

УДК 629.78.064.5

А.О. ДАВИДОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЛИТЕЛЬНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассмотрен комплекс исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов в энергоустановках ракетно-космических объектов, включающий: исследование теоретических основ обеспечения длительной эксплуатации электрохимических аккумуляторов, разработку методов диагностики, определения, продления и прогнозирования ресурса электрохимических аккумуляторов, исследование теоретических основ для усовершенствования и построения экспериментального стендового оборудования и практические мероприятия по определению и обеспечению ресурса электрохимических аккумуляторов. Кратко рассмотрен каждый из этапов комплекса исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов.

Ключевые слова: комплекс исследований, диагностика, прогнозирование, электрохимический аккумулятор.

Введение

Как правило, надежность и работоспособность большинства объектов аэрокосмической техники (космические аппараты, ракетносители и др.) зависят от работоспособности систем энергоснабжения этих объектов. В тоже время наиболее важными элементами систем энергоснабжения таких объектов, определяющих ее ресурс, являются электрохимические накопители энергии (электрохимические аккумуляторы и батареи).

Независимо от того в каком режиме работают электрохимические накопители (дежурный, циклический и т.д.) со временем происходит частичная или полная их деградация, которая проявляется в уменьшении фактической емкости, увеличении зарядного напряжения и уменьшении разрядного, повышении внутреннего сопротивления, изменении физического состояния.

В настоящее время при выходе из строя электрохимических накопителей, как правило, пользователь просто меняет их на новые, однако случаются ситуации, когда замена не возможна или не рациональна. Так, в случае ракетносителей, замена не рациональна из-за высокой стоимости аккумуляторных батарей, а в случае космических аппаратов замена вообще не возможна.

Таким образом, актуальными становятся исследования по определению, продлению, подтверждению и прогнозированию ресурса электрохимических аккумуляторов и батарей в объектах ракетно-космической техники. Данная статья посвящена

комплексу исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов, эксплуатируемых в энергоустановках ракетно-космических объектов.

1. Концепция исследований

Основываясь на многолетнем опыте работы с электрохимическими аккумуляторами, автором был предложен комплекс исследований, направленный на обеспечение длительного ресурса электрохимических аккумуляторов (рис. 1) в энергоустановках ракетно-космических объектов.

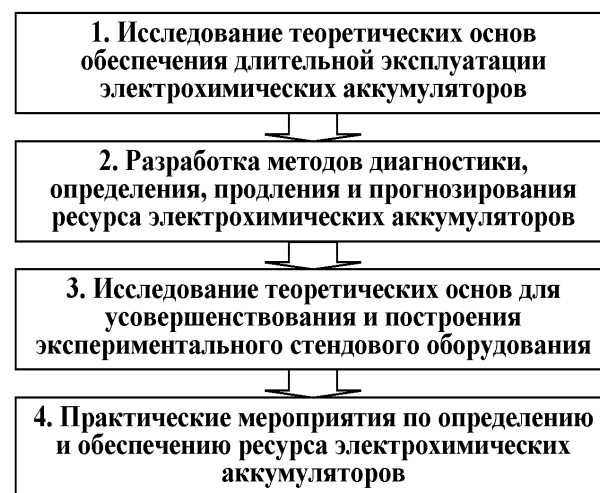


Рис. 1. Основные этапы комплекса исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов

На первом этапе происходит определение основных деградационных процессов, протекающих в электрохимических аккумуляторах, а также разрабатываются математические модели электрохимических аккумуляторов. На втором этапе происходит разработка методов диагностики, определения ресурса, продления ресурса и прогнозирования параметров и характеристик электрохимических аккумуляторов. На третьем этапе предлагаются основы построения экспериментального стендового оборудования, и, происходит подготовка и модернизация экспериментального стендового оборудования. На четвертом этапе проходит диагностика и оценка текущего состояния, проводятся мероприятия для обеспечения длительного ресурса, происходит определение и подтверждение ресурса, а также происходит прогнозирование параметров и характеристик электрохимических аккумуляторов.

2. Исследование теоретических основ обеспечения длительной эксплуатации электрохимических аккумуляторов

На данном этапе комплекса исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов происходит определение, анализ и классификация основных деградационных процессов, протекающих в электрохимических аккумуляторах, работающих в энергоустановках ракетно-космических объектов (рис. 2). Также на этом этапе происходит определение скорости протекания деградационных процессов при различных режимах эксплуатации аккумуляторов.



Рис. 2. Классификация деградационных процессов по месту протекания

Данный анализ показал, что интенсивность протекания деградационных процессов, а, следовательно, и скорость снижения эксплуатационных

характеристик электрохимических аккумуляторов в энергоустановках ракетно-космических объектов зависит как от режимов, так и от условий эксплуатации.

Далее, на этом этапе, происходит разработка математических моделей электрохимических аккумуляторов, эксплуатируемых в энергоустановках ракетно-космических объектов. Математические модели разрабатывались на основе обобщенной структуры (рис. 3).

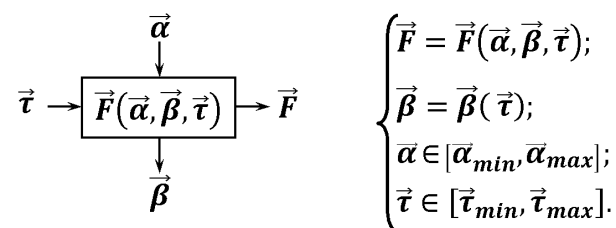


Рис. 3. Обобщенная структура математической модели электрохимического аккумулятора: α – управляющие параметры (ускоряющие факторы); β – специфические параметры (особенности аккумулятора); F – выходные параметры (деградационные характеристики); τ – входные параметры

В результате данных исследований были получены математические модели, применимые для широкого спектра типоразмеров электрохимических аккумуляторов с учетом особенностей их разрядных характеристик и эксплуатации в энергоустановках ракетно-космических объектов.

3. Разработка методов диагностики, определения, продления и прогнозирования ресурса электрохимических аккумуляторов

На данном этапе проводится разработка методов диагностики электрохимических аккумуляторов для оценки их текущего состояния на различных этапах эксплуатации. В задачу диагностики входят: определение зарядной и разрядной емкостей, зарядно-разрядных характеристик, внутреннего сопротивления, качества электролита и значений еще ряда параметров.

Сущность, предложенного автором, импульсного метода экспресс-диагностики (рис. 4) заключается в воздействии на электрохимический аккумулятор специальной последовательностью импульсов тока, измерении и анализе отклика по напряжению и определении основных параметров аккумулятора с помощью специальных математических моделей [1, 2].

В состав последовательности импульсов тока, входящих в тестовый сигнал были включены:

а) разрядные импульсы тока (с целью получения данных для определения значений параметров и построения характеристик аккумуляторов);

б) паузы после разрядных импульсов тока (с целью завершения переходных процессов после разряда аккумуляторов);

в) зарядные импульсы тока (с целью обеспечения нулевого среднего тока и деполяризации после разрядного импульса);

г) паузы после зарядных импульсов тока (с целью завершения переходных процессов после заряда аккумуляторов).

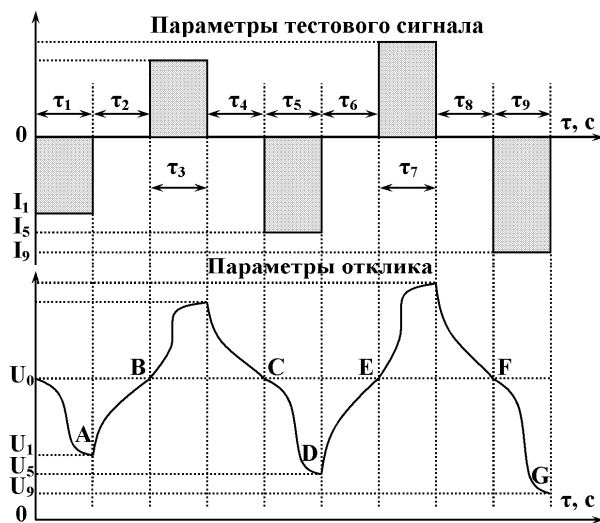


Рис. 4. Параметры тестового сигнала и отклика для прямоугольных импульсов тока.

На данном этапе также происходит разработка метода определения ресурса электрохимических аккумуляторов.

Сущность метода определения ресурса аккумуляторов, предложенного автором, состоит в изучении влияния и использовании различных факторов для оценки характера, скорости и интенсивности деградационных процессов. Метод определения ресурса включает в себя следующие этапы [3–4]:

1. Изучение особенностей режима штатной эксплуатации (происходит изучение характерных особенностей и скорости протекания деградационных процессов при различных режимах эксплуатации с точки зрения специфики этих режимов).

2. Определение характерных деградационных процессов (происходит выделение наиболее вероятных процессов, приводящих аккумулятор к предельному состоянию).

3. Определение факторов, влияющих на интенсивность деградационных процессов (происходит выбор факторов, влияющих на характерные для данного режима деградационные процессы).

4. Управление ускорением деградационных процессов (создаются такие условия эксплуатации,

при которых аккумулятор достигнет предельного состояния за короткий промежуток времени).

5. Математическое описание деградационных процессов (происходит разработка математического описания деградации характеристик в зависимости от интенсивности внешнего воздействия).

6. Определение ресурса в условиях штатной эксплуатации (происходит определение реального ресурса аккумуляторов в штатных условиях с помощью математической модели по результатам ускоренных испытаний).

На данном этапе происходит также разработка метода продления ресурса электрохимических аккумуляторов.

Сущность, предложенных автором методов, заключается в восстановлении характеристик электрохимических аккумуляторов, использовании новых типов аккумуляторов, использовании новых схемных решений и организации рациональных и оптимальных режимов их эксплуатации (рис. 5) [5 – 6].



Рис. 5. Принципы обеспечения длительной эксплуатации электрохимических аккумуляторов

Дополнительно, на данном этапе, происходит разработка метода прогнозирования параметров и характеристик электрохимических аккумуляторов на длительный срок эксплуатации. Метод прогнозирования параметров и характеристик электрохимических аккумуляторов включает в себя следующие этапы [7 – 8]:

1. Построение математической модели (происходит построение структуры математической модели, описывается зависимость искомых параметров (НРЦ, емкость) от переменных величин, которые описывают текущее состояние аккумуляторов и батарей, учитывается влияние деградации с течением времени и т.п.).

2. Экспериментальное определение значений параметров текущего состояния аккумуляторов и

батарей (с помощью методики экспресс-диагностики происходит определение текущих параметров аккумуляторов и батарей).

3. Определение значений эмпирических коэффициентов, входящих в математическую модель, по экспериментальным данным (происходит расчет характеристик аккумуляторов и батарей и уточнение коэффициентов методом наименьших квадратов и методом итераций).

4. Сравнение экспериментальных и расчетных характеристик аккумуляторов (происходит оценка отклонения расчетных характеристик от экспериментальных, строятся графики с использованием расчетных и экспериментальных данных).

5. Расчетное определение прогнозируемых характеристик аккумуляторов и батарей (происходит определение и подтверждение ресурса электрохимических аккумуляторов).

4. Теоретическое обоснование вопросов усовершенствования и построения экспериментального стендового оборудования

При проведении испытаний аккумуляторов в составе батареи следует отдельно контролировать воздействие результатов этих испытаний на отдельные аккумуляторы и отдельно осуществлять измерения параметров состояния аккумуляторов. Данное правило касается не только снятия зарядно-разрядных кривых, но и изучения саморазряда аккумуляторов, снятия вольт-амперных характеристик, технической диагностики и других экспериментальных исследований, связанных с совместной эксплуатацией некоторого количества единичных аккумуляторов в составе батареи.

Для реализации импульсного метода экспресс-диагностики и восстановления электрохимических аккумуляторов и батарей автором была разработана структура научного стенда для диагностики и восстановления электрохимических аккумуляторов и батарей (рис. 6).

Данный стенд позволяет подавать импульс тока на аккумуляторы или батареи и фиксировать отклик на данный импульс с передачей данных на компьютер для расчета и выдачи выходных характеристик. Также данный стенд позволяет проводить восстановительные и контрольно-тренировочные циклы, значительно увеличивающие ресурс электрохимических аккумуляторов.

Для определения и подтверждения ресурса электрохимических аккумуляторов автором были разработаны структуры научного стенда для ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов и батарей малой емкости (рис. 7) и научного

стенда для ускоренных ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов и батарей большой емкости (рис. 8).

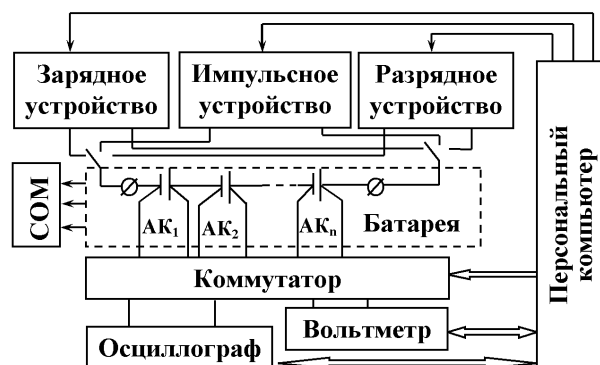


Рис. 6. Схема стенда для диагностики и восстановления электрохимических аккумуляторов и батарей

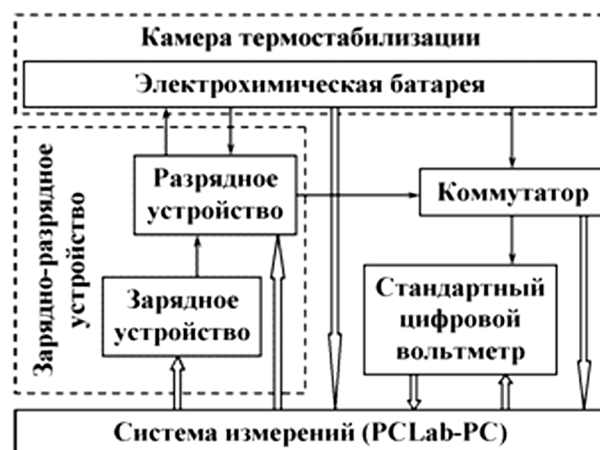


Рис. 7. Схема стенда для ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторных батарей малой емкости



Рис. 8. Стенд для ускоренных ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов и батарей большой емкости

Стенд, схема которого представлена на рис. 7, предназначен для длительных автоматизированных испытаний электрохимических аккумуляторов в условиях, аналогичных их работе на борту космического аппарата. Стенд позволяет проводить испытания аккумуляторов для систем электроснабжения

космических аппаратов с постоянными или переменными значениями параметров энергоприхода и энергозатрат, соответственно программе полета космического аппарата.

Стенд, схема которого представлена на рис. 8, позволяет также проводить испытания и исследования характеристик электрохимических аккумуляторов космического и наземного назначения при различных внешних условиях эксплуатации.

5. Практические мероприятия по определению и обеспечению ресурса электрохимических аккумуляторов

На данном этапе комплекса исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов была проведена диагностика партии из восьми аккумуляторов НКП-90, эксплуатируемых до этого в течение 10 лет. В результате

проведенной диагностики были определены начальные и конечные значения емкости и внутреннего сопротивления аккумуляторов (табл. 1).

Как видно из данных диагностики средняя емкость аккумуляторов в группе равна 99 А·ч, при этом у одного аккумулятора наблюдалась низкая (96 А·ч), а у одного аккумулятора высокая (103 А·ч) емкость. Среднее внутреннее сопротивление в группе равно 0,0037 Ом, при этом у одного аккумулятора оно было наименьшее (0,0034 Ом), а у двух наибольшее (0,0039 Ом).

Далее был определен фактический ресурс аккумуляторов, который составил в среднем по группе 5 лет (табл. 1).

После определения ресурса, были проведены названные выше мероприятия по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов, включающие в себя ряд контрольно-тренировочных циклов.

Таблица 1

Результаты практических мероприятий по определению и обеспечению ресурса электрохимических аккумуляторов

| № аккумулятора | Начальные значения параметров аккумуляторов | | | Значения параметров аккумуляторов после проведения мероприятий по обеспечению длительного ресурса | | |
|----------------|---|--------|-------------|---|--------|-------------|
| | Емкость, А·ч | R, Ом | Ресурс, год | Емкость, А·ч | R, Ом | Ресурс, год |
| 1 | 99 | 0,0039 | 5 | 105,5 | 0,0025 | 10 |
| 2 | 99,5 | 0,0037 | 5 | 102,5 | 0,003 | 9,5 |
| 3 | 100,5 | 0,0037 | 5 | 101 | 0,0031 | 10 |
| 4 | 99 | 0,0039 | 5 | 102 | 0,0032 | 10 |
| 5 | 96 | 0,0037 | 4 | 98 | 0,0035 | 9 |
| 6 | 98,5 | 0,0034 | 5 | 100 | 0,0032 | 9 |
| 7 | 99 | 0,0037 | 5 | 101 | 0,003 | 10 |
| 8 | 103 | 0,0037 | 6 | 103 | 0,0032 | 12 |

По окончании данных мероприятий вновь была проведена экспресс-диагностика и проведены работы по определению ресурса электрохимических аккумуляторов (табл. 1).

Как видно из результатов средняя емкость по группе аккумуляторов поднялась и равняется 102 А·ч, а среднее внутреннее сопротивление уменьшилось и равняется 0,0031 Ом.

Выполненные далее ресурсные испытания показали, что средний ресурс аккумуляторов в группе увеличился на 5 лет и составил в среднем по группе 10 лет.

Проведенное далее прогнозирование параметров электрохимических аккумуляторов показало, что через год эксплуатации средняя емкость в группе аккумуляторов, работающих в штатном режиме будет равна 95 А·ч, среднее внутреннее сопротивление будет равно 0,0034 Ом и средний ресурс аккумуляторов будет равен 9 лет.

Заключение

Предложенный автором комплекс исследований по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов, позволяет не только быстро и точно определять их текущее состояние, определять и прогнозировать ресурс, но и проводить комплекс мероприятий по продлению ресурса электрохимических аккумуляторов в течении их реальных сроков эксплуатации в энергоустановках объектов ракетно-космической техники.

Литература

1. Диагностика электрохимических аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов [Текст] / К.В. Безручко, А.О. Давидов, С.В. Синченко, А.А. Харченко, С.В. Ширинский, А.Л. Азарнов // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». 2009. – №48. – С. 138 – 143.

2. Сиденко, С.В. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током [Текст] / С.В. Сиденко, К.В. Безручко, А.О. Давидов. // Вісник Дніпропетровського університету. – 2007. – №9/2. – С. 126 – 132.

3. Ширинский, С.В. Форсированные ресурсные испытания электрохимических аккумуляторов [Текст] / С.В. Ширинский // Вісник Дніпропетровського університету. – 2008. – № 4. – С. 182 – 187.

4. Ширинский, С.В. Применение ускоренных испытаний для оценки остаточного ресурса аккумуляторов [Текст] / С.В. Ширинский, К.В. Безручко // Вісник Дніпропетровського університету. – 2007. – №9/2. – С. 181 – 185.

5. Безручко, К.В. Восстановление емкости негерметичных никель-кадмиевых аккумуляторов воздействием на активную массу окисно-никелевого электрода [Текст] / К.В. Безручко, А.С. Василенко, А.О. Давидов, А.А. Харченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 2. – С. 66 – 70.

6. Пути продления ресурса электрохимических накопителей энергии, применяемых в ракетно-космической технике [Текст] / К.В. Безручко, С.В. Губин, А.О. Давидов, В.П. Фролов, А.А. Харченко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2005. – № 7 (23). – С. 228 – 242.

7. Безручко, К.В. Прогнозирование характеристик электрохимических аккумуляторов систем электроснабжения ракетно-космических комплексов [Текст] / К.В. Безручко, А.О. Давидов, Т.С. Кадигроб, С.В. Ширинский // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2008. – № 6. – С. 66 – 70.

8. Давидов, А.О. Прогнозирование характеристик электрохимических аккумуляторов работающих в дежурном режиме [Текст] / А.О. Давидов, Т.С. Кадигроб, В.И. Лазненко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2009. – № 10 (67). – С. 199 – 202.

Поступила в редакцию 1.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры ракетно-космических двигателей и энергоустановок летательных аппаратов А.В. Амброжевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

ОСНОВНІ ЕТАПИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ТРИВАЛОГО РЕСУРСУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ АКУМУЛЯТОРІВ В ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

А.О. Давидов

В статті розглянуто комплекс досліджень по забезпеченню тривалого ресурсу електрохімічних акумуляторів в енергоустановках ракетно-космічних об'єктів, який включає: дослідження теоретичних основ забезпечення тривалої експлуатації електрохімічних акумуляторів, розробку методів діагностики, визначення, подовження та прогнозування ресурсу електрохімічних акумуляторів, дослідження теоретичних основ для удосконалення та побудови експериментального стендового обладнання та практичні заходи по визначенню та забезпеченню ресурсу електрохімічних акумуляторів. Коротко розглянуто кожний з етапів комплексу досліджень по забезпеченню тривалого ресурсу електрохімічних акумуляторів.

Ключові слова: комплекс досліджень, діагностика, прогнозування, електрохімічний акумулятор.

THE ACADEMIC QUESTIONS OF PROLONGATION OF LIFE TIME OF ELECTROCHEMICAL BATTERIES IN POWER INSTALLATIONS OF SPACE-ROCKET OBJECTS

A.O. Davidov

The complex of research to support a long life time of electrochemical batteries in power plant of space-rocket objects: study of theoretical principles to ensure long operation of electrochemical batteries, development of methods of diagnosis, testing, extension and prediction of life time of electrochemical battery, study of theoretical principles for the improvement and construction of an experimental bench equipment, practical measures to identify and provide a life time of electrochemical batteries are presented in this article. Each of the stages of complex investigations to ensure a long life time of electrochemical batteries are briefly examined.

Key words: the battery of studies, diagnostic, prediction, the electrochemical battery.

Давидов Альберт Оганезович – канд. техн. наук, вед. научн. сотр., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.