

К. В. БЕЗРУЧКО, д.т.н., проф.; **А. О. ДАВИДОВ**, к.т.н., с.н.с.;
С. В. СИНЧЕНКО, н.с.; **А. Л. АЗАРНОВ**, с.н.с., **А. А. ХАРЧЕНКО**, н.с.;
С. В. ШИРИНСКИЙ, м.н.с., Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

У статті розглянуті особливості діагностики електрохімічних акумуляторів енергетичних установок літальних апаратів, розглянута актуальність вибраної теми, поставлена задача дослідження, проведено аналіз методів визначення характеристик електрохімічних акумуляторів (внутрішнього опору, розрядної ємності, току саморозряду) енергоустановок літальних апаратів.

In the given article it was considered the special features of diagnosing of chemical accumulators of power supply systems of aircraft, considered the urgency of the chosen topic, posed a problem of research, analyzed the methods of determining the characteristics of chemical accumulators (internal resistance, discharge capacity, self-discharge current) of power supply systems of aircraft.

Введение. На сегодняшний день наблюдается тенденция сокращения сроков эксплуатации объектов ракетно-космической техники из-за ограниченного ресурса данных объектов. При эксплуатации энергоустановок (ЭУ) летательных аппаратов (ЛА) очень важным вопросом является ресурс системы электроснабжения. Стабильная и устойчивая работа ЭУ во многом зависит от характеристик электрохимических аккумуляторов (АК) в составе химической батареи (БХ). Поэтому диагностика отдельных АК и БХ в целом, дает возможность оценить состояние ЭУ, а при необходимости принять меры для устойчивой работоспособности ЭУ ЛА в дальнейшем.

Актуальность исследований. Задача диагностики АК возникает на разных этапах работы с ними: для проверки качества нового АК, для определения технического состояния и работоспособности АК на различных этапах его эксплуатации, при плановых тестированиях и т.д.

Под техническим состоянием АК понимается совокупность его внутренних свойств, подверженных изменениям при производстве и эксплуатации, характеризующих соответствие или несоответствие качества АК требованиям, установленным эксплуатационно-технической документацией.

Из обзора и анализа литературных источников [3-7] следует, что определение технического состояния АК в составе БХ является приоритетной задачей по следующим причинам:

- БХ – важный элемент ЭУ, определение его технического состояния помогает оценить дальнейшую вероятность безотказной работы ЭУ в целом;

- отсутствуют необходимые математические модели БХ, обеспечивающие достоверную оценку состояния и прогноз характеристик отдельных АК;

- решение о прекращении или продлении работы АК, прогнозирование дальнейшей работоспособности АК возможно только путем оценки его состояния.

Определение технического состояния АК позволяет на ранних стадиях выявить возможность возникновения отказов, а также разработать пути решения возникшей проблемы и прогнозировать их работу.

Основными целями диагностики АК являются: определения текущего состояния – прежде всего это определение электрических характеристик, в том числе текущей емкости, саморазряда, вольт-амперных и зарядно-разрядных характеристик, эффективности заряда и разряда с дальнейшим анализом этих характеристик.

В связи с этим, определение текущего состояния АК для оценки технического ресурса ЭУ и другими словами диагностика технического состояния является актуальной задачей для исследования.

Постановка задачи. В вопросе диагностики электрохимических АК можно выделить два направления исследований: теоретическое и экспериментальное, они неразрывно связаны между собой.

К теоретическому направлению относятся следующие:

- разработка математических моделей диагностики АК или БХ, которые обеспечивают формальное описание взаимосвязей между принятыми к распознаванию техническими состояниями и признаками состояний АК или БХ;

- разработка и построение диагностических тестов для распознавания работоспособного состояния и поиска места отказа (дефекта) АК или БХ;

- разработка методов прогнозирования работоспособного состояния на заданный период времени работы АК или БХ.

К экспериментальному направлению относятся следующие основные задачи:

- экспериментальное определение параметров и характеристик АК или БХ их при нормальном функционировании;

- определение необходимого перечня наиболее вероятных неработоспособных состояний, т. е. определение дефектов элементов (электрода, сепаратора, электролита) АК, которые следует различать в процессе диагностики;

- уточнение математической модели АК или БХ;

- выбор объема и глубины тестовых воздействий и признаков технических состояний АК или БХ;

- построение алгоритма диагностики.

Для диагностики электрохимических АК применяется множество различных методов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Наиболее полную картину о состоянии электрохимических АК дает экспериментальный метод определения характеристик АК, но он не всегда удобен, так как требует больших временных затрат. Таким образом, необходимо разработать эффективный метод диагностики АК, который позволит определять текущее состояние, дефекты АК, возникающие в процессе эксплуатации или при длительном хранении, что, в свою очередь, позволит свести к минимуму количество отказов АК и БХ на их основе, а также ЭУ в целом.

Решение задачи диагностики электрохимических АК. Из анализа результатов современных научных исследований для определения состояния АК необходимо определить совокупность параметров и характеристик, отвечающих за его состояние в определенный момент времени. Для решения задачи диагностики предлагается следующая классификация методов определения характеристик электрохимических АК (см. рис.1).

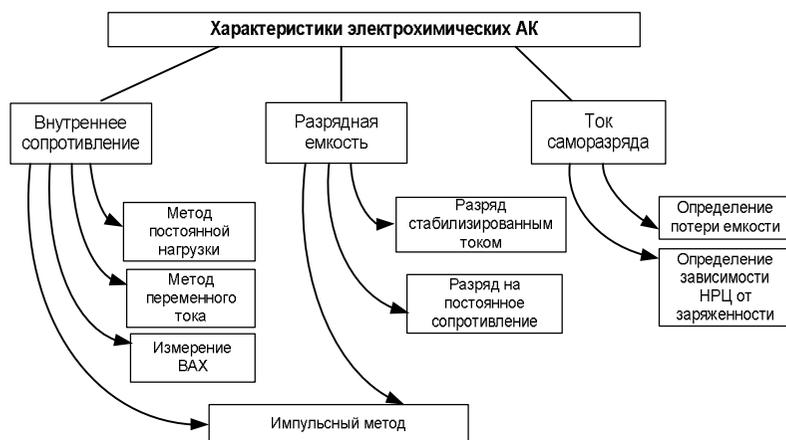


Рис. 1. Определение характеристик электрохимических АК

Определение внутреннего сопротивления. *Метод постоянной нагрузки* заключается в измерении снижения напряжения на АК относительно номинального напряжения в процессе разряда батареи на линейном участке разрядной кривой (см. рис.2).

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2}, \quad (1)$$

где ΔU – разность напряжений, В; ΔI – разность токов, А; r –

внутреннее сопротивление, Ом.

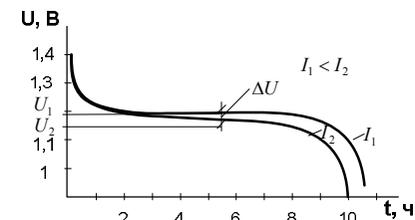


Рис. 2. Разрядная кривая аккумуляторов НКП-160

Метод переменного тока, так же известный как тест проводимости, измеряет электрохимические характеристики батареи при воздействии на нее переменного тока. Импенданс АК определяется из закона Ома при действии на АК синусоидального переменного тока (см. рис.3).

$$Z = \frac{U_{действ.}}{I_{действ.}}, \quad (2)$$

где Z – импенданс АК, Ом.

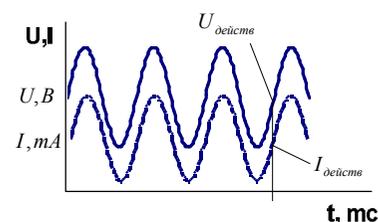


Рис. 3. Изменение напряжения при подаче переменного тока.

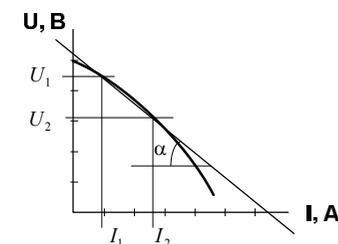


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика АК.

При использовании вольт-амперной характеристики (ВАХ) определяется тангенс угла наклона линейного участка ВАХ АК, который и является величиной внутреннего сопротивления (см. рис.4.).

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Определение разрядной емкости. Разрядной емкостью Q_p называют количество электричества, которое можно получить от АК при определенных условиях его работы, т.е. при заданных значениях температуры, зарядного тока и конечного разрядного напряжения. Разрядную емкость можно определить по формулам 1 и 2 в зависимости от метода разряда аккумулятора.

$$Q_p = \int_0^{t_p} i_p dt ; \quad (4)$$

$$Q_p = \frac{\int_0^{t_p} U_p dt}{R}, \quad (5)$$

где i_p – разрядный ток; t_p – время разряда; U_p – разрядное напряжение;
 R – сопротивление разряда.

Формула (1) используется при разряде АК постоянным током, а формулу (2) необходимо использовать при разряде АК на постоянное сопротивление.

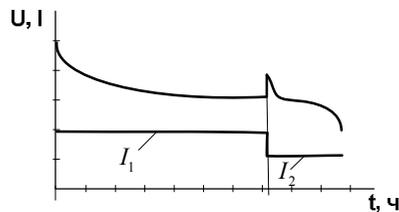


Рис. 5. Изменение напряжения и тока во времени.

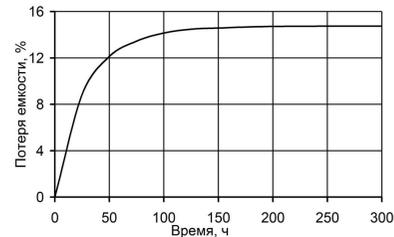


Рис. 6. Саморазряд АК (НКГ)

Есть несколько методов определения этих зависимостей: аналитический, экспериментально-графический, экспериментально-расчетный и экспериментальный [9].

Определение тока саморазряда. Саморазряд – это явление самопроизвольной потери емкости АК при разомкнутой электрической цепи. Ток саморазряда является ключевым параметром, определяющим состояние АК, работающего в дежурном режиме.

Определяют ток саморазряда методом прямого определения потери емкости за время или косвенно за счет определения зависимости напряжения разомкнутой цепи от заряженности АК (рис.6).

Количественно саморазряд оценивается величиной уменьшения емкости за единицу времени (ток саморазряда):

$$I_c = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (6)$$

где ΔQ – потеря емкости АК до и после хранения, А·ч; Δt – время хранения АК, ч.

Импульсный метод определения состояния электрохимических АК

основан на воздействии на АК последовательностью импульсов тока и измерении напряжения с последующим анализом параметров отклика на эти импульсы по напряжению. Разработанный метод определяет совокупность параметров, отвечающих за состояние АК [8]. Преимущество данного метода в том, что диагностирование АК проводится в рабочем состоянии, не изменяя режимов его работы (без осуществления разряда АК).

Выводы. В зависимости от области применения на первый план выступают одни или другие параметры электрохимических АК. Работоспособность аккумулятора для ЭУ космического аппарата оцениваться по совокупности значений трех его основных характеристик: реальной емкости, внутреннего сопротивления и тока саморазряда, а аккумулятора ЭУ ракетно-космического комплекса достаточно оценить только по величине емкости и саморазряду. При игнорировании какого-либо параметра или преувеличении важности одного из них (как правило, емкости) может возникнуть нештатная ситуация, что повлечет за собой негативные последствия для ЛА в целом. Из анализа существующих методов, следует, что эти методы основаны на определении состояния электрохимического аккумулятора по одной характеристике, что не дает полную картину о его состоянии. Предложенный авторами импульсный метод диагностики позволяет определить состояние электрохимического аккумулятора, в текущий момент времени, анализируя комплекс параметров и характеристик аккумулятора. Импульсный метод в краткие сроки и с большой точностью определит состояние АК, дефекты АК, возникающие в процессе эксплуатации, и даст возможность свести к минимуму количество отказов АК.

Список литературы: 1. ГОСТ 15596 78. Источники тока химические. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1978. – 30 с. 2. ГОСТ 20911 89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. – 12 с. 3. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224с. 4. Накопители энергии: Учеб.пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич – М.: Энергоатомиздат, 1991.- 400с. 5. Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1978. – 264с. 6. Таганова А. А., Бубнов Ю. И., Орлов С. Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник.– Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 264с. 7. Пути продления ресурса электрохимических накопителей энергии, применяемых в ракетно-космической технике / К. В. Безручко, С. В. Губин, А. О. Давидов, В. П. Фролов, А. А. Харченко // Авиационно-космическая техника и технология: Научн.- техн. журн. – 2005.– № 7(23).– С. 228-242. 8. С.В.Сиденко, К.В.Безручко, А.О.Давидов. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током // Вісник Дніпропетровського Університету, Дніпропетровськ, ДНУ,– 2007.– №9/2.– с. 126-132. 9. К.В.Безручко, А.О.Давидов, С.В.Сиденко, С.В.Ширинский. Методы определения емкости электрохимических аккумуляторов //Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал – Нац. аэрокосмич. ун-т „Харк. авиаци. ин-т”, Вып. 7(43), Харьков, ХАИ, 2007. с.120-124