

Применение инновационного метода оценки степени деградации аккумуляторных батарей, используемых в качестве источников резервного электропитания технических средств охраны

Application of an innovative method to evaluate the health of batteries used as backup power supply for technical security equipment

А.А. Колосков¹ ©, Е.Н. Кузьмина² ©, Ю.В. Иванова³ © A.A. Koloskov¹ ©, E.N. Kuzmina² ©, Y.V. Ivanova³ ©

^{1,2,3} Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский центр «Охрана» Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

¹ E-mail: KoloskovAA@rosgvard.ru

² E-mail: KuzminaEN@rosgvard.ru

³ E-mail: IvanovaYV@rosgvard.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы обеспечения резервного электропитания технических средств охраны, применяемых в служебной деятельности подразделениями вневедомственной охраны войск национальной гвардии Российской Федерации (далее – подразделения ВО). Освещены проблемные вопросы обеспечения контроля технического состояния аккумуляторных батарей. На основе анализа представленной информации сформированы предложения по применению инновационного метода оценки степени деградации аккумуляторных батарей.

Abstract. The paper discusses the issues of providing backup power supply for technical security equipment used by non-departmental security units of the Russian National Guard in their service. The topical issues of battery health monitoring are covered. Based on the information presented, proposals to use an innovative battery health evaluation method are developed.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея; техническое средство охраны; остаточная ёмкость; степень деградации; резервное электропитание; метод оценки

Keywords: battery; technical security equipment; residual capacity; degradation level; backup power supply; evaluation method

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Колосков А.А., Кузьмина Е.Н., Иванова Ю.В. Применение инновационного метода оценки степени деградации аккумуляторных батарей, используемых в качестве источников резервного электропитания технических средств охраны // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2026. – № 1. – С. 53–57.

Надежность работы технических средств охраны (далее – ТСО), входящих в состав системы централизованного наблюдения (далее – СЦН) – залог качества и эффективности оказания услуг по охране объектов различной степени важности и форм собственности, предоставляемых подразделениями ВО. В свою очередь, немаловажным фактором надежности работы ТСО является обеспечение их стабильным и бесперебойным электропитанием. Именно по этой причине большинство ТСО, входящих в состав СЦН, имеют два источника электропитания – основной и резервный. В качестве основного источника электропитания ТСО, как правило,

используется электрическая сеть систем электропитания общего назначения (230/400 В, 50 Гц) по ГОСТ 29322–2014 (далее – электросеть) [1]. В качестве резервных источников электропитания подавляющего числа ТСО используются герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (далее – АКБ), обеспечивающие работоспособность ТСО в случае выхода из строя основного источника электропитания.

Наряду со множеством достоинств, АКБ данного типа имеют существенный недостаток, напрямую связанный с особенностями режима их эксплуатации. Выполняя функцию обеспечения резервного

электропитания, большую часть времени АКБ находится в буферном режиме, при котором ТСО постоянно подзаряжает АКБ, компенсируя её саморазряд. Как правило, при этом ТСО контролирует не параметры АКБ, а всего лишь значение тока в цепи заряда. Нахождение значения тока в заданном диапазоне расценивается как исправное состояние АКБ. В этом и заключается один из главных недостатков АКБ данного типа – ни значение напряжения, приложенного к клеммам заряжаемой АКБ, ни значение тока заряда, измеренное при нахождении АКБ в буферном режиме, не дают представление о состоянии АКБ. Практика эксплуатации АКБ данного типа изобилует примерами, когда при переходе ТСО на электропитание от АКБ, находящейся перед этим длительное время в буферном режиме, она либо не обеспечивает расчетного времени электропитания ТСО в резерве, либо вовсе оказывается неработоспособной. Причина этого – выработка АКБ своего ресурса, нарушение режимов эксплуатации АКБ или наличие в ней заводского брака.

Справедливости ради, следует заметить, что ряд современных ТСО оснащен модулями, производящими периодическое тестирование АКБ. Как правило, алгоритм его состоит в следующем. На время тестирования АКБ отключается от цепи подзаряда и к ней подключается цепь нормированной нагрузки. По истечении нормированного промежутка времени ТСО производит замер значений напряжения на клеммах АКБ и разрядного тока. Сравнивая полученные значения с табличными, ТСО определяет степень деградации АКБ (значение остаточной ёмкости). Достоинством данного метода, наряду с простотой и сравнительно недорогой схемотехнической реализацией, является возможность достоверно определить выработавшую свой ресурс АКБ. Однако вследствие его низкой точности, конкретные значения остаточной ёмкости АКБ определить при этом весьма затруднительно.

В настоящее время, как непосредственно производителями АКБ, так и рядом сторонних производителей, выпускаются всевозможные измерители параметров АКБ, позволяющие определить значение непосредственно остаточной ёмкости АКБ, либо напрямую связанного с ней внутреннего сопротивления АКБ. В измерителях используются несколько различных методов определения ёмкости АКБ, базирующихся на измерении различных физико-химических характеристик АКБ. При этом более точные методы измерения требуют использования не только схемотехнически сложных прецизионных измерительных модулей, но и применения серьезной математической обработки полученных результатов измерения. Все это в совокупности значительно повышает стоимость самих измерителей. Недостатком простых измерителей, не использующих сложных методов измерения и

математической обработки, является их низкая точность.

Ниже перечислено четыре наиболее распространенных метода определения внутреннего сопротивления АКБ:

1) Метод падения напряжения [3].

Метод падения напряжения – широко распространенный метод определения внутреннего сопротивления АКБ, основанный на практическом и относительно недорогом способе оценки их производительности. Данный метод подразумевает измерение электрических параметров АКБ в двух режимах – без подключения нагрузки и с подключением к АКБ измерительного (прецизионного) нагрузочного резистора.

2) Метод спектроскопии импеданса переменного тока [3].

Спектроскопия импеданса переменного тока – перспективный метод, используемый для высокоточного анализа внутреннего сопротивления АКБ. Этот метод предполагает подачу сигнала переменного тока на клеммы АКБ и измерение результирующего напряжения и тока в диапазоне частот. Изменяя частоту переменного сигнала, можно изучать различные электрохимические процессы, происходящие внутри АКБ. Полученные данные импеданса, включая величину и фазу, затем анализируются для извлечения ценной информации о внутреннем сопротивлении и электрохимических характеристиках АКБ.

3) Метод импульсной нагрузки [3].

Метод импульсной нагрузки – динамический метод, используемый для оценки внутреннего сопротивления АКБ путем воздействия на них кратковременной импульсной нагрузки. В этом методе на АКБ подается короткий мощный импульс тока, имитирующий условия быстрого разряда. Наблюдая за динамикой изменения значения напряжения во время импульса, можно рассчитать внутреннее сопротивление АКБ.

4) Метод хронопотенциометрии [3].

Хронопотенциометрия – метод, предполагающий подачу постоянного тока на АКБ и наблюдение за реакцией напряжения с течением времени. Анализируя изменения напряжения АКБ, можно получить информацию о её внутреннем сопротивлении. Этот метод полезен для изучения поведения АКБ в условиях заряда постоянным током и может помочь определить изменения внутреннего сопротивления в течение всего срока службы АКБ.

Наиболее точные результаты определения остаточной ёмкости (внутреннего сопротивления АКБ) даёт метод спектроскопии импеданса переменного тока. Единственным его недостатком, делающим повсеместное его применение в служебной деятельности подразделений ВО практически невыполнимым, является крайне высокая стоимость

измерителей, выполненных на его основе. Например, стоимость тестера батарей GBM-73080 производства компании Good Will Instrument Co. Ltd., Тайвань, на момент написания статьи у различных поставщиков составляет от 280 000 до 350 000 руб.

Для нахождения разумного компромисса между точностью результатов и стоимостными показателями реализации измерительного модуля, специалистами ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии в 2025 году были проведены испытания ряда АКБ, применяемых в качестве источников резервного электропитания ТСО, используемых подразделениями ВО в служебной деятельности. Цель испытаний – разработка на основе анализа результатов испытаний альтернативного метода оценки степени деградации АКБ. Отправной точкой разработки метода было предположение, базирующееся на результатах многолетних исследований зарядно/разрядных процессов АКБ, о существовании прямой зависимости между динамикой изменения значения напряжения АКБ, замеряемого в процессе её разряда, и остаточной ёмкостью АКБ.

В качестве наглядного примера сказанному, на рисунке 1 приведены графики напряжения трёх однотипных АКБ, снятые в процессе их разряда стабильным током.

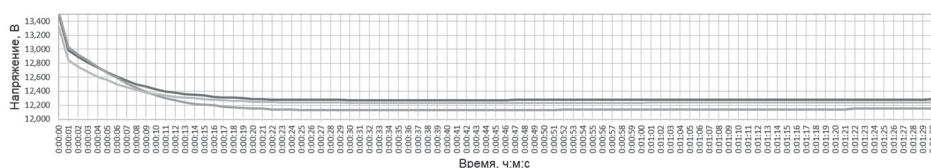


Рис. 1.

Как видно из рисунка 1, значение напряжения АКБ претерпевает большие изменения только первые 30 секунд с разряда, далее оно практически не меняется. Графики напряжения АКБ отличаются как начальными значениями, так и кривизной спада. Контраст графиков однозначно свидетельствует о различиях физико-химических параметров отдельных АКБ, в том числе и их остаточной ёмкости. Для количественного сравнения графиков было использовано два способа. *Первый способ* основывается на использовании аппроксимации¹ для формирования функции, максимально приближающейся к значениям графиков напряжения АКБ. Наиболее подходящей является параболическая функция. Такой выбор обусловлен двумя основными причинами. Во-первых, форма графиков напряжения АКБ внешне схожа с графиком параболической функции. Во-вторых, формулы для вычисления коэффициентов параболической функции не содер-

жат сложных математических выражений, а потому легко реализуемы набором команд сравнительно недорогих микроконтроллеров AVR (производство компании Atmel) среднего семейства, широко применяемых при разработке ТСО. *Второй способ* основывается на определении площадей фигур, ограниченных графиками напряжения АКБ.

Первый из рассмотренных способов показал свою непригодность из-за несовершенства математического аппарата параболической аппроксимации. На рисунке 2 пунктирной линией изображен график параболической функции, полученной на основе аппроксимации массивов экспериментальных данных, изображенных линией с точками.

Как видно из рисунка 2, в случае, если распределение массива данных значительно отличается от распределения, соответствующего параболической функции, то применение параболической аппроксимации вследствие возникновения значительных погрешностей становится неприемлемым.

Графики напряжения АКБ, приведенные на рисунке 1, могут выступать в качестве линий горизонтального ограничения двух фигур – фигуры, расположенной под графиком, и фигуры, расположенной над графиком.

На рисунке 3 для сравнения приведены обе данные фигуры – S_1 и S_2 , соответственно.

Фигура S_1 ограничена снизу отметкой нулевого уровня напряжения АКБ (V_0), сверху – графиком напряжения АКБ, слева – отметкой начала тестового разряда АКБ (t_0), справа – отметкой

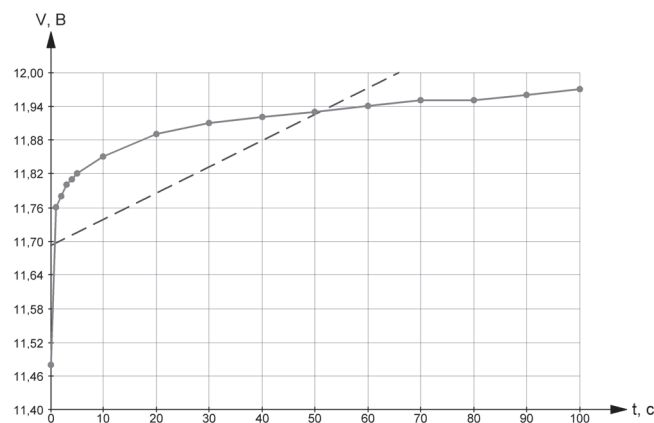


Рис. 2.

окончания тестового разряда АКБ (t_1). Фигура S_2 ограничена снизу графиком напряжения АКБ, сверху – уровнем начального значения напряжения АКБ (V_0),

¹ Аппроксимация – метод приближения, при котором для нахождения дополнительных значений, отличных от значений массива исходных данных, формируется приближенная функция, проходящая не обязательно через элементы массива исходных данных, но в непосредственной близости от них.

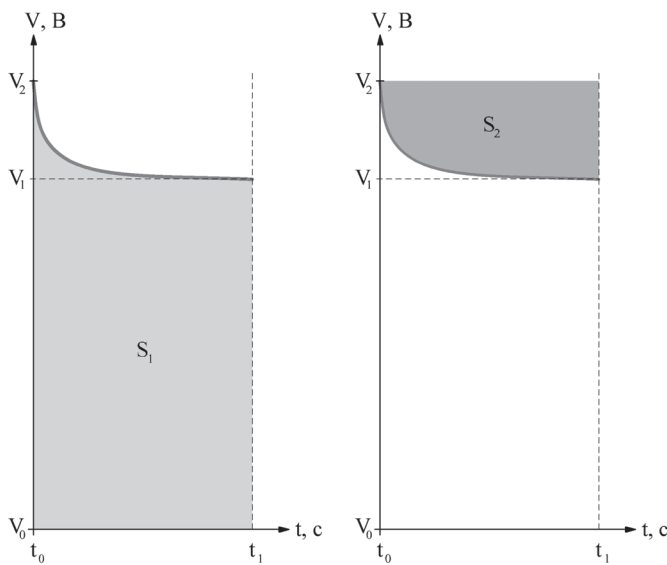


Рис. 3.

слева – отметкой начала тестового разряда АКБ (t_0), справа – отметкой окончания тестового разряда АКБ (t_1). Для количественного сравнения графиков напряжения АКБ целесообразно использовать фигуру S_2 , так как её площадь в значительно большей степени, чем у фигуры S_1 , зависит непосредственно от формы графика напряжения АКБ. Так происходит из-за того, что площадь прямоугольной области, ограниченной отметками V_2 и V_1 , в несколько раз меньше площади прямоугольной области, ограниченной отметками V_1 и V_0 . При этом именно данные области являются определяющими для расчета площадей фигур S_1 и S_2 .

Оптимальный способ нахождения площади фигур, ограниченных графиком, – интегрирование аппроксимированной функции. Так, для нахождения площади фигуры S_1 необходимо вычислить определенный интеграл функции, соответствующей графику напряжения АКБ [2]:

$$S_1 = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (1)$$

Площадь фигуры S_2 определяется разностью площадей прямоугольной области, ограниченной отметками V_0 и V_2 по горизонтали и t_0 и t_1 по вертикали, и площади фигуры S_1 .

Как было сказано ранее, применение параболической аппроксимации функции, соответствующей графику напряжения АКБ, из-за большой погрешности, является неприемлемым. Вследствие данного факта для нахождения площади фигуры S_2 было принято решение использовать формулу прямоугольников [2].

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{n} \times \left(y_1 + y_3 + \dots + y_{2n-1} \right) \quad (2)$$

где (a, b) – промежуток интегрирования;

x_1, x_2, \dots, x_{n-1} – точки, делящие промежуток интегрирования на n равных частей;

$x_{1/2}, x_{3/2}, \dots, x_{(2n-1)/2}$ – середины участков, ограниченных точками деления;

$y_{1/2}, y_{3/2}, \dots, y_{(2n-1)/2}$ – значения функции в точках $x_{1/2}, x_{3/2}, \dots, x_{(2n-1)/2}$, соответственно.

Для наглядного понимания значения применяемых в формуле прямоугольников переменных, приведен рисунок 4.

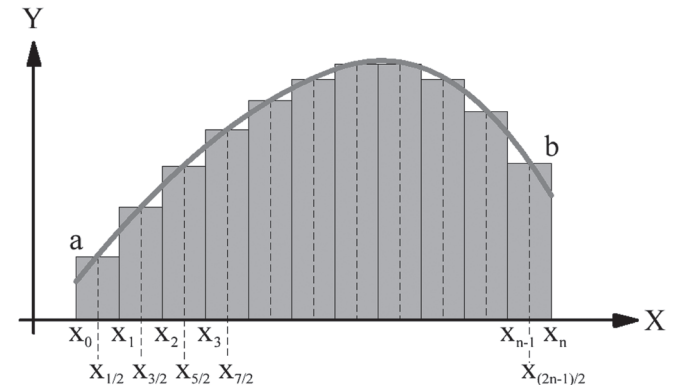


Рис. 4.

На рисунке 5 приведен наглядный пример использования данной формулы для определения площади, ограниченной графиком напряжения АКБ, в процессе её разряда.

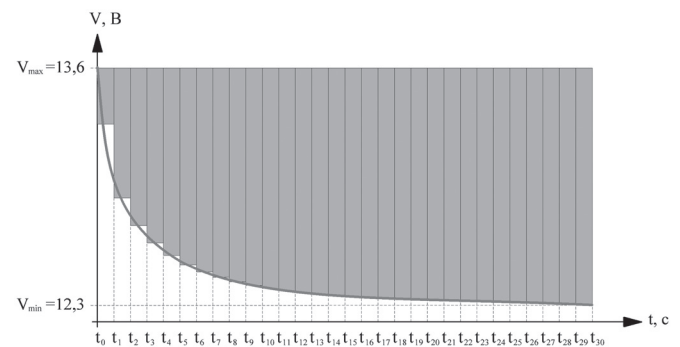


Рис. 5.

Как видно из рисунка 5, продолжительность разряда АКБ – 30 с. Начальное значение напряжения на АКБ составляло 13,6 В, конечное – 12,3 В. С периодичностью в одну секунду производился замер напряжения на АКБ. По текущему и предыдущему значениям напряжения на АКБ вычисляется среднее значение напряжения. Суммирование тридцати средних значений напряжения АКБ определяет площадь фигуры.

В качестве реальных результатов применения предложенного метода определения степени деградации АКБ, рассмотрим несколько графиков и таблиц с данными, полученными в ходе испытаний АКБ, проведенных специалистами ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии.

На рисунке 6 приведены графики напряжения трёх АКБ GENERAL SECURITY GS 1.2-12, полученных в ходе их разряда стабильным током 0,6 А, численно равным 1/2 номинальной ёмкости АКБ (1,2 А×ч).

Как видно из рисунка 6, графики напряжений АКБ характеризуются сначала резким спадом, а затем

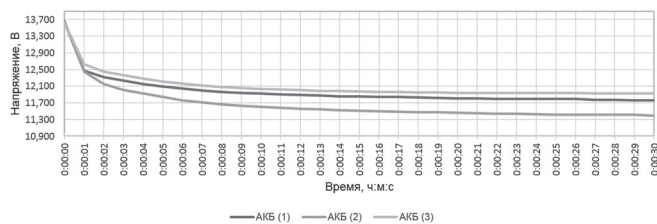


Рис. 6.

переходом к плавному, стремящемуся к линейному снижению напряжения.

В таблице 1 приведены начальные значения остаточных ёмкостей полностью заряженных АКБ GENERAL SECURITY GS 1.2-12, измеренные в соответствии с методикой, предоставленной производителем АКБ (под абсолютными значениями остаточных ёмкостей приведены значения остаточных ёмкостей, выраженные в процентах относительно номинальной ёмкости АКБ), и приведены значения площадей фигур, ограниченных графиками напряжений АКБ и вычисленных с использованием формулы прямоугольников (2).

Таблица 1

Характеристика	Значение		
	АКБ 1	АКБ 2	АКБ 3
Остаточная ёмкость, А×ч	0,434 36,167 %	0,123 10,250 %	0,772 64,333 %
Площадь фигуры	51,340	59,680	46,330

Сопоставляя значения остаточных ёмкостей АКБ и площадей фигур, ограниченных графиками напряжения АКБ, можно увидеть, что они имеют обратную зависимость. Наименьшей ёмкости соответствует наибольшая площадь, и наоборот.

На рисунке 7 приведены графики напряжения трёх АКБ GENERAL SECURITY GS 4.5-12, полученных в ходе их разряда стабильным током 2,25 А, численно равным 1/2 номинальной ёмкости АКБ (4,5 А×ч).

В таблице 2 приведены начальные значения остаточных ёмкостей полностью заряженных АКБ GENERAL SECURITY GS 4.5-12, измеренные в соот-

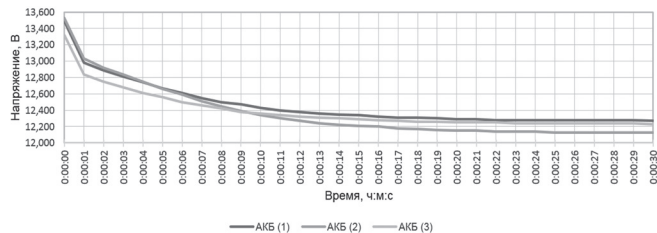


Рис. 7.

ветствии с методикой, предоставленной производителем АКБ (под абсолютными значениями остаточных ёмкостей приведены значения остаточных ёмкостей, выраженные в процентах относительно номинальной ёмкости АКБ), и приведены значения площадей фигур, ограниченных графиками напряжений АКБ и вычисленных с использованием формулы прямоугольников (2).

Таблица 2

Характеристика	Значение		
	АКБ 1	АКБ 2	АКБ 3
Остаточная ёмкость, А×ч	2,324 51,644 %	1,747 38,822 %	2,794 62,089 %
Площадь фигуры	31,280	35,270	28,205

Сопоставляя значения остаточных ёмкостей АКБ и площадей фигур, ограниченных графиками напряжения АКБ, можно увидеть, аналогичную с АКБ GENERAL SECURITY GS 1.2-12 зависимость – наименьшей ёмкости соответствует наибольшая площадь, и наоборот.

По мнению авторов, предложенный инновационный метод оценки степени деградации АКБ может найти применение как при разработке новых ТСО, имеющих встроенные источники резервного электропитания, так и при создании недорогих измерителей параметров АКБ. Использование предлагаемого алгоритма измерения ёмкости позволит повысить точность измерений, а сравнительно недорогая реализация измерительного модуля позволит включить его в состав ТСО без значительного повышения цены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 29322–2014 «Напряжения стандартные».
- Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 991 с.: ил.

- Официальная интернет-страница Компании «ВЫБОР». – URL: <https://wybor-battery.com/blog/stati/metody-opredeleniya-vnutrennego-soprotivleniya-akkumulyatornyh-batarey-akb>.

Статья проверена программой Антиплагиат. Оригинальность – 81 %.

Статья поступила в редакцию 19.08.2025; одобрена после рецензирования 16.09.2025; принята к публикации 25.02.2026.