

УДК 629.113

**Ю.А. Нечитайло**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002*

*julianatol@rambler.ru*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ**

*Рассмотрена проблема определения емкости аккумуляторных батарей. Рассмотрены условия эксплуатации литий-ионных аккумуляторных батарей. Определена эксплуатационная емкость аккумулятора синергетического автомобиля с учетом количества циклов заряда-разряда.*

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, синергетический автомобиль, техническое состояние, цикл заряда-разряда.

**Постановка проблемы.** Техническое состояние автомобиля определяется не только состоянием его агрегатов, но и состоянием его аккумуляторной батареи. Одним из главных показателей работоспособности синергетического автомобиля является остаточная емкость аккумуляторной батареи (АКБ). Емкость батареи определяет расход топлива, что, в свою очередь, влияет на количество выбросов вредных веществ и их рассеивания в атмосферу.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Несмотря на многообразие источников энергии (тепловая энергия бензина или дизельного топлива, электроэнергия, энергия сжатого воздуха, энергия сжатого сжиженного газа, солнечная энергия, энергия ветра и др.) в промышленном масштабе на гибридных автомобилях используется комбинация двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя.

Главное преимущество гибридного автомобиля заключается в существенном сокращении расхода топлива и выбросов вредных веществ в атмосферу, которое достигается [1]:

- согласованной работе ДВС и электродвигателя;
- применением аккумуляторов большой емкости;
- использованием энергии торможения (так называемое рекуперативное торможение, преобразующее кинетическую энергию движения в электроэнергию).

Современные малогабаритные аккумуляторы работоспособны при токах разряда до 2 С, мощные – до 10-20 С. Интервал рабочих температур: от -20 до +60 °С [2]. Определены зависимости напряжения и тока от времени при заряде Li-ion аккумулятора. Получены разрядные характеристики Li-ion аккумулятора при различных токах и а при различной температуре.

Существует закономерность, что чем больше нагрузка на аккумулятор, тем меньше процент отдаваемой емкости (аккумулятор 100А·ч может выдавать ток 100А не в течении 1 часа, а в течение намного меньшего времени < 30 минут). Причина этого явления связана с тем, что внутри аккумулятора ток течет благодаря ионной проводимости. То есть при быстром разряде какая-то часть ионов не успевает выйти из электрода, что ограничивает выдаваемую аккумулятором емкость. Математически эта зависимость рассчитывается по формуле Пекерта (Peukert) [3].

**Постановка задачи.** Разработка методов, которые расширят возможности диагностики состояния АКБ синергетического автомобиля, позволит при проведении диагностики транспортных средств с гибридными силовыми установками прогнозировать остаточный эксплуатационный ресурс АКБ и давать рекомендации по возможному восстановлению и своевременной ее замене.

**Материалы и результаты исследования.** Удельные характеристики литий-ионных аккумуляторов по крайней мере вдвое превышают аналогичные показатели никель-кадмиевых аккумуляторов и хорошо характеризуют себя при работе на больших токах. Литий-ионные аккумуляторы имеют достаточно низкий саморазряд (2-5% в месяц). Для обеспечения безопасности и долговечности, каждый пакет аккумуляторов должен быть оборудован электрической схемой управления, чтобы ограничить пиковое напряжение каждого элемента во время заряда и предотвратить понижение напряжения элемента при разряде ниже допустимого уровня. Кроме того, должен быть ограничен максимальный ток заряда и разряда и должна контролироваться температура элемента. При соблюдении этих предосторожностей, возможность образования металлического лития на поверхности электродов в ходе эксплуатации (что наиболее часто приводит к нежелательным последствиям), практически устранена.

Источники тока с отрицательным электродом на основе графита имеют более плавную разрядную кривую с резким падением напряжения в конце разряда, по сравнению с более пологой разрядной кривой аккумулятора с коксовым электродом. Поэтому, в целях получения максимально возможной емкости, конечное напряжение разряда аккумуляторов с коксовым отрицательным электродом обычно

устанавливают ниже (до 2,5 В), по сравнению с аккумуляторами с графитовым электродом (до 3В). Аккумуляторы с графитовым отрицательным электродом способны обеспечить более высокий ток нагрузки и меньший нагрев во время заряда и разряда, чем аккумуляторы с коксовым отрицательным электродом. Технология производства литий-ионных аккумуляторов непрерывно совершенствуется. Идет постоянный поиск и совершенствование материалов электродов и состава электролита. Параллельно предпринимаются усилия для повышения безопасности литий-ионных аккумуляторов как на уровне отдельных источников тока, так и на уровне управляющих электрических схем.

Литий-ионные аккумуляторы являются наиболее дорогими из доступных сегодня на рынке. Совершенствование технологии производства и замена оксида кобальта на менее дорогой материал может привести к уменьшению их стоимости на 50% в течение ближайших нескольких лет. Продолжается развитие других литий-ионных технологий, о чем говорят опубликованные результаты исследований. Согласно экспериментальным данным, аморфный композиционный окисный материал на основе олова для отрицательного электрода, разработанный фирмой FujiFilm, способен обеспечить в 1,5 раза более высокую электрическую емкость по сравнению с аккумуляторами со стандартным углеродным электродом. Возможные преимущества аккумуляторов с этим материалом заключаются в большей безопасности, более быстром заряде, хороших разрядных характеристиках и высокой эффективности при низкой температуре. Недостатки на ранних этапах исследований обычно не упоминаются. Литий-ионные аккумуляторы обладают очень высокой удельной энергией. Следует соблюдать осторожность при обращении и тестировании. Нельзя допускать короткого замыкания аккумулятора, перезаряда, разрушения, разборки, протыкания металлическими предметами, подключения в обратной полярности, подвергать их воздействию высоких температур.

Эксплуатация Li-Ion батареи в разных условиях происходит по-разному. Но некоторые общие свойства у них всех одинаковы. Такого типа батареи боятся как перезаряда, так и переразряда. В них обычно встраиваются контроллеры, которые предохраняют от перезаряда. Также туда встроены и контроллеры, предохраняющие от переразряда.

Нельзя проводить полную аналогию между батареями одинаковых типов в разных устройствах. Обусловлено это разностью между расположением вышеупомянутых контроллеров в каждом конкретном устройстве.

Эксплуатировать батареи данного типа можно только в интервале температур  $+ (5 - 45)$  градусов по Цельсию (оптимально  $- + (15 - 25)$  градусов). Также литиевые батареи портятся от повышенной температуры.

Для разных моделей и емкостей литиевых аккумуляторных батарей существует гарантированное производителем количество циклов заряд — разряд, которые аккумулятор должен отработать при соблюдении правил его эксплуатации.

Ресурс Li-Ion аккумуляторов колеблется они в основном от 400 до 1000 циклов. Все литиевые аккумуляторы имеют также и временное ограничение. Ресурс аккумулятора в терминах количества циклов заряд-разряд — это количество полных циклов заряда-разряда, то есть с некоторой степенью приближения предполагаем заряд до 100% и разряд до 30%. При разрядке аккумулятора наполовину и последующей зарядке ресурс уменьшается на полцикла. При последующей разрядке, например, на 25%, ресурс снижается еще на четверть полного цикла. Таким образом, если есть возможность подзарядить аккумулятор, не допуская его большего разряда — именно так нужно и поступить. Другими словами, литиевый аккумулятор можно как можно чаще заряжать и стараться держать в заряженном состоянии, нежели в полуразряженном.

Удельные характеристики современных Li-ion аккумуляторов довольно высокие: 100-180 Втч/кг и 250-400 Втч/л. Рабочее напряжение составляет 3,5-3,7 В.

Еще несколько лет назад предельно достижимой считалась емкость Li-ion аккумуляторов в нескольких ампер-часов, теперь же большинство причин, ограничивающих увеличение емкости, устранено и многие производители стали выпускать аккумуляторы емкостью в сотни ампер-часов.

Современные малогабаритные аккумуляторы работоспособны при токах разряда до 2 С, мощные — до 10–20 С. Интервал рабочих температур: от  $-20$  до  $+60$  °С. Однако многие производители уже разработали аккумуляторы, работоспособные при  $-40$  °С. Возможно расширение температурного интервала в область более высоких температур.

За первый месяц эксплуатации саморазряд Li-ion аккумуляторов составляет 4-6%, затем значительно уменьшается. В итоге за 12 месяцев аккумуляторы теряют 10-20% запасенной емкости. Потери емкости у Li-ion аккумуляторов в несколько раз меньше, чем у никель-кадмиевых аккумуляторов, как при 20 °С, так и при 40 °С. Ресурс — 500–1000 циклов [4].

Li-ion аккумуляторные батареи коммерческого назначения имеют наиболее совершенную защиту среди всех типов батарей. Как правило, в схеме защиты Li-ion батарей используется ключ на полевом транзисторе, который при достижении на элементе батареи напряжения 4,30 В открывается и тем самым прерывает процесс заряда. Кроме того, имеющийся термopредохранитель при нагреве батареи до 90 °С

отсоединяет цепь ее нагрузки, обеспечивая таким образом ее термальную защиту. Некоторые аккумуляторы имеют выключатель, который срабатывает при достижении порогового уровня давления внутри корпуса, равного 1034 кПа (10,5 кг/м<sup>2</sup>), и разрывает цепь нагрузки. Есть и схема защиты от глубокого разряда, которая следит за напряжением аккумуляторной батареи и разрывает цепь нагрузки, если напряжение снизится до уровня 2,5 В на элемент.

Все литиевые аккумуляторы характеризуются достаточно хорошей сохранностью. Потеря емкости за счет саморазряда 5-10 % в год.

Приводимые показатели следует рассматривать как некоторые номинальные ориентиры. Для каждого конкретного аккумулятора, например, разрядное напряжение зависит от тока разряда, уровня разряженности, температуры; ресурс зависит от режимов (токов) разряда и заряда, температуры, глубины разряда; диапазон рабочих температур зависит от уровня выработки ресурса, допустимых рабочих напряжений и т.д.

При циклировании Li-ion аккумуляторов среди возможных механизмов снижения емкости наиболее часто рассматриваются следующие:

- разрушение кристаллической структуры катодного материала (особенно LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>);
- расслоение графита;
- наращивание пассивирующей пленки на обоих электродах, что приводит к снижению активной поверхности электродов и блокированию мелких пор;
- осаждение металлического лития;
- механические изменения структуры электрода в результате объемных колебаний активного материала при циклировании.

Обычно ресурс коммерческих Li-ion аккумуляторов до понижения разрядной емкости на 20 % составляет 500-1000 циклов, но он значительно зависит от величины предельного зарядного напряжения (рисунок 1). С уменьшением глубины циклирования ресурс повышается. Наблюдаемое повышение срока службы связывают с уменьшением механических напряжений, вызываемых, изменениями объема электродов внедрения, которые зависят от степени их заряженности.

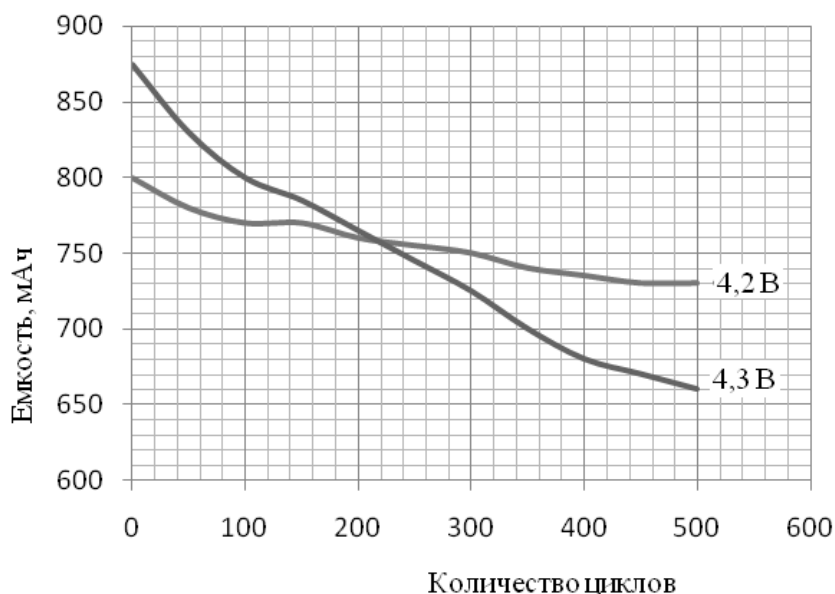


Рисунок 1 – Изменение емкости Li-ion аккумулятора при разном предельном напряжении заряда

Определим емкость для различных значений циклов заряда-разряда при полностью заряженной (4,3 В) и частично разряженной (4,2 В) аккумуляторной батарее.

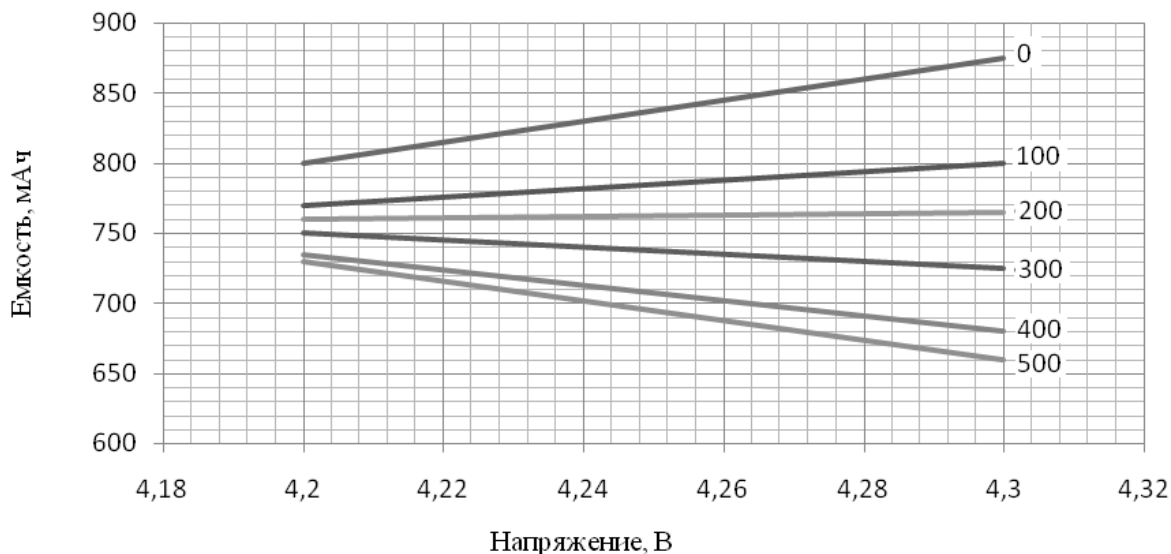


Рисунок 2 – Изменение емкости Li-ion аккумулятора при разном количестве циклов заряда-разряда

Поскольку емкость зависит от числа циклов заряда-разряда (с увеличением срока эксплуатации емкость АКБ неизбежно уменьшается), то, задавая исходным напряжением и отслеживая уменьшение напряжения с 4,3 В до 4,2 В, определяем значение емкости.

**Выводы.** Таким образом, очевидно, что срок эксплуатации Li-ion аккумуляторной батареи ограничен, как правило, количеством циклов заряда-разряда. Согласно предложенной методике остаточный ресурс АКБ определяется из расчета количества использованных циклов заряда-разряда.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков [та ін.]. – Харків: Крок, 2008. – 327 с.
2. Бажинов А.В. Особенности оценки технического состояния гибридных автомобилей. / А.В. Бажинов, Ю.А. Нечитайло // Вестник СевНТУ. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вып. 121: Машиноприборостроение и транспорт. – С. 34–37.
3. Нечитайло Ю.А. Методика определения состояния аккумуляторной батареи гибридного автомобиля. / Ю.А. Нечитайло // Вестник СевНТУ. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – Вып. 134: Машиноприборостроение и транспорт. – С.139–142.
4. Таганова А.А. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: справочник. / А.А. Таганова, Ю.И. Бубнов, С.Б. Орлов. – СПб.: Химиздат, 2005. – 264 с.

*Поступила в редакцию 05.06.2013 г.*

#### **Нечитайло Ю.А. Визначення ємності акумуляторної батареї синергетичного автомобіля**

Розглянуто проблему визначення ємності акумуляторних батарей. Розглянуто умови експлуатації літій-іонних акумуляторних батарей. Визначено експлуатаційна ємність акумулятора синергетичного автомобіля з урахуванням кількості циклів заряду – розряду.

**Ключові слова:** акумуляторна батарея, синергетичний автомобіль, технічний стан, цикл заряду-розряду.

#### **Nechitaylo Y.A. Determination of capacity of the storage battery of the synergetic car**

The problem of determination of capacity of storage batteries is considered. Service conditions lithium – ion storage batteries are considered. Operational capacity of the accumulator of the synergetic car taking into account quantity of cycles of a charge category is determined.

**Keywords:** storage battery, synergetic car, technical condition, charge category cycle.