются разработки Tesla, проведенные совместно с Panasonic, изготавливающей не только электромобили, но и аккумуляторы к ним. Еще в 2020 году был представлен новый тип литий-

ионного аккумулятора, хранящий значительный объем энергии на единицу объема. Конструкторы Tesla не изменили пальчиковый формат литий-ионных аккумуляторов, но сделали элемент питания в 5 раз крупнее (рис. 1.11, *а*). До сих пор главной проблемой на пути увеличения отдельных аккумуляторов было то, что с ростом мощности увеличивается и их термонагруженность. Иначе говоря, такие элементы склонны к перегреву, а предлагаемые Tesla элементы решают эту проблему.



Рис. 1.11. Литий-ионные аккумуляторы Tesla:

- а* – общий вид и маркировка; *б* – конструкция нового вида аккумулятора;
 1 – стандартный аккумулятор; 2 – увеличенный аккумулятор;
 3 – корпус; 4 – гелеобразный электролит в виде рулона;
 5 – широкий контакт

Цилиндрические элементы Tesla увеличенного формата 4680 (46 мм диаметр, 80 мм – высота) используют бесконтактную пироконтактную конструкцию, отличающуюся от прежних более низкими значениями внутреннего сопротивления. Вместо контактной пластины ток подается на широкий контакт по всему краю полоски электрода (рис. 1.11, *б*).

На катодной фольге в ячейке сделана лазерная гравировка (рис. 1.12), чтобы создать спираль с черепицей, что приводит к сокращению длины прохождения заряда до 50 мм по сравнению с 250 мм в нынешних ячейках.



Рис. 1.12. Лазерная гравировка на катодной фольге

Новый элемент дает возможность получить снижения стоимости АКБ на 1 кВт/ч на 7 %, в результате существенного снижения затрат на ее производство. Запас хода электромобиля увеличиться на 16 %.

Однако предлагаемые аккумуляторы все же требуют более интенсивного охлаждения по сравнению с предыдущими батареями. Высокие требования при производстве увеличенных аккумуляторов предъявляются к электролиту по загрязнениям

металлическими частицами, которые становятся причиной короткого замыкания и последующего возгорания.

В 2022 году начался выпуск таких аккумуляторов на заводах Tesla, расположенных в разных странах.

Литий-ионные аккумуляторы Ultium General Motors (GM). АКБ этой фирмы имеют низкое содержание кобальта. По конструкции они представляют широкоформатные элементы в виде пакетов (рис. 1.13).

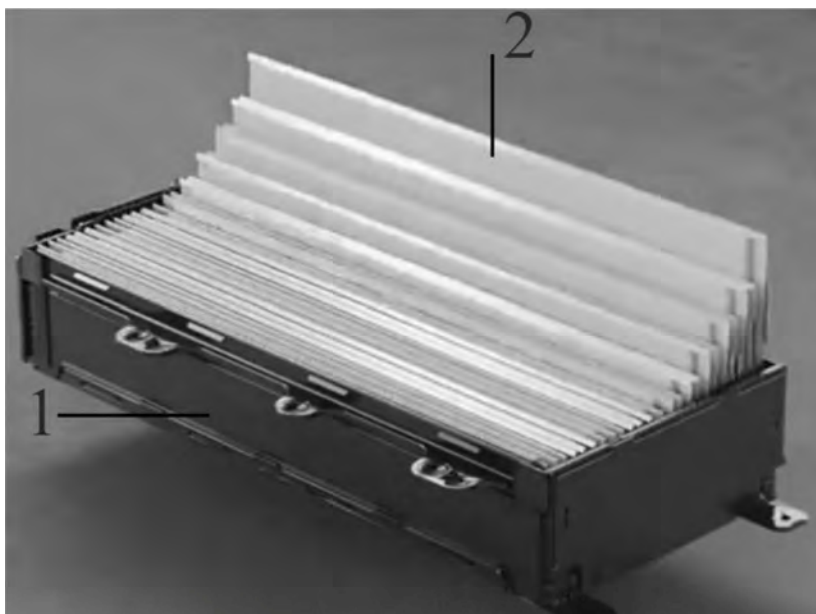


Рис. 1.13. Конструкция блока АКБ GM:

1 – корпус блока; 2 – ячейка

Ячейки плотно прилегают друг к другу, что уменьшает расстояние между ними и увеличивает энергоемкость ячейки. Конструкция АКБ позволяет устанавливать ячейки не только горизонтально, но и вертикально (рис. 1.14). В такой конструкции могут устанавливаться ячейки разных производителей и моделей электромобилей.

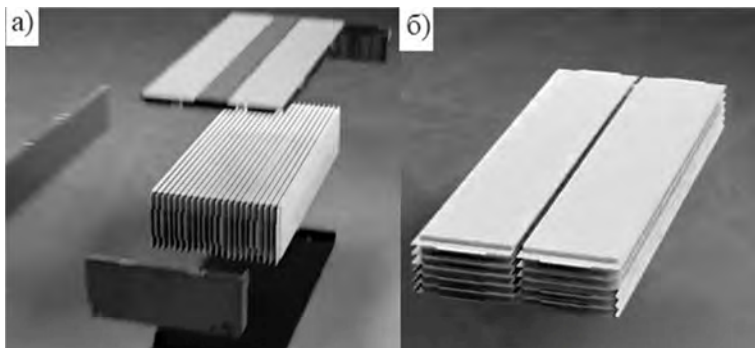


Рис. 1.14. Варианты установки ячеек:
a – вертикально; *б* – горизонтально

Модули ячейки могут устанавливаться в один или два ряда (рис. 1.15).

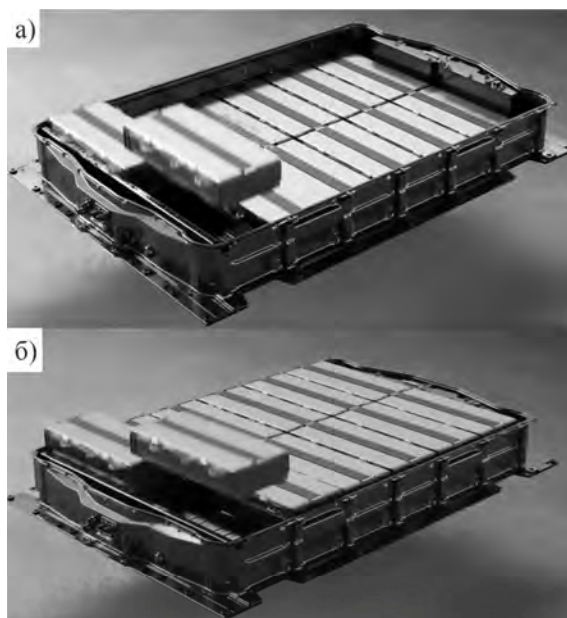


Рис. 1.15. Варианты установки модулей:
a – в один ряд; *б* – в два ряда

Модульная конструкция батареи позволяет ставить новые блоки взамен старым.

Существенным отличием электромобилей GM является то, что управление батареей производится на более детальном уровне, чем у других производителей. Большинство других систем управления батареями производителей работают на уровне всей АКБ. Система управления GM работает на уровне отдельных модулей.

Это позволяет инженерам оптимизировать плотность энергии аккумулятора и его компоновку для каждой конструкции автомобиля. В случае необходимости заменять часть АКБ в течение времени ее эксплуатации, вместо того чтобы сразу менять всю батарею. Емкость батарей Ultium варьируется от 50 до 200 кВт·ч, что может обеспечить для электрокаров GM максимальный запас хода в 645 км.

Преимущества литий-ионных аккумуляторов:

- большая плотность энергии – как весовая, так и объемная;
- напряжение на одном элементе батареи в три раза выше, чем у других разновидностей аккумуляторов;
- предельно быстрый заряд батареи до 90–95 % емкости за 30–40 минут;
- отсутствие эффекта памяти;
- низкий саморазряд (максимум 20 % в год и 6 % в месяц);
- длительный срок рок эксплуатации – до 10 лет;
- утилизация без переработки.

Недостатки литий-ионных аккумуляторов:

- возможность взрыва при зарядке или механическом повреждении аккумулятора;
- срок нормальной продуктивной работы не более пяти лет;
- достаточно высокая стоимость аккумуляторов.

1.4. Натрий-ионные аккумуляторы

Один из самых перспективных кандидатов на замену литий-ионным аккумуляторам – *натрий-ионный*. Вопрос перехода

на новые типы аккумуляторов назрел давно. Для прогресса в различных областях, особенно в автомобилестроении, нужны дешевые и емкие аккумуляторы, а литий дорожает год от года, к тому же он химически очень активен и пожароопасен. Результаты исследований показывают, что натриевые аккумуляторы могут заменить литий-ионные, используемые сегодня в электронных устройствах и некоторых типах электромобилей. При этом электроды могут быть сделаны из оксидов железа, а не из никеля или кобальта. Такие материалы, как натрий и железо, широко распространены в природе. Их использование приведет к снижению стоимости, при этом плотность энергии останется такой же, как и у литиевых аккумуляторов.

Натрий является одним из двух элементов в поваренной соли хлорида натрия (NaCl). В отличие от лития, он имеется в изобилии как в месторождениях (каменная соль), так и в морях и океанах. Следовательно, Na-ионные элементы могут быть во много раз дешевле, чем литий-ионные, и они должны быть сконструированы с использованием тех же веществ и структур, что и литий-ионные элементы.

Натрий-ионный аккумулятор (NIB) относится к типу электронной батареи и аналогичен литий-ионной батарее, но использует ионы натрия (Na) в качестве носителей. Его принцип работы и конструкция элемента (рис. 1.16) идентичны литий-ионной батарее с той лишь разницей, что соединения лития заменены соединениями натрия.

Во время зарядки Na извлекается из катода и вставляется в анод, пока электроны проходят через внешнюю цепь; во время разряда происходит обратный процесс, когда Na извлекается из анода и повторно вводится в катод, а электроны, проходящие через внешнюю цепь, выполняют полезную работу.

Анод, используемый в литий-ионных батареях, состоящий из графита, не может использоваться в натрий-ионных батареях, поскольку он не может накапливать более крупные ионы натрия в заметных количествах. В связи с этим в качестве материала для анода используется неупорядоченный углеродный

материал, состоящий из неграфитизируемой, некристаллической и аморфной углеродной структуры (называемой «твердым углеродом»). Инновационный анод натрий-ионного аккумулятора, разрабатываемого в НПЦ Национальной академии наук Беларуси по материаловедению выполнен из графеноподобного углерода, представляющего собой углеродный наноматериал. Графеноподобный углерод удерживает в себе жидкий металлический сплав натрия с калием (крупные ионы натрия) при зарядке. Благодаря тому, что активный электродный материал находится в жидкой фазе, снижается вероятность роста металлических дендритов и короткого замыкания аккумулятора.

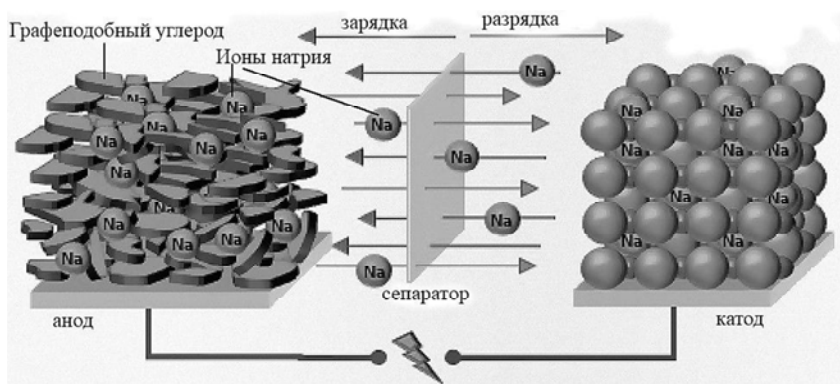


Рис. 1.16. Принцип работы натрий-ионного аккумулятора

Катоды в натрий-ионных батареях выполнены на основе натрийсодержащего материала (оксидов переходных металлов натрия). Как и литий-ионные катоды, катоды с ионами натрия также накапливают натрий посредством механизма реакции интеркаляции. Катод белорусского натрий-ионного аккумулятора выполнен как аналог берлинской лазури: железо с содержанием натрия ($\text{Na}_x[\text{Fe}(\text{CN})_6]$).

В натриево-ионных батареях можно использовать как водные, так и неводные электролиты. Ограниченное окно электрохимической стабильности воды приводит к созданию

натриево-ионных аккумуляторов с более низким напряжением и ограниченной плотностью энергии при использовании водных электролитов. Чтобы расширить диапазон напряжений натрий-ионных батарей, можно использовать те же полярные апротонные растворители неводного эфира карбоната, которые используются в литий-ионных электролитах, такие как этиленкарбонат, диметилкарбонат, диэтилкарбонат, пропиленкарбонат и т. д. В наиболее широко используемом в настоящее время неводном электролите используется гексафторфосфат натрия в качестве соли, растворенной в смеси этих растворителей.

У натрий-ионных батарей есть и недостатки. Натрий тяжелее лития, и удельная энергоемкость таких батарей заметно ниже: до 160 Вт·ч/кг против 250–280 Вт·ч/кг у литий-ионных. Кроме того, у натрий-ионных аккумуляторов выше требования к материалам катода и анода: неправильный подбор приводит к большим перепадам напряжения и падению эффективности.

1.5. Литий-железо-фосфатные батареи

В последние годы получают все большее распространение литий-железо-фосфатные аккумуляторы, дополненные разными материалами (например, марганцем), что позволяет заметно улучшить их энергетические характеристики.

Такие батареи в качестве накопителя энергии установлены на электробусе МА3-303 Е с запасом хода на одном заряде 300 км. Накопитель энергии состоит из разнесенной высоковольтной аккумуляторной батареи, включающей 18 модулей (12 на крыше и еще 6 – в моторной шахте), в специальном отсеке над двигателем, общей емкостью 412 А·ч. В задней части расположена розетка, куда подключается вилка кабеля для зарядки CCS2 Combo от зарядной станции, которая может обеспечить зарядное напряжение не менее 690 вольт. При быстром заряде с максимальной силой тока в 200 ампер весь процесс зарядки займет менее 4 часов. При заряде силой тока 70 ампер электробус зарядится за 8 часов. Данные способы являются опти-

мальными, т. к. зарядка при этом проводится в ночное время, а в дневное время автобус работает на линии.

Заявленная производителем величина хода электробуса составляет до 300 км, что может быть достигнуто только в весенне-летнее-осеннее время, при достаточно длительном световом дне и положительных температурах окружающего воздуха. В зимнее время расход электроэнергии значительно возрастает, в связи с включением световых приборов, системы отопления салона электробуса, обогрева аккумуляторных батарей.

Все это увеличивает расход и, как следствие, уменьшает запас хода до 220 км, вместо заявленных 300 км на одной зарядке.

Схематичное расположение компонентов электробуса показаны на рис. 1.17.

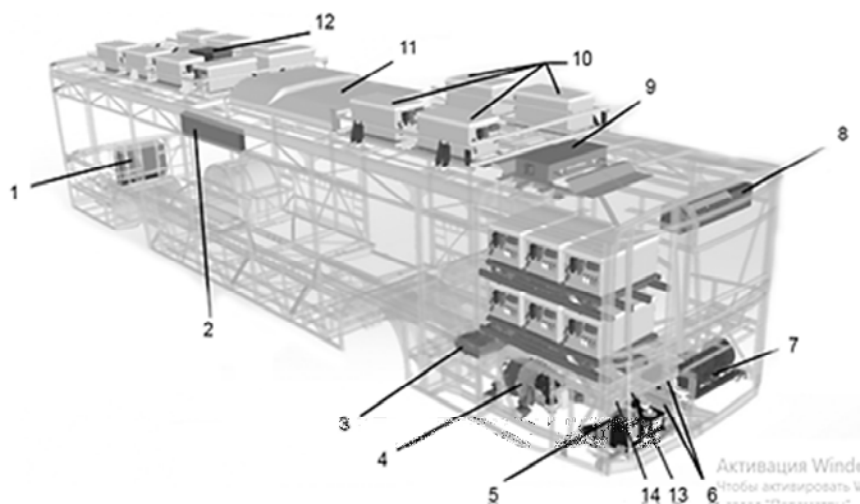


Рис. 1.17. Схема размещения электрооборудования:

- 1 – фронтбокс; 2 – плата предохранителей и контакторы;
- 3 – инвертор двигателя; 4 – двигатель; 5 – гидростанция;
- 6 – инверторы компрессора и гидростанции; 7 – компрессор;
- 8 – высоковольтные предохранители; 9 – коммутатор;
- 10 – аккумуляторная батарея; 11 – кондиционер;
- 12 – преобразователь 800/28В; 13 – ручные сервисные размыкатели;
- 14 – зарядная розетка

Реальная компоновка аккумуляторных модулей в электробусе МАЗ-303Е с приведением технических параметров модулей представлена на рис. 1.18.



Рис. 1.18. Компоновка аккумуляторных модулей в электробусе с техническими параметрами модулей

В электробусе МАЗ – 303Е используются литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LiFePO₄), имеющие сокращенное

название LFP. В данном типе литий-ионного аккумулятора в качестве катода используется LiFePO_4 .

В литий-железо-фосфатных аккумуляторах протекают реакции (рис. 1.20), основанные на взаимодействии литий-феррофосфата как материала катода и углерода в качестве материала анода: $\text{LiFePO}_4 + 6\text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + \text{LiC}_6$. Заряд переносят ионы лития. При разряде элемента питания они внедряются в кристаллическую структуру анода и отдают накопленный заряд, в результате чего протекают процессы окисления. При заряде источника питания ионы лития перемещаются от анода к катоду и накапливают заряд – происходит процесс восстановления.

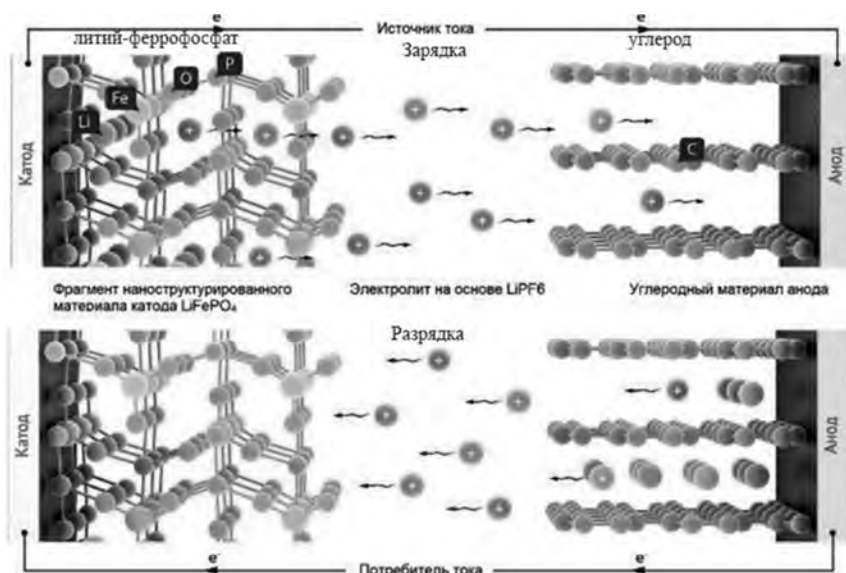


Рис. 1.19. Электрохимическая схема процесса разряда и заряда LiFePO_4 батареи. Знаком «+» обозначены ионы лития

Из всех типов литий-ионных аккумуляторов данный тип является наиболее безопасным. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LFP) не загораются при внутреннем и внешнем

металлическом КЗ. Они сравнительно дешевы и хорошо работают при повышенных температурах (до +60 °С). Вследствие этих факторов, они являются на сегодня, пожалуй, наиболее распространенными в энергетике и на электротранспорте. Эти аккумуляторы более стойки к перезаряду: если в течение длительного времени к ним приложено повышенное напряжение, то деградиционные последствия будут заметно меньше в сравнении с другими литий-ионными аккумуляторами. Также, в отличие от некоторых других литий-ионных АКБ, данные аккумуляторы сравнительно медленно деградируют при хранении, что позволяет хранить их до 15–25 лет (при применении специальных мер, связанных с периодическим циклированием). В качестве их преимущества можно рассматривать также то, что 12-В аккумуляторные блоки LFP могут сравнительно просто заменять аналогичные 12-В аккумуляторные блоки свинцово-кислотных аккумуляторов в целом ряде применений.

Если сравнить падение напряжение литий-железо-фосфатного аккумулятора по сравнению с кислотным аккумулятором (рис. 1.20), то можно заметить, что литий-железо-фосфатный даже при значительной потере емкости до 98 %, сохраняет напряжение 12 В, в то время как у свинцового аккумулятора напряжение 12 В составляет при потере емкости 10 %, и далее напряжение резко падает.

Литий-железо-фосфатные аккумуляторы терпимее к полному разряду и менее подвержены «старению», чем другие литий-ионные системы. Также LFP более устойчивы к перезаряду, но, как и в других аккумуляторах литий-ионного типа, перезаряд может вызвать повреждение. LiFePO_4 обеспечивает очень стабильное напряжение разряда – 3,2 В, это же позволяет использовать всего 4 элемента для создания батареи стандарта 12 В, что, в свою очередь, позволяет эффективно заменять свинцово-кислотные батареи. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы не содержат кобальт, это существенно снижает стоимость продукта и делает его более экологически чистым. В процессе разряда обеспечивает высокий ток, а также может

быть заряжен номинальным током всего за один час до полной емкости. Эксплуатация при низких температурах окружающей среды снижает производительность, а температура свыше 35 °С – несколько сокращается срок службы, но показатели намного лучше, чем у свинцово-кислотных, никель-кадмиевых или никель-металлогидридных аккумуляторов. Литий-фосфат имеет больший саморазряд, чем другие литий-ионные аккумуляторы и балансировки. Число циклов заряд-разряд до потери 20 % емкости может достигать 7000, срок хранения: до 15 лет.

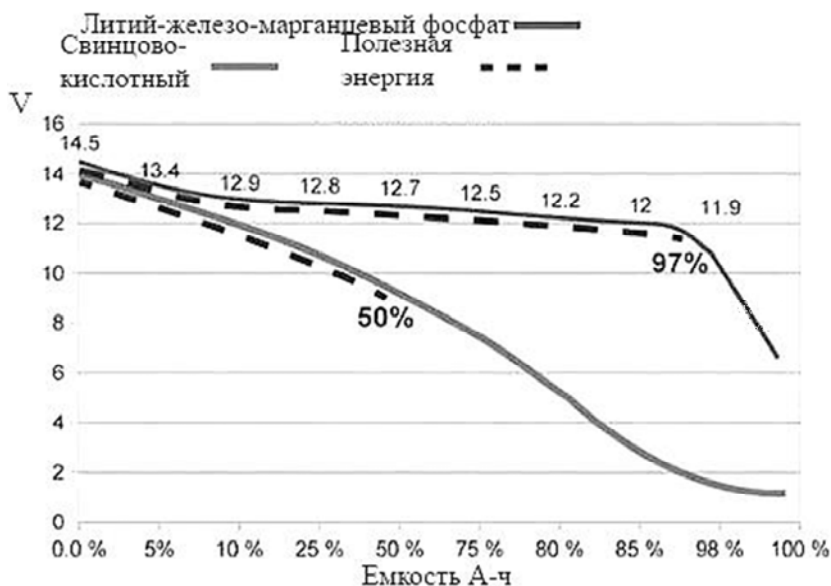


Рис. 1.20 Сравнительная характеристики изменения напряжения в зависимости от емкости литий-железо-фосфатного и кислотного аккумулятора

Литий-железо-фосфатный аккумулятор следует укомплектовывать защитной платой BMS. С помощью платы BMS обеспечивается полноценная работа балансировки ячеек. При этом само напряжение периодически падает, тем самым

сохраняя нормальную температуру батареи, при которой зарядка литий-железо-фосфатного аккумулятора становится безопасной. Как правило, балансировка активируется при напряжении от 3,6 до 3,75 вольт.

Для продления срока эксплуатации LiFePO_4 , заряжать его рекомендуются до 3,65 В в обоих случаях при превышении пиковых значений. Таким образом, нижний диапазон работы аккумуляторов принимается не ниже 3 В. А верхний диапазон принимается 3,3 В при зарядке от зарядной станции, для возможности дальнейшего использования рекуперации и не более 3,65 при рекуперации.

Преимущества литий-железо-фосфатной батареи по сравнению с литий-ионной:

1. Безопасность и стабильность химической структуры.
2. Упрощенная утилизация благодаря химической безопасности фосфатов.
3. Отсутствие риска взрыва и возгорания при механическом повреждении, но есть вероятность выделения большого количества паров и дыма.
4. Стабильность напряжения в процессе разряда.
5. Низкий саморазряд.
6. Устойчивость к высоким нагрузкам при заряде-разряде.
7. Подверженность эффекту старения и безвозвратной потери емкости – 1,5 % в год по сравнению с 10 % в год у остальных литийионных батарей.
8. Морозоустойчивость. Некоторые модели способны работать даже при -40 C° .
9. Имеет более высокий пиковый ток и пиковую мощность из-за стабильности напряжения, чем литий-ионный аккумулятор.

Недостатки в сравнении с литийионными аккумуляторами:

1. Более высокая стоимость.
2. Удельный вес на 14 % больше, чем у остальных литийионных аккумуляторов.
3. Удельная плотность энергии (энергия/объем) новых батарей ниже на 14 % по сравнению с литийионными.

4. Могут иметь неспособность отдать полную емкость при больших токах разряда.

5. В случае полного разряда ниже 2 В происходит эффект деградации и полный выход из строя элемента с долгим восстановлением и потерей части емкости или невозможность восстановления.

6. Более низкое рабочее напряжение: 3,3 В против 4,2 В для Li-ion аккумуляторов, что приводит к дополнительному добавлению элементов, приводящему к увеличению веса и габаритов.

К недостаткам рассматриваемых аккумуляторов нужно отнести также узкий диапазон температур эксплуатации (не допускают заряд при отрицательных температурах), более высокое внутреннее сопротивление. В связи с этим в последние годы получают все большее распространение литий-железо-фосфатные аккумуляторы, допированные разными материалами (например, марганцем), что позволяет заметно улучшить их энергетические характеристики.

1.6. Графеновые аккумуляторы

По мнению многих специалистов в области развития электромобилей графеновые аккумуляторы (рис. 1.21) – это наиболее перспективный вид хранения электроэнергии. Они на 70 % дешевле литиевых аналогов, в два раза легче по весу, а благодаря уникальным электропроводным свойствам графена, могут быть полностью заряжены всего за 9 минут, и этого заряда хватит на 1000 километров пробега электромобиля.

В Беларуси разработан натрий-графеновый аккумулятор. Применение такого аккумулятора обеспечивает мощность, емкость и прочие необходимые параметры в 2,5–3 раза выше по сравнению с литием.

Графен представляет собой искусственно разработанное вещество пленкообразной структуры из атомов углерода толщиной в один атом, расположенных в гексагональной решетке (в виде шестиугольников) (рис. 1.22).



Рис. 1.21. Графеновая аккумуляторная батарея

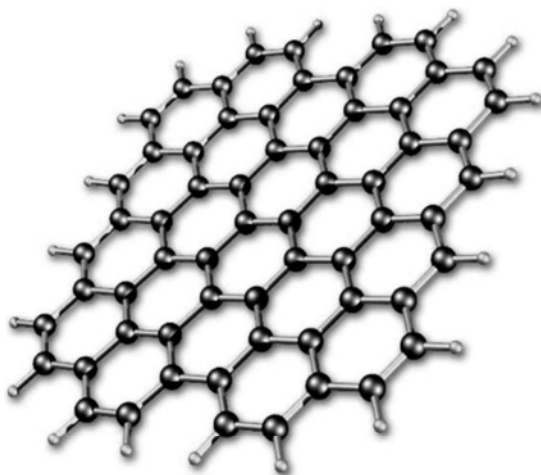


Рис. 1.22. Структура графена

В сущности, это вещество является плоскостью графита, отделенной от общей структуры материала. Атомы углерода графена «объединяются» и получается шестигранная кристаллическая решетка. Их связь настолько высокоплотная, что вещество имеет высокую степень жесткости и огромный запас

теплопроводности. При этом электроны в графене сохраняют свою подвижность, что необходимо для функционирования АКБ. Особенность графеновых аккумуляторов – при малом весе они имеют большую емкость.

Графеновые АКБ (рис. 1.23) работают за счет той же электрохимической реакции, что присуща и другим источникам питания и более всего схожа с литий-ионными источниками питания, в которых задействован твердый электролит. В случае с графеном катод выполнен из угольного кокса в связи с тем, что его химический состав приближен к чистому углероду, а графит заменен на графен.

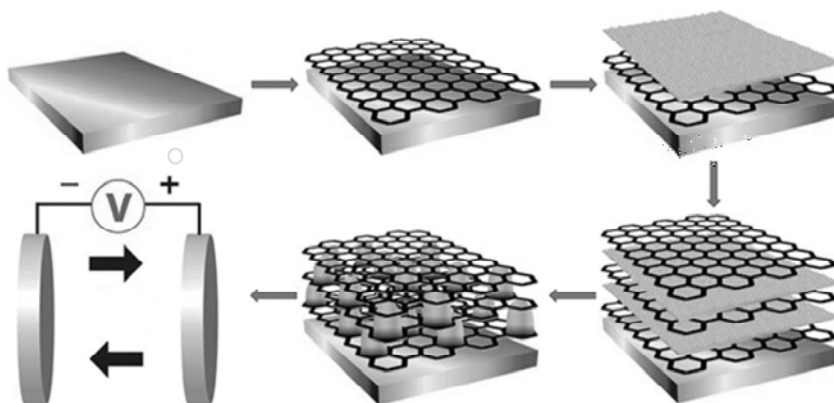


Рис. 1.23. Принципиальное устройство графеновой АКБ

Для повышения «вместимости» батареи ученые начали устанавливать между слоями графена кластеры из кремния. Емкость батареи зависит от того, сколько ионов находится в кристаллической решетке анода. Скорость перемещения ионов влияет на то, как быстро заряжается аккумулятор.

Для повышения скорости зарядки в пластинах графена делают небольшие отверстия, 15–20 нм (нанометров).

Графеновый аккумулятор такого же веса как литий-ионный (при 200 Вт/ч на 1 кг веса) имеет удельную емкость 1000 Вт/ч.

Такая батарея, установленная, например, в Tesla Model S, способна увеличить пробег электромобиля с 334 км до 1013 км на одной подзарядке

Преимущества графеновых аккумуляторов:

1. Исходное сырье доступно и распространено. Сейчас графен производят в промышленных масштабах, причем довольно простым способом.

2. Малый вес. Масса 1 м² графена менее 1 грамма. Значит снижается общая масса аккумулятора, что вносит свои коррективы в производство электромобилей.

3. Экологически чистое вещество, не оказывающее негативного воздействия на окружающую среду.

4. Высокие показатели прочности и водонепроницаемости;

5. Поврежденные участки быстро восстанавливаются.

6. Проводимость выше, чем у любого доступного сейчас полупроводника.

7. Высокая удельная емкость. Если графеновая батарея применяется как источник тока, то электрический автомобиль способен «на ней» проехать 1000 км не подзаряжаясь.

8. Технически долговечное вещество, мощность которого не снижается из-за частых циклов зарядки/разрядки.

9. Быстро заряжается.

Недостаток графенового аккумулятора – нет совершенных конструкций.

1.7. Твердотельные АКБ

Твердотельные АКБ – это быстро развивающаяся технология нового поколения батарей. Твердотельные батареи, как следует из их названия, представляют собой батареи, которые имеют как твердые электроды, так и твердые электролиты, которая пришла на смену литий-ионным и литий-полимерным лидерам рынка. Основное отличие таких батарей от литий-ионных аккумуляторов состоит в том, что электролит находится в твердой, а не в жидкой форме. Батареи подобного типа

в настоящее время широко используются в кардиостимуляторах. В настоящее время началось их использование в японских, китайских некоторых других электромобилях. Общий вид твердотопливной батареи и ее элемента показан на рис. 1.24.

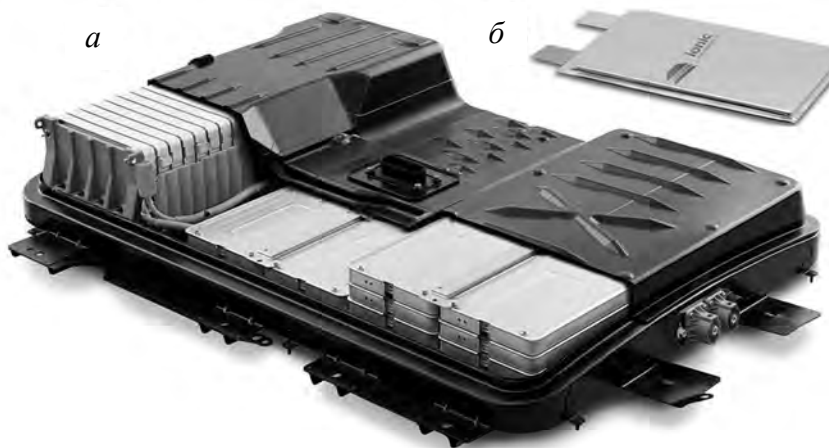


Рис. 1.24. Твердотельная АКБ:
а – аккумуляторная батарея; *б* – элемент

Твердотельный электролит может принимать форму керамики, стекла, сульфитов или твердых полимеров, в отличие от жидкого или полимерного геля, используемого в обычных литий-ионных батареях. Плотность энергии в таких батареях одинакового размера превышают плотность литий-ионных батарей в несколько раз.

Электролит в твердотельном аккумуляторе состоит из ионов фтористых соединений (полимерные и композитные материалы на основе неорганических оксидов и сульфидов) и находится в твердом состоянии. Анод сделан из металлического лития или фтористых соединений меди и кобальта, а катод из лонтана. Анод отделен от катода керамическим электролитом.

Для того чтобы создать твердый электролит, который проводит ионы так же легко, как жидкий, перемешивают мелкие

частицы материала катода с твердым электролитом, в который вносят особую добавку, повышающую электропроводность. Эта конфигурация позволяет ионам и электронам более легко двигаться в катоде.

Принцип работы твердотельной батареи аналогичен литий-ионной. Основным преимуществом твердотельных батарей является их компактность и уменьшение веса. В жидкотельных батареях типа литий-ионная необходим значительный объем гелевой жидкости толщиной около 20...30 мк, разделяющий катод и анод для избегания короткого замыкания (рис. 1.25). Сепаратор же твердотельного аккумулятора 3–4 мк (что значительно тоньше человеческого волоса) невоспламеняемый. В обычной литий-ионной ячейке сепаратор изготавливается из органических материалов и служит одной из причин пожароопасности элементов. В связи с этим в твердотельную батарею помещается вдвое больше энергии, чем в такие же литий-ионные толщины.

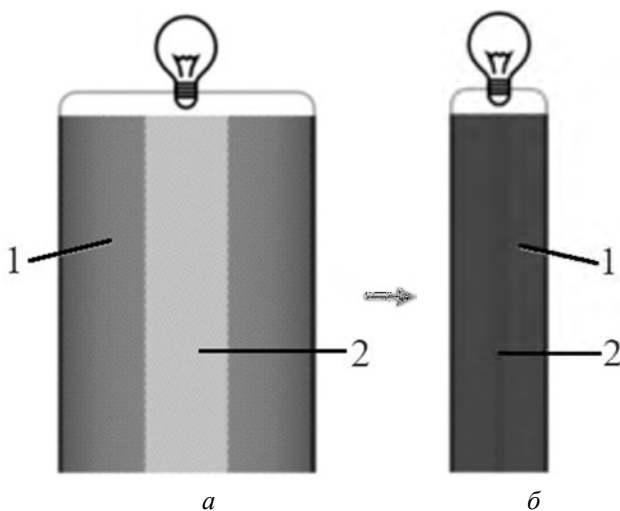


Рис. 1.25. Сравнительные величины толщины сепаратора:
a – жидкотельная батарея; *б* – твердотельная батарея;
1 – электролит; 2 – сепаратор

Одной из разновидностей твердотельных аккумуляторов являются аккумуляторы калифорнийской компании QuantumScare (рис. 1.26). Главной особенностью твердотельных литий-металлических аккумуляторов QuantumScare можно считать то, что аккумуляторы при изготовлении не имеют анода. Он формируется в уже собранной аккумуляторной ячейке путем осаждения металлического лития в процессе заряда ячейки.

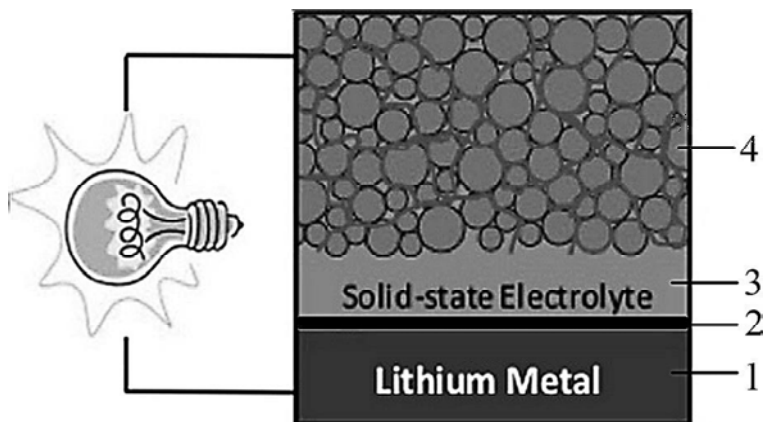


Рис. 1.26. Схема твердотельного аккумулятора:
1 – анод; 2 – сепаратор; 3 – твердотельный электролит; 4 – катод

Важной особенностью батареи является твердотельный керамический сепаратор. Он препятствует образованию дендритов – игольчатых наростов металла на аноде – даже при высокой плотности тока, которые могут становиться причиной возгорания и короткого замыкания в батарее, и позволяет использовать в батареях QuantumScare металлический литий в качестве анода.

Для зарядки литий-твердотельного аккумулятора QuantumScare с 0 до 80 % потребуется 15 минут. Батарея способна сохранять более 80 % от первоначальной емкости после 800 циклов перезарядок в стандартных условиях, что соответствует 386 тысячам километров пробега электромобиля.

Преимущества твердотельного аккумулятора:

- переход от графита на аноде (как у Li-ion) к чистому литию увеличивает удельную энергию (меньше размеры и вес, дольше держит заряд);

- трехмерная структура поверхностей позволяет сделать слои тоньше (увеличивается емкость, дольше работает от одной зарядки);

- отказ от жидкого электролита в пользу твердого полимера или керамического сепаратора решает проблему дендритов (увеличен срок службы);

- совокупное применение новых материалов позволяет ячейке принимать заряд за короткое время (самая быстрая зарядка из доступных).

Недостатки твердотельного аккумулятора:

- литиевый анод подвержен расширению при заряде и сжатию при разряде (проблема безопасности, для которой фактически найдено решение);

- пока удастся уменьшить размеры, но не вес ячеек;

- безопасность сильно зависит от конкретных материалов и их сочетания (одни твердотельные аккумуляторы безопаснее других).

Среди других преимуществ батареи QuantumScare можно отметить хорошее сохранение работоспособности при температуре до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. В дополнение элементы питания QuantumScare не нуждаются в системах удержания тепла.

1.8. Устройство силовых АКБ электромобилей

Аккумуляторная система питания включает в себя электронную плату системы управления 1; блок 2, модуль 3, ячейку 4 (рис. 1.27).

Блок батарей (рис. 1.28) представляет собой последовательное и параллельное соединения элементов батарей. Последовательно соединенные секции увеличивают напряжение, параллельно соединенные секции увеличивают емкость.

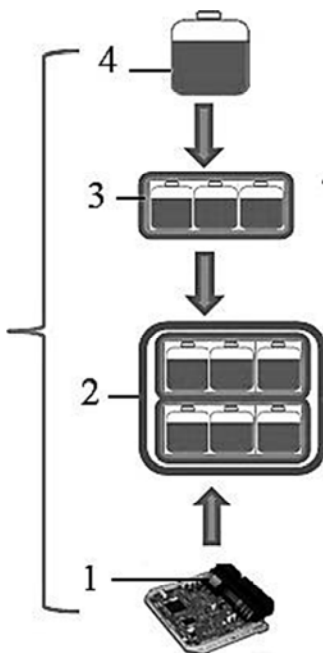


Рис. 1.27. Элементы система питания АКБ:
 1 – электронная плата системы управления;
 2 – блок; 3 – модуль; 4 – ячейка

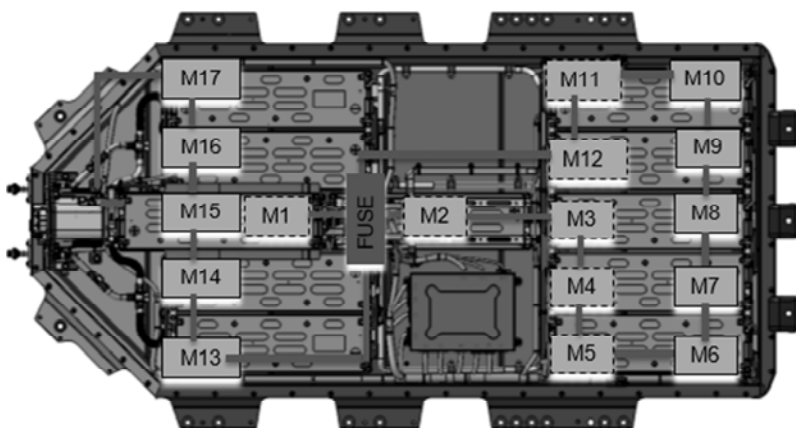


Рис. 1.28. Блок АКБ электромобиля «Геометрия»

Ячейка – это базовое единичное устройство, которое напрямую преобразует химическую энергию в электрическую, состоит из электродов, сепаратора, электролита, корпуса и клемм, является перезаряжаемым.

Модуль (рис. 1.29) – это комбинация, в которой более одной ячейки объединены последовательно, параллельно или последовательно-параллельно, и только пара клемм, положительная и отрицательная, используется в качестве источника питания.

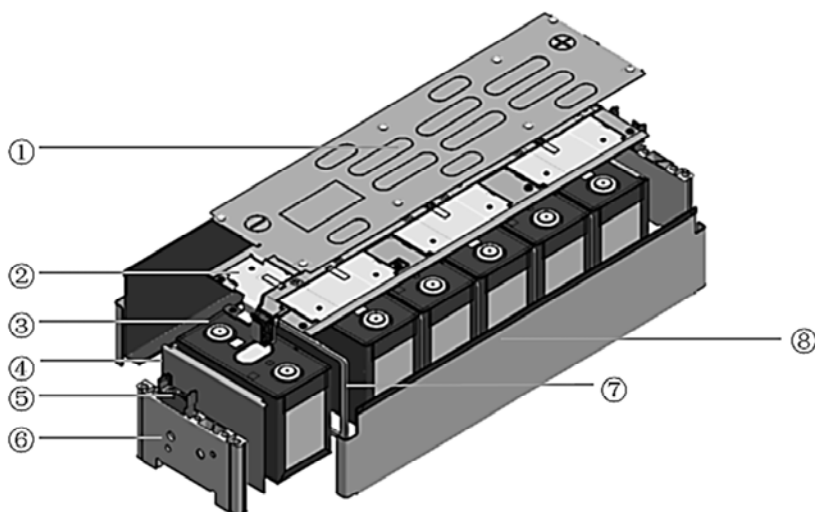


Рис. 1.29. Модуль АКБ электромобиля «Геометрия»:

- 1 – верхнее покрытие; 2 – плата изоляции жгута проводов в сборе;
- 3 – ячейка батареи; 4 – изоляционная пленка торцевой плиты;
- 5 – основание выходного каскада; 6 – торцевая плита;
- 7 – прокладка; 8 – боковая плита

В качестве примеров рассмотрим несколько высоковольтных батарей. Тяговая батарея электромобиля JAGUAR I-PACE (рис. 1.30) состоит из 432 литий-ионных элементов, объединенных в блоки по 12 элементов. Номинальное напряжение такого блока – 10,8 В. В системе установлено 36 модулей, каждый из которых способен выдать до 232 Ач, что, в свою

очередь, обеспечивает емкость высоковольтной аккумуляторной батареи до 8352 Ач. Модули расположены внутри блоков высоковольтной аккумуляторной батареи. Блоки соединены последовательно, образуя высоковольтную аккумуляторную батарею. Номинальное напряжение этой высоковольтной аккумуляторной батареи составляет 388,8 В при емкости 8352 Ач.

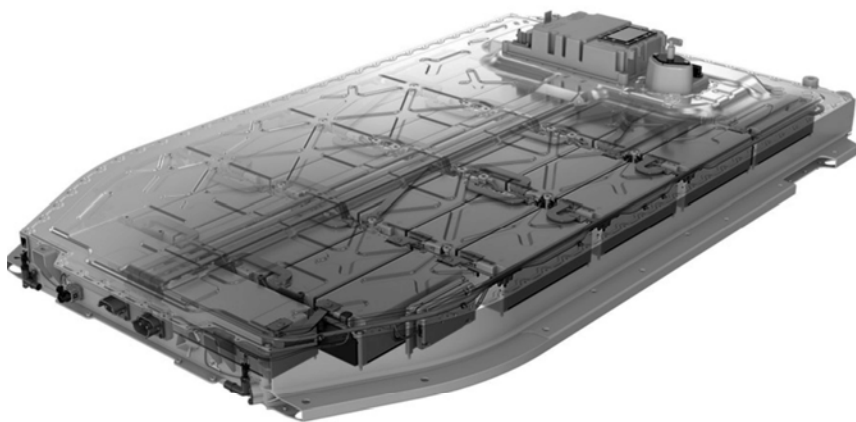


Рис. 1.30. Высоковольтная батарея электромобиля JAGUAR I-PACE

В тяговой батарее Geometry C используется тройной литий-ионный аккумулятор: в качестве положительного электрода используются такие соединения, как кобальтат лития, манганат лития, никелат лития, в качестве отрицательного электрода используются углеродные материалы (графит), способные интеркалировать ионы лития, используется органический электролит. Блок тяговой батареи установлен в нижней части кузова автомобиля, компоненты тяговой батареи включают в себя: каждый модуль в сборе, систему сбора данных CSC, блок управления батареей (BMS), блок распределения высокого напряжения батареи (B-BOX) и другие компоненты.

Высоковольтная батарея электромобиля e-Crafter (рис. 1.31) состоит из 27 модулей, выдающих номинальное напряжение 323 В при емкости 111 А·ч.

Блок управления системы регулирования АКБ, встроенный в коммутационный блок высоковольтной батареи 3, выполняет следующие функции:

- контроль контрольной цепи;
- проверка сигнала удара;
- функция задающего устройства для блока управления контроля модулей аккумуляторов.

Блок управления контроля модулей аккумуляторов выполняет следующие функции:

- управление контакторами;
- регулирование уровня заряда;
- контроль изоляции;
- измерение тока до и после контакторов.

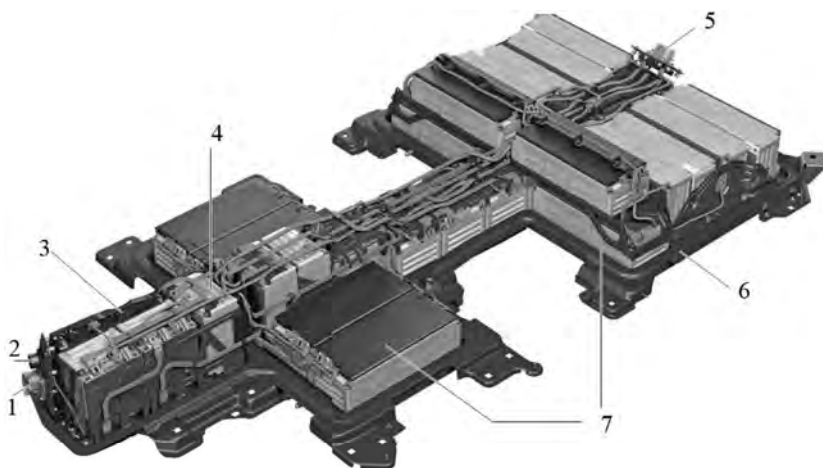


Рис. 1.31. Высоковольтная батарея электромобиля e-Crafter:
1 – высоковольтный разъем; 2 – разъем подключения к бортовой сети 12 В;
3 – коммутационный блок высоковольтной батареи,
включающий в себя: – блок управления системы регулирования
и блок управления контроля модулей аккумуляторов;
4 – десять модулей батареи с 6 ячейками как подчиненные модули;
5 – зарядный разъем (DC) для зарядки батареи постоянным током;
6 – нижняя часть батареи; 7 – семнадцать модулей батареи с 12 ячейками,
разделенные на 8 задающих модулей и 9 подчиненных модулей

Высоковольтные батареи оборудуются уравнительными взрывобезопасными клапанами (рис. 1.32).

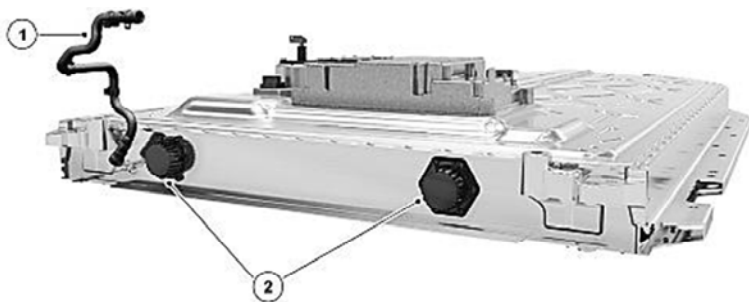


Рис. 1.32. Корпус высоковольтной батареи с уравнительными взрывобезопасными клапанами:

1 – вентиляционная трубка; 2 – клапана

Основной функцией взрывоопасного клапана является уравнивание давления внутри батареи и предотвращение взрыва.

В клапанах установлены мембраны, которые разрываются при возникновении избыточного давления (приблизительно на 0,2 бара выше атмосферного давления) в корпусе высоковольтной аккумуляторной батареи. За счет этого обеспечивается контролируемый сброс избыточного давления. В аккумуляторных батареях устанавливается вентиляционная трубка, которая выравнивает давление. На конце вентиляционной трубки имеется обратный клапан, который препятствует проникновению воды.

Высоковольтная аккумуляторная батарея может иметь различные соединения с системами высокого и низкого напряжения такие как:

- высоковольтное соединение с распределительной коробкой высокого напряжения;
- высоковольтное соединение с инвертором;
- соединение с внешними датчиками температуры охлаждающей жидкости высоковольтной аккумуляторной батареи;
- низковольтный разъем, включая сети передачи данных и контура блокировки высокого напряжения и др.

1.9. Порядок выполнения работы

В процессе лабораторного занятия студент обязан:

- ознакомиться с описанием предстоящей лабораторной работы;
- изучить основные технические и эксплуатационные характеристики тяговых АКБ;
- изучить конструкции и принцип работы тяговых АКБ;
- подготовить ответы на контрольные вопросы;
- подготовить отчет по выполненной работе.

1.10. Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Цель работы.
3. Основные теоретические положения, относящиеся к выполняемой работе.
4. Назначение, основные технические характеристики, краткое описание работы, основные виды АКБ тяговых двигателей и принцип их работы.
5. Краткие выводы по результатам выполнения работы.

1.11. Контрольные вопросы

1. Перечислите виды тяговых АКБ.
2. Объясните устройство и принцип работы литий-ионных АКБ. Их основные преимущества и недостатки.
3. Объясните устройство и принцип работы натрий-ионных АКБ. Их основные преимущества и недостатки.
4. Объясните устройство и принцип работы литий-железо-фосфатных АКБ. Их основные преимущества и недостатки.
5. Объясните устройство и принцип работы твердотельных АКБ. Их основные преимущества и недостатки.
6. Расскажите об общем устройстве силовых АКБ электромобилей.
7. Что означает блок, модуль, ячейка тяговой АКБ

Лабораторная работа № 2

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКБ BMS (BATTERY MANAGEMENT SYSTEM)

Цель работы: Изучить и закрепить знания по устройству и принципу действия система управления тяговых аккумуляторных батарей BMS.

Организация рабочего места: на рабочем месте должен быть учебный стенд, АКБ для тяговых двигателей, блоки системы управления аккумуляторных батарей BMS, мультиметр.

2.1. Общие положения

В состав системы питания батарей в электромобилях включается электронная система управления аккумуляторных батарей BMS, которая управляет зарядным и разрядным процессом аккумуляторной батареи, отвечает за безопасность ее работы, проводит мониторинг состояния батареи, оценку вторичных данных работоспособности.

При возникновении проблемы система управления аккумуляторной батареей генерирует коды ошибок. Все данные отправляются на другие блоки управления и на диагностический тестер по связи CAN.

BMS интегрирована в блок тяговой батареи и является основным компонентом системы управления батареей.

Рассмотрим систем управления аккумуляторных батарей BMS на примере электромобиля Geometry C. В каждом блоке батарей имеется BMS, который состоит из блоков CSC, BMU и BDU.

Блок напряжения и температуры CSC. Каждый модуль имеет CSC для отслеживания информации о напряжении и температуре каждой ячейки и передачи информации BMU. Система сбора данных CSC сообщает соответствующую информацию блоку управления батареей (BMS) и выполняет выравнивание напряжения блока в соответствии с инструкциями BMS.

Блок контроля батареи (BMU). BMU находится в тяговой батарее в сборе. Как основной компонент BMS, BMU ответственен за диагностику автомобиля, связь, калибрование, контроль зарядки, отслеживание столкновений, взаимоблокировку высокого напряжения, терморегулирование, контроль выравнивания, отбор проб высокого напряжения, отслеживание изоляции высокого напряжения, высоковольтный релейный привод, диагностику реле высокого напряжения, контроль высоковольтной предварительной зарядки, управление CSC и BDU, управление состоянием батареи, стратегию применения и др.

Блок распределения высокого напряжения батареи (B-BOX или BDU). Этот блок установлен на положительных и отрицательных выходных клеммах тяговой батареи и состоит из главного положительного реле, главного отрицательного реле, реле предварительной зарядки, реле зарядки, датчика тока (CSU) и резистора предварительной зарядки. Реле заряда и резистор предварительной зарядки образуют цепь предварительной зарядки, чтобы предотвратить повреждение электрических компонентов и конденсаторов двигателя чрезмерным током контура.

2.2. Функции системы управления BMS

Основными функциями системы управления АКБ являются следующие.

1. *Контрольная функция.* Контролирует напряжение: общее, отдельных элементов, наибольшее и наименьшее каждого компонента; температурный режим: усредненный, на выходе, электролита, отдельных составляющих АКБ, платы БМС; токи заряда/разряда; глубину заряда/разряда; рабочее состояние.

Схема имеет возможность сохранять в памяти некоторые данные: число циклов заряда/разряда, значение наибольшего и наименьшего напряжения составляющих и тока зарядки/разрядки.

2. *Интеллектуально-вычислительная функция.* На основе выше приведенных пунктов, система контроля АКБ оценивает:

предельно допустимый ток заряда; количество электроэнергии, которая поставляется при зарядке или же теряется при разряде; сопротивление компонентов; сколько поработала АКБ во время эксплуатации. Для определения количества использованной и накопленной энергии контролируется входной и выходной ток АКБ.

3. *Связная функция.* Микросхема предоставляет возможность подавать вышеприведенные данные на внешние устройства управления, посредством проводной либо беспроводной связи.

4. *Защитная функция.* Система защиты АКБ оберегает ее, не давая выходить на тот режим работы, который может нанести ущерб. Микросхема осуществляет безопасное подключение и отключение нагрузки, ее гибкое регулирование, а также защищает электробатарею от: перегрузки по току; перенапряжения по ходу зарядки; падения напряжения ниже установленного уровня во время разряда; переохлаждения и перегрева; утечки. Для информации о состоянии батарей на ней установлены датчики: температуры, измеряющие температуру и предотвращающие ее перегревание; тока напряжения, определяющие состояние батареи и представляют данные для поддержания баланса зарядки ячейки.

Во время разрядки или АС (медленная зарядка) зарядки, когда BMS обнаруживает, что сопротивление изоляции системы высокого напряжения электромобиля ниже 500 Ом/В, он посылает сигнал об утечке в системе высокого напряжения и сигнал о неисправности разрядки (разрядки) или сигнал о неисправности зарядки (АС зарядка). Когда обнаруживается, что сопротивление изоляции системы высокого напряжения ниже 100 Ом/В в течение DC зарядки, отправляются сигналы об утечке в системе высокого напряжения и сигнал о неисправности зарядки.

В течение процесса старта разрядки, когда BMS обнаруживает утечку в системе высокого напряжения, передается сигнал о неисправности. В этом случае электромобиль не допускается к подключению к системе высокого напряжения. Блок управления инвертора (VCU) замыкает основное реле и отправляет

сигнал о неисправности системы, высвечивая сигнал о неисправности системы на щитке приборов.

Если утечка высоковольтной системы происходит во время работы автомобиля, BMS будет ограничивать выходную мощность до 0 кВт от текущей мощности разряда в течение минуты, VCU будет ограничивать выходную мощность в соответствии с текущей мощностью непрерывного разряда переданной BMS. При скорости автомобиля ≤ 2 км/ч, VCU будет посылать системе высоковольтных аксессуаров недопуск к разрядке. После остановки работы высоковольтных компонентов, VCU замыкает основное реле, BMS отключает положительные контакторы и отрицательный контактор после получения команды основного реле. Индикатор готовности выключается. Прибор подает сигнал тревоги и загорается индикатор неисправности системы.

Если электромобиль подзаряжается на AC или DC (быстрой) зарядке и BMS обнаруживает утечку высоковольтной системы, будет отправлен сигнал утечки высоковольтной системы и сигнал неисправности системы, в то же время будет отправлено сообщение об окончании стадии зарядки и электромобиль перестанет заряжаться.

На основании информации, полученной от датчиков контроллер батареи рассчитывает следующие параметры:

- состояние заряда (SoC – State of Charge), информирующее о том, сколько или как долго батарея еще может отдавать или потреблять энергию;

- состояние работоспособности (SoF – State of Function), описывающее производительность (мощность) аккумулятора, т. е. количество киловатт, которое накопитель энергии может обеспечить двигателю.

- пригодность (SoH – State of Health), характеризующая степень старения батареи, которая является критерием для определения количества заряда, который еще потребляют элементы (способность к заряду снижается с возрастом батареи).

Эти параметры состояния и, в частности, состояние заряда необходимы для управления высоковольтной системой привода.

Контрольная плата может нейтрализовать опасный для АКБ процесс, воздействуя непосредственно на аккумулятор либо подавая нужный сигнал контроллеру о недопустимости дальнейшего использования АКБ. Система отключает АКБ от нагрузки или зарядного приспособления в ситуации, когда хотя бы один из рабочих параметров выйдет за рамки принятых значений.

5. *Функция балансировки.* Обеспечение равного заряда всех ячеек АКБ, для продления срока его службы.

2.3. Балансировка тяговой АКБ

Даже при небольшом превышении заряда некоторых элементов аккумуляторной батареи они в процессе работы не смогут отдавать нужную емкость и из-за неравномерного распределения заряда и АКБ может стать неработоспособной. Компоненты с самым маленьким уровнем будут довольно быстро разряжаться, а элементы, обладающие большей емкостью будут разряжаться только отчасти (рис. 2.1).

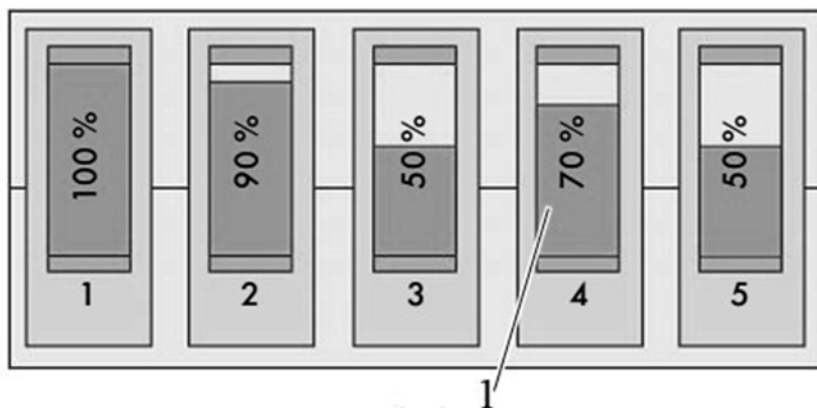


Рис. 2.1. Примеры возможного отличия степени разреженности пар элементов друг от друга:
l – степень разреженности

В этом случае помогает балансировка аккумулятора, которую осуществляет BMS. Микросхема тщательно следит, чтобы по окончании зарядного процесса все компоненты АКБ получили равномерное напряжение. Когда зарядное мероприятие подходит к логическому окончанию, BMS осуществляет балансировку посредством шунтирования подзарядившихся компонентов либо переправляет энергию ячеек с повышенным напряжением, компонентам на которых оно меньше. Если какие-то ячейки заряжаются быстрее, чем другие, то их зарядный ток частично направляется через резистор и транзистор.

Блок контроля АКБ, балансируя агрегат и контролируя температурный режим, а также осуществляя ряд других функций, обеспечивает максимально долгий срок эксплуатации батареи.

Суть балансировки заключается в принудительном выравнивании напряжений на каждой ячейке (элементе) (рис. 2.2).

temp °C	22,0	17,0	17,0	21,0	22,0	22,0	21,0	22,0
1	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88
9	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88
17	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88

Рис. 2.2. Фрагмент карты ячеек

Существует два типа балансировки – пассивная и активная.

Пассивная (резисторная) балансировка начинает работать только в конце заряда. Секции, на которых напряжение уже достигло верхнего уровня заряда, шунтируются резисторами

и регулируются транзисторами (рис. 2.3), при этом часть зарядного тока выделяется на резисторах в виде тепла. Для балансировки батареи энергия поступает из определенных ячеек через резистор. Каждый модуль имеет индикатор напряжения, показывающий его состояние заряда. Если одна ячейка имеет больший заряд, чем остальные, то ее можно разрядить, включив транзистор.

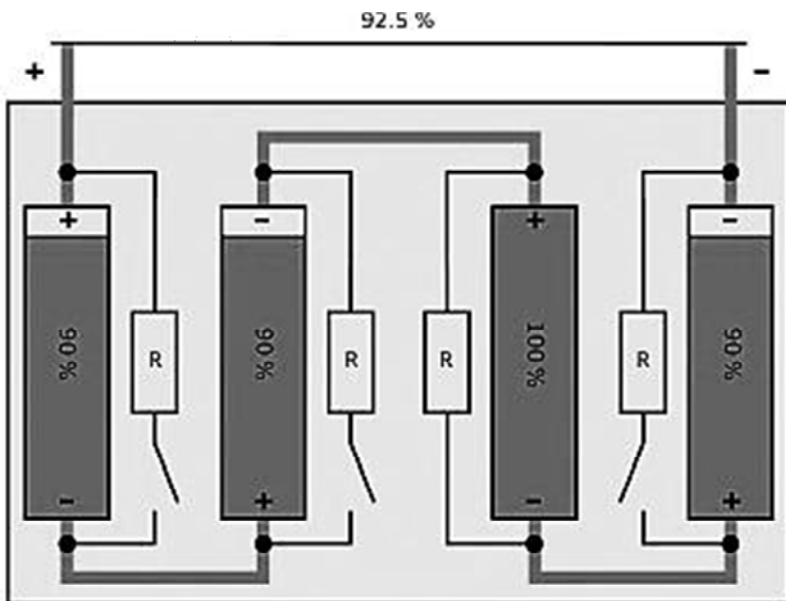


Рис. 2.3 Принципиальная схема балансировки

Отстающие секции продолжают заряжаться. Так происходит до тех пор, пока все секции не достигнут 100 % заряда. Если используется именно такой метод балансировки, нужно обязательно заряжать батарею до конца, иначе балансировка не произойдет. В конце разряда батарея отключится, ориентируясь на слабейшую секцию.

При пассивной балансировке происходит потеря энергии, поскольку резисторы преобразуют электрическую энергию

в тепловую. Преимуществом этого вида балансировки является ее высокая надежность.

В этом примере одна ячейка заряжена на 100 % и процедура зарядки завершена. Однако уровень заряда высоковольтной батареи только 92,5 %. Балансировка означает, что эта ячейка теперь разряжается через резистор и, таким образом, может продолжать заряжаться до тех пор, пока все элементы не разрядятся, достигнув того же уровня заряда. Это позволяет высоковольтному аккумулятору достигать максимальной емкости. Для этого BMS сравнивает напряжения групп ячеек. Если группы ячеек имеют высокое напряжение ячейки, ответственный блок управления аккумуляторными модулями получает информацию о балансировке.

Активная балансировка работает на всем протяжении работы аккумуляторной батареи, при этом происходит выравнивание напряжений. У секций с большим напряжением отнимается часть заряда и передается секциям с меньшим напряжением. Батарею нет необходимости заряжать всегда до конца. Батарея отключится, когда уровень заряда будет 0 % у всех элементов.

Ниже приведены параметры регулирования тяговой АКБ электромобиля Geometry S.

1. BMS диапазон температур:

1) Рабочая температура: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2) Температура хранения: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Диапазон температур блока батарей:

1) Рабочая температура зарядки: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $55\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2) Рабочая температура разрядки: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $55\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3) Температура хранения: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Диапазон рабочего напряжения:

1) Нормальное рабочее напряжение: 9 V до 16 V;

2) Напряжение при неисправности: ниже 6 V или выше 18 V;

3) Рабочее напряжение CAN: 6 V до 18 V;

4) Тестовое напряжение: $13,5\text{ V} \pm 0,2\text{ V}$;

5) Номинальное напряжение: 12 V;

6) Диапазон допустимого отклонения напряжения: $\pm 0,2\text{ V}$.

4. Рабочий ток:

Пиковый ток: 10 А (максимальный ток – когда действует реле).

Максимально непрерывный рабочий ток: ≤ 4 А (основное положительное реле, основное отрицательное реле, реле зарядки DC, CSU, BMU).

Ток в состоянии покоя: $\leq 0,5$ мА.

2.4. Порядок выполнения работы

В процессе лабораторного занятия студент обязан:

– ознакомиться с описанием предстоящей лабораторной работы;

– изучить назначение балансировки тяговой АКБ;

– изучить виды и функции балансировки тяговой АКБ;

– подготовить ответы на контрольные вопросы;

– подготовить отчет по выполненной работе.

2.5. Содержание отчета

1. Титульный лист

2. Цель работы.

3. Основные теоретические положения, относящиеся к выполняемой работе.

4. Назначение, системы управления аккумуляторных батарей, основные технические характеристики, краткое описание работы, состав и принцип работы.

5. Краткие выводы по результатам выполнения работы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначена BMS?

2. Из каких блоков состоит BMS?

3. Перечислите основные функции BMS.

4. Виды балансировки элементов тяговых АКБ.

Лабораторная работа № 3

СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ

Цель работы: Изучить и закрепить знания по устройству и принципу действия суперконденсаторов для тяговых двигателей электромобилей.

Организация рабочего места: на рабочем месте должен быть учебный стенд, суперконденсатор, мультиметр.

3.1. Принцип работы конденсатора

Суперконденсаторы являются дальнейшим развитием конденсаторов и АКБ. В обычных конденсаторах для хранения энергии используется статическое электричество. Внутри обычного конденсатора имеются две токопроводящие пластины с изолирующим материалом (сепаратором) из слюды или керамики (рис. 3.1).

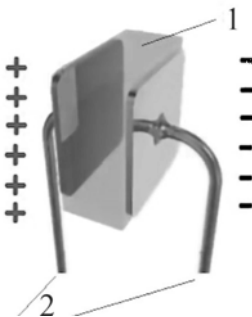


Рис. 3.1. Схема простейшего конденсатора:
1 – сепаратор; 2 – пластины

Принцип работы конденсатора состоит в следующем. Если одну пластину подключить к плюсу источника электрического тока, а вторую – к минусу, то обе пластины зарядятся разноименными зарядами. Заряды будут продолжать удерживаться

на обкладках даже после отсоединения источника питания. Это поясняется тем, что заряды разных знаков («+» и «-») стремятся притянуться друг к другу. Однако этому препятствует диэлектрик (материал, не проводящий заряды), расположенный на их пути. Поэтому заряды, распределенные по всей площади обкладок, остаются на своих местах и удерживаются силами взаимного притяжения.

Между обкладками создается электрическое магнитное поле, которое заставляет молекулы ориентироваться вдоль линий электрического поля, созданного зарядами, расположенными на обкладках в направлении, противоположном полю. При этом отрицательный полюс молекулы направлен к положительной пластинке, а положительный – к отрицательной (рис. 3.2).

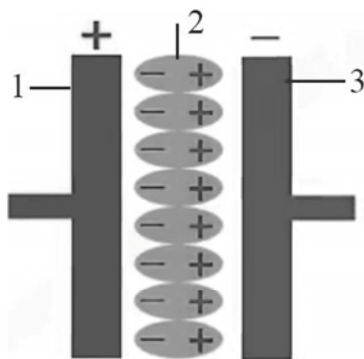


Рис. 3.2. Схема расположения зарядов в магнитном поле конденсатора:
 1 – положительная пластина; 2 – сепаратор;
 3 – отрицательная пластина

Способность накапливать электрические заряды характеризуется емкостью конденсатора. Емкость обозначается буквой C и определяется по формуле:

$$C = q / U,$$

где q – заряд конденсатора,

U – напряжение между обкладками конденсатора.

Емкость конденсатора зависит от площади перекрытия пластин и расстояния между ними, а также от свойств используемого диэлектрика:

$$C \sim S/d,$$

где S – площадь каждой обкладки,

d – расстояние между обкладками.

За единицу емкости в СИ принимается Фарад (Ф). 1 Фарад равен емкости конденсатора, при которой заряд 1 Кулон создает между его обкладками напряжение 1 Вольт: 1 Фарад = 1 Кулон / 1 Вольт.

Анализируя указанные формулы, можно отметить, что емкость можно увеличить зарядом конденсатора, увеличением поверхности пластин и снижением расстояния между пластинами.

3.2. Устройство и принцип работы суперконденсатора

Если увеличивать поверхности пластин обычного конденсатора, сам конденсатор будет больших размеров и его использование в электромобилях станет нецелесообразным не только ввиду размеров, но и большой массы.

Для хранения большого количества энергии (емкости) был разработан суперконденсатор. Такой конденсатор отличается от обычного двумя важными параметрами: значительной площадью пластин и минимальным расстоянием между ними. Как и обычный конденсатор, суперконденсатор состоит из двух обкладок (пластин) (рис. 3.3), покрытых пористым веществом – порошкообразным активированным углем, что во много раз увеличивает поверхность пластины, впитывающей заряд как губка. Если обычный конденсатор представляет собой обкладки из фольги, разделенные сухим сепаратором, то суперконденсатор – это комбинация конденсатора с электрохимической батареей. Использование высокопористых угольных материалов позволяет достичь плотности емкости порядка 10 Ф/см^3 и больше.

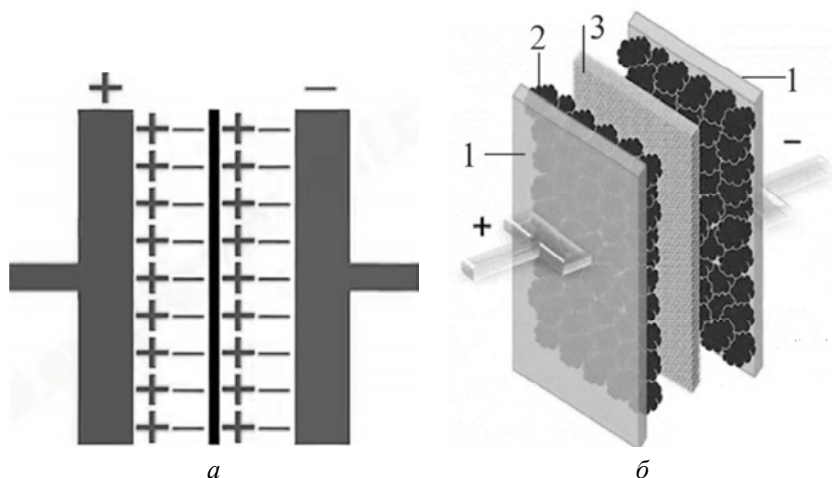


Рис. 3.3. *a* – схема двойного электрического слоя;
б – устройство суперконденсатора:

1 – положительная пластина; *2* – порошкообразным активированным углем (пористый электрод);
3 – сепаратор; *3* – отрицательная пластина

Они погружены в электролит из положительных и отрицательных ионов, находящихся в растворителе. Одна пластина положительна, а другая отрицательна. Во время заряда ионы из электролита накапливаются на поверхности каждой пластины с углеродным покрытием. Кроме того, суперконденсаторы хранят энергию также в электрическом поле, которое образуется между двумя противоположно заряженными электродами, поскольку имеется электролит, в котором равномерно распределено равное количество положительных и отрицательных ионов. Таким образом, во время зарядки каждый электрод имеет два слоя покрытия заряда (электрический двухслойный). Во время заряда суперконденсатора ионы из электролита не только накапливаются на поверхности каждой пластины с углеродным покрытием, но и сохраняются в электрическом поле. Таким образом, во время зарядки каждый электрод имеет два слоя покрытия заряда.

Посредине пластин находится очень тонкий изолятор (сепаратор). Сепаратор нужен для того, чтобы не допустить перемещение заряда между двумя электродами с противоположной полярностью и служит для защиты устройства от короткого замыкания электродов. В современных устройствах не используется электролит на основе кислоты или кристаллического раствора щелочи, так как данные компоненты обладают высоким уровнем токсичности.

Суперконденсаторы производят накопление энергии электростатическим способом, поляризуя раствор электролита. В силу высокой обратимости механизма накопления энергии, конденсаторы способны тысячи раз заряжаться и разряжаться. Это связано с тем, что в обычных аккумуляторах ионы вставляются в атомную структуру электрода, а в суперконденсаторах они просто цепляются за него. Принцип хранения энергии – электричество сохраняется статически, за счет поляризации заряженных частиц электролита, при этом в процессе заряда-разряда отсутствуют электрохимические реакции.

Когда пластины суперконденсатора заряжаются, в результате адсорбции ионов из электролитов, по обе стороны от сепаратора образуются противоположные заряды, создавая двойной электрический слой толщиной в одну молекулу (рис. 3.4).

Суперконденсаторы способны запасать большое количество энергии в течение короткого отрезка времени. Это позволяет сократить время подзарядки до минимума. Кроме того, они характеризуются высокой эффективностью. Если современные литий-ионные аккумуляторы способны отдать лишь порядка 60 % электроэнергии, затраченной на их зарядку, то у суперконденсаторов этот показатель превышает 90 %.

Еще одно важное преимущество – огромный ресурс. У литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов снижение емкости относительно первоначального значения наблюдается уже после нескольких сотен циклов заряда-разряда, в то же время суперконденсаторы способны выдержать до одного миллиона циклов без заметной деградации.

Суперконденсаторы, устанавливаемые в настоящее время, имеют пока еще относительно большую массу около 1300 кг (рис. 3.4).



Рис. 3.4 Блок суперконденсаторов, расположенный в задней части электробуса

В белорусских электробусах E433 Белкоммунмаш установлен накопитель (система суперконденсаторов) S585V39-K7-B фирмы «AOWEI» (рис. 3.6). Накопитель является основным источником электроэнергии для всех силовых потребителей. Накопление электроэнергии осуществляется в процессе зарядки от внешней зарядной станции (600 В/500 А) посредством пантографа.

Технические данные модуля суперконденсатора S585V39-K7-B:

- номинальная емкость, 1250 Ф;
- диапазон номинальных рабочих напряжений, 400–585 В;
- запас энергии в диапазоне рабочих напряжений, 34 кВт*ч;
- номинальный зарядный ток, 450 А;
- номинальный разрядный ток, $450 > A$;

– габаритные размеры (длина · ширина · высота), мм 1810 · 760 · 1047;

– вес, 1390 кг.

Модуль суперконденсатора состоит из ячеек конденсаторов, расположенных во взрывозащищенном корпусе. Внутри корпуса предусмотрена азотная защита. Если давление внутри корпуса $< 0,01$ бар, необходимо заполнить корпус азотом до давления 0,3–0,4 бар.

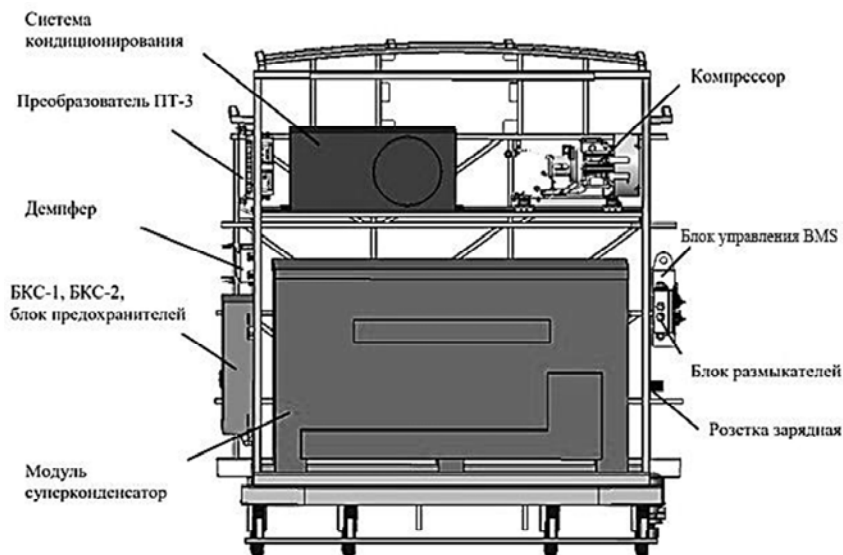


Рис. 3.5. Установка электрооборудования в заднем отсеке электробуса E433 Белкоммунмаш

Внутри корпуса модуля суперконденсатора установлена система кондиционирования.

Контрольный электрический блок управления BMS является неотъемлемой частью системы суперконденсатора. Его функции заключаются в постоянном контроле за параметрами суперконденсатора. К этим параметрам относятся значения:

- тока;
- напряжения;

- температуры;
- давления и т. д.

Блок управления BMS подключается к транспортной CAN-шине электробуса и обеспечивает полный контроль и управление системой суперконденсатора (параметров ячеек конденсаторов, управление процессом зарядки/разрядки, управление системой кондиционирования). Блок BMS имеет встроенный интерфейс для настройки (изменения) параметров системы суперконденсатора, просмотра кодов ошибок при помощи диагностического оборудования.

Для контроля работы суперконденсаторов предусмотрена специальная система (рис. 3.6).

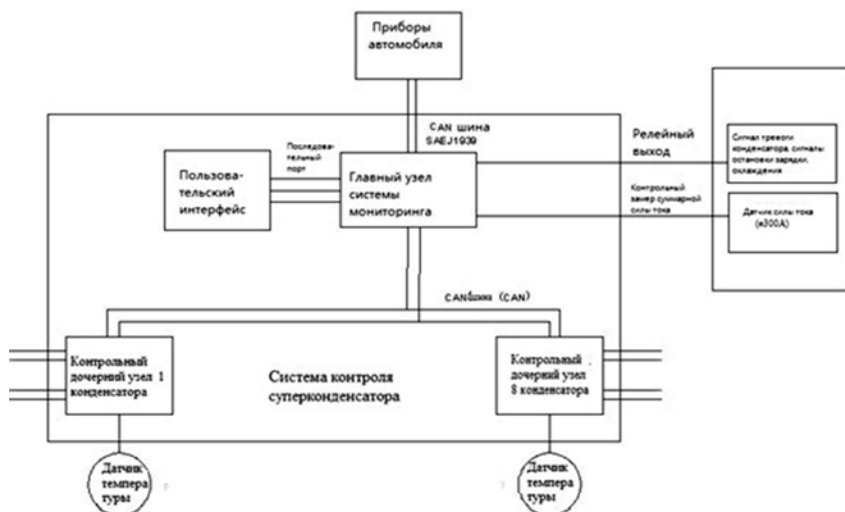


Рис. 3.6. Структура системы контроля суперконденсатора

Данная система применяется для проверки и измерения рабочего напряжения всех конденсаторов суперконденсатора, а также суммарного напряжения, суммарной силы тока группы конденсаторов и соединяется с приборной системой всего транспортного средства CAN-шиной по протоколу SAEJ1939.

Система состоит из одного главного узла системы мониторинга (Блок BMS), восьми контрольных дочерних узлов конденсаторов и CAN-шинной сети.

Каждый дочерний узел способен измерять напряжение 18 конденсаторов, диапазон измерения напряжения 0–5 В, погрешность < 10 мВ. Узлы имеют одноканальный температурный вход для измерения температуры поверхности элемента, диапазон –40 ~+ 85 °С, погрешность < 1 °С.

Главный узел имеет:

- интерфейс шины CAN, с использованием по протокола SAEJ1939;

- 4-канальный выход для контроля сигналов, остановки зарядки, управления системой терморегулирования;

- интерфейс измерения суммарной силы тока, входная сила тока 0–120 мА, с возможностью внешнего подключения датчика силы тока NT300-S (номинальная сила тока 300 ± 3 А, максимальный диапазон измерения ± 300 А), постоянный ток.

- поддерживает жидкокристаллические приборы диагностики для отображения рабочего состояния системы и ввода пороговых значений параметров.

В случае возникновения аномальных значений напряжений ячеек конденсатора температуры внутри модуля конденсатора, суммарного напряжения и силы тока модуля конденсатора, выдается сигнал тревоги. В таком случае электробус необходимо осмотреть и устранить проблему.

При необходимости остановки зарядки, в случае завершения процесса зарядки или неисправности конденсатора, выдается сигнал об остановке зарядки, необходимо отключить зарядное устройство или опустить токоприемное устройство предварительно разъединив его в сети питания с помощью контактора (устройства оборудованного дугогасительной камерой) и тем самым остановить зарядку.

3.3. Порядок выполнения работы

В процессе лабораторного занятия студент обязан:

- ознакомиться с описанием предстоящей лабораторной работы;
- изучить основные технические и эксплуатационные характеристики суперконденсаторов;
- изучить конструкции и принцип работы суперконденсаторов;
- подготовить ответы на контрольные вопросы;
- подготовить отчет по выполненной работе.

3.4. Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Цель работы.
3. Основные теоретические положения, относящиеся к выполняемой работе.
4. Назначение суперконденсаторов, их основные технические характеристики, краткое описание работы, состав и принцип работы.
5. Краткие выводы по результатам выполнения работы.

3.5. Контрольные вопросы

1. Перечислите виды тяговых АКБ.
2. Объясните устройство и принцип работы простейшего конденсатора.
3. Объясните устройство и принцип работы суперконденсатора.
4. Основные преимущества и недостатки суперконденсаторов относительно тяговых АКБ.
5. В чем заключается суть системы контроля суперконденсатора?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автомобили. Устройство систем управления : пособие для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» и 1-37 01 07 «Автосервис». – Минск : БНТУ, 2021. – 53, с.: ил., схемы.

2. Савич, Е. Л. Устройство автомобилей. Двигатели : учебное пособие / Е. Л. Савич. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 334 с.

3. Schmidt, T. Pojazdy hybrydowe i elektryczne w praktyce warsztatowej. Budowa, działanie, podstawy obsługi / T. Schmidt. – Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. – 2020. – 172 s.

Учебное издание

САВИЧ Евгений Леонидович
ГУРСКИЙ Александр Станиславович
СМОЛЬСКАЯ Валентина Станиславовна

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Пособие

для студентов специальностей 1-37 01 06
«Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)»
по направлению 1-37 01 06-01 «Техническая эксплуатация
автомобилей (автотранспорт общего и личного пользования)»
и 1-37 01 07 «Автосервис»

Редактор *П. П. Горбач*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 06.10.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,84. Уч.-изд. л. 2,90. Тираж 100. Заказ 482.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.