

УДК 629.78.064.5

К. Н. Земляной, В. С. Рева, канд. техн. наук В. П. Фролов,
д-р техн. наук К. В. Безручко, А. А. Харченко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Предложены несколько мероприятий, обеспечивающих длительный ресурс электрохимических аккумуляторов: оценка работоспособности электрохимических аккумуляторов, исследование теоретических основ для усовершенствования и построения экспериментального стендового оборудования.

Запропоновано кілька заходів, що забезпечують тривалий ресурс електрохімічних акумуляторів: оцінювання працездатності електрохімічних акумуляторів, дослідження теоретичних основ для вдосконалення та побудови експериментального стендового обладнання.

Several measures to ensure long service life of electrochemical batteries are proposed: electrochemical battery performance evaluation, study of theoretical basis for improvement and building of experimental bench equipment.

Введение

Наиболее важными элементами систем электроснабжения ракетно-космической техники, определяющими их ресурс, являются электрохимические накопители энергии (электрохимические аккумуляторы и батареи).

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

На данный момент при выходе из строя электрохимического накопителя пользователю проще поменять его на новый, однако бывают ситуации, когда замена не только нерациональна, но и невозможна. Поэтому все более актуальными становятся исследования, посвященные определению, продлению, подтверждению и прогнозированию ресурса электрохимических аккумуляторов и

батарей, входящих в состав систем электроснабжения автономных объектов. В данной статье описан комплексный подход к обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов.

Постановка задачи

Для определения ресурса электрохимических аккумуляторов в составе систем электроснабжения ракетно-космической техники авторами предложены следующие виды работ:

1. Длительная эксплуатация электрохимических аккумуляторов (проводится определение основных деградационных процессов, протекающих в электрохимических аккумуляторах, разрабатываются методы и мероприятия, уменьшающие влияние деградационных процессов на характеристики аккумуляторов).

2. Оценка работоспособности электрохимических аккумуляторов (проводится разработка методов диагностики, определения ресурса и прогнозирования параметров

ров и характеристик электрохимических аккумуляторов).

3. Исследование основ построения экспериментального стендового оборудования (разрабатываются основы построения экспериментального стендового оборудования и происходит его подготовка).

На этапе длительной эксплуатации электрохимических аккумуляторов происходит определение, анализ и классификация основных деградационных процессов, протекающих в них, определение скорости деградационных процессов протекания при различных режимах эксплуатации и разработка методов и мероприятий, уменьшающих их влияние на характеристики аккумуляторов.

Авторами был проведен анализ работы аккумуляторов, который показал, что при эксплуатации в них протекает ряд деградационных процессов, интенсивность которых, а следовательно, и скорость снижения эксплуатационных характеристик зависят не только от режимов эксплуатации, но и от ее условий (рис. 1).

Для обеспечения длительной эксплуатации систем электроснабжения ракетно-космической техники предлагается уменьшить влияние деградационных процессов, протекающих в аккумуляторах во время эксплуатации [5].

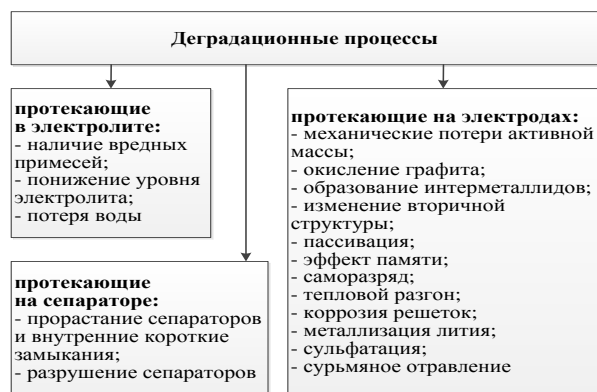


Рис. 1. Классификация деградационных процессов по месту протекания

Для воздействия на данные процессы авторами предлагается использовать последовательность действий, представленную на рис. 2.

На первом этапе проводят анализ режимов работы аккумуляторов в составе систем электроснабжения ракетно-космической техники. Исходя из конкретного режима работы аккумуляторов, на первый план выходят те параметры и характеристики, которые определяют их ресурс. На втором этапе рассматривают основные деградационные процессы, которые при данном режиме работы аккумуляторов являются наиболее актуальными. Исходя из выбранных деградационных процессов, на третьем этапе определяют факторы, влияющие на интенсивность протекания деградационных процессов. На четвертом этапе проводят математическое описание их интенсивности и на пятом – определяют методы, с помощью которых можно обеспечить наибольшее время эксплуатации электрохимических аккумуляторов в составе систем электроснабжения ракетно-космической техники. Для увеличения восстановительного эффекта рекомендуется применять комбинацию методов, что позволит избавиться от большего количества дефектов [1, 2].

На рис. 3 схематически показан процесс воздействия на деградационные процессы электрохимических аккумуляторов. Как правило, ресурс электрохимического аккумулятора определяется временем достижения параметром состояния предельного значения. Кривая параметра состояния качественно показывает изменение параметра состояния аккумулятора, при этом в аккумуляторе протекают деградационные процессы, интенсивность которых качественно показана в виде кривой интенсивности деградации.

Ресурс аккумулятора без применения специального воздействия на деградационные процессы определяется зоной ресурса аккумулятора до воздействия.



Рис. 2. Этапы снижения влияния деградационных процессов на электрохимические аккумуляторы при их длительной эксплуатации

При воздействии на деградационные процессы путем восстановления характеристик отработавших и частично деградировавших аккумуляторов происходит скачок вверх параметра состояния. При этом интенсивность деградации изменяется и определяется в зоне восстановления характеристик.

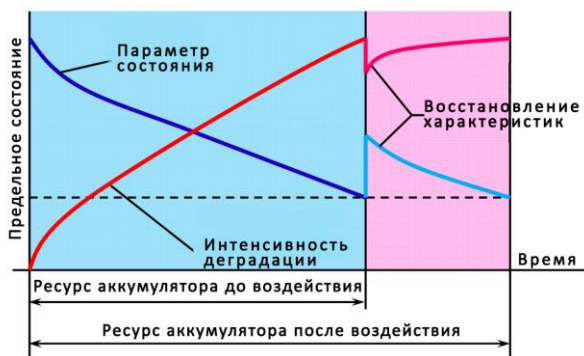


Рис. 3. Схема воздействия на деградационные процессы электрохимических аккумуляторов

На этапе оценки работоспособности электрохимических аккумуляторов происходит разработка методов диагностики, определения ресурса и прогнозирования характеристик.

Авторами был разработан импульсный метод экспресс-диагностики, который является одним из наиболее перспективных [4, 5]. Он позволяет с помощью нескольких тестовых параметров определять основные

характеристики аккумуляторов за короткое время без проведения зарядно-разрядных циклов и без вмешательства в логику работы электрохимического аккумулятора. Суть данного метода экспресс-диагностики (рис. 4) заключается в воздействии на аккумулятор специальной последовательностью импульсов тока, измерениях и анализе отклика по напряжению и определении основных параметров аккумулятора с помощью математической модели.

В качестве тестового сигнала авторами была выбрана последовательность прямоугольных импульсов тока с паузами между ними. В состав последовательности импульсов тока, входящих в тестовый сигнал, были включены разрядные импульсы тока (чтобы получить данные для определения значений параметров и построения характеристик аккумуляторов), паузы после разрядных импульсов тока (для завершения переходных процессов после разряда аккумуляторов), зарядные импульсы тока (для обеспечения нулевого среднего тока и деполяризации после разрядного импульса), паузы после зарядных импульсов тока (для завершения переходных процессов после заряда аккумуляторов).

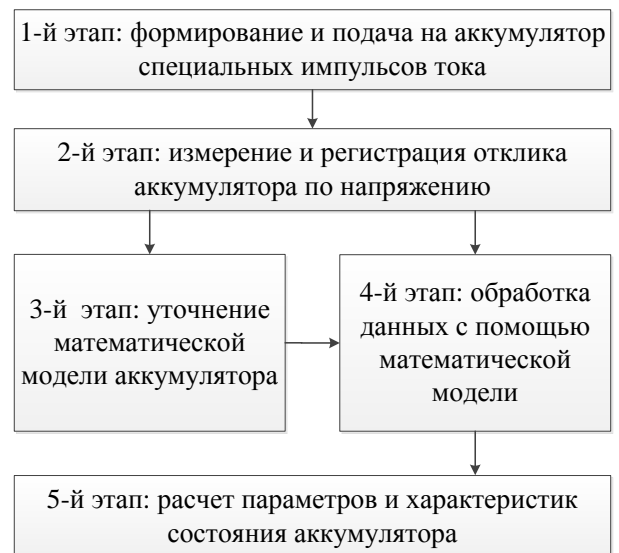


Рис. 4. Последовательность этапов импульсного метода экспресс-диагностики электрохимических аккумуляторов

Отклик на тестовый сигнал представляет собой реакцию аккумулятора на последовательность импульсов тока, т. е. представляет собой фрагменты зарядных и разрядных

характеристик аккумулятора при заряде и разряде различными токами.

На основе полученных данных строят вольт-амперную кривую. Для получения остальных параметров и характеристик применяется разработанная авторами математическая модель электрохимического аккумулятора [6].

Для решения задачи экспериментального определения ресурса аккумуляторов авторами была предложена новая концепция ускоренных ресурсных испытаний, предполагающая:

- изучение условий, способов и режимов эксплуатации аккумуляторов, а также эксплуатационных требований и выделение комплекса процессов деградации, характерных и наиболее значимых в данных конкретных условиях;

- изучение закономерностей протекания характерных процессов деградации аккумуляторов и факторов, влияющих на интенсивность этих процессов;

- разработку методов контролируемого ускорения деградации характеристик аккумуляторов с помощью управляемого внешнего воздействия;

- разработку равнозначных с точки зрения деградации и ресурса методов замены штатной эксплуатации ускоренным старением электрохимических аккумуляторов на основе теоретического описания деградационных процессов.

Изучение влияния различных факторов на характер и интенсивность деградационных процессов позволило авторам разработать метод определения ресурса аккумуляторов, суть которого и последовательность этапов прогнозирования характеристик электрохимических аккумуляторов и батарей [7] описаны на рис. 5.



Рис. 5. Основные этапы форсированных ускоренных ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов

Для установления взаимосвязи результатов эксперимента с деградацией при штатной эксплуатации аккумуляторов используются ресурсные математические модели.

Коэффициент ускорения, характеризующий эффективность ускоренных испытаний, определяется как отношение ресурса аккумулятора к продолжительности ускоренного старения.

На этапе исследования основ для построения экспериментального стендового оборудования происходит его разработка, а также подготовка или модернизация. При испытаниях электрохимических аккумуляторов возникает вопрос об усовершенствовании, а часто и о создании нового экспериментального стендового оборудования. Для реализации импульсного метода экспресс-диагностики и восстановления электрохимических аккумуляторов и батарей авторами была разработана структура соответствующего стенда (рис. 6) [7].

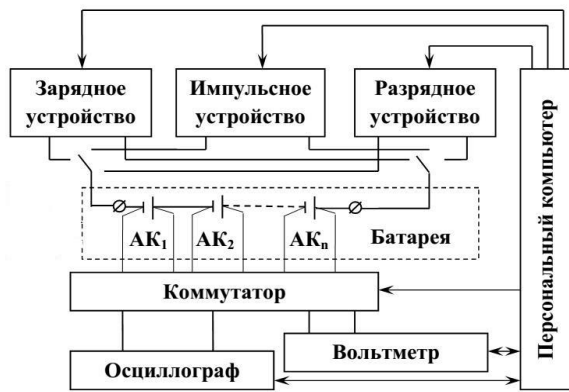


Рис. 6. Схема стенда для диагностики и восстановления электрохимических аккумуляторов и батарей

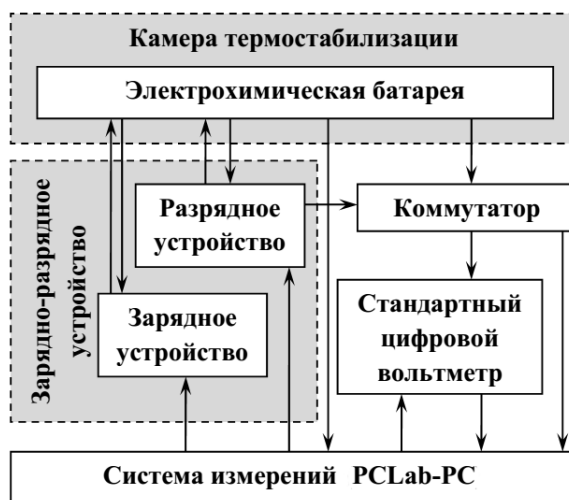


Рис. 7. Схема стенда для ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторных батарей малой емкости

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

Для определения и подтверждения ресурса электрохимических аккумуляторов авторами были разработаны структуры стенда для ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторных батарей малой емкости (рис. 7) и стенда для ускоренных ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов и батарей большой емкости (рис. 8).

Стенд, схема которого представлена на рис. 7, предназначен для длительных автоматизированных испытаний электрохимических аккумуляторов и позволяет проводить испытания с постоянными или переменными значениями параметров энергоприхода и энергозатрат.

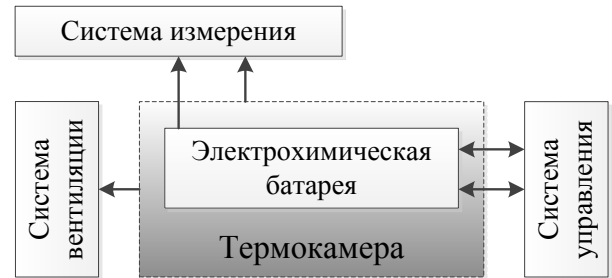


Рис. 8. Стенд для ускоренных ресурсных испытаний электрохимических аккумуляторов и батарей большой емкости

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

Результаты

Авторами на партии из восьми аккумуляторов НКП-90 была проведена практическая апробация мероприятий по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов систем электроснабжения ракетно-космической техники. Исследуемые аккумуляторы были в эксплуатации в течение десяти лет. В результате экспресс-диагностики были определены их начальные и конечные значения емкости и внутреннего сопротивления.

Средняя емкость аккумуляторов в группе была равна 99 А·ч, при этом у одного из них наблюдалась низкая (96 А·ч), а у другого – высокая (103 А·ч) емкость. Среднее внутреннее сопротивление в группе было равно 0,0037 Ом, при этом у одного из аккумуляторов 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 пять лет.

После определения ресурса были проведены пересчитанные выше мероприятия по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов, включающие в себя ряд контрольно-тренировочных циклов, и по окончании данных мероприятий вновь были проведены экспресс-диагностика и определение ресурса электрохимических аккумуляторов.

Средняя емкость по группе аккумуляторов поднялась до 102 А·ч, а среднее внутреннее сопротивление уменьшилось до 0,0031 Ом.

Выполненные далее ресурсные испытания показали, что средний ресурс аккумуляторов в группе увеличился на пять лет и составил в среднем по группе десять 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 – 0,0034 Ом, а средний ресурс – 9 лет.

Выводы

Предложенные авторами мероприятия по обеспечению длительного ресурса электрохимических аккумуляторов позволяют не только быстро и точно оценивать их текущее состояние, определять и прогнозировать ресурс, но и проводить комплекс мероприятий по его продлению в течение реальных сроков эксплуатации в энергоустановках автономных объектов.

Разработана последовательность этапов снижения деградации электрохимических аккумуляторов при их длительной эксплуатации в составе энергоустановок ракетно-космической техники.

Разработаны методы оценки работоспособности электрохимических аккумуляторов энергоустановок ракетно-космических объектов: методы диагностики, определения ресурса и прогнозирования параметров и характеристик.

Список использованной литературы

1. Давидов А. О. Разработка методики восстановления щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов для продления их ресурса / А. О. Давидов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2009. – №8 (65). – С. 132 – 137.

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

3. Азарнов А. Л. Методика экспресс-диагностики электрохимических аккумуляторов / А. Л. Азарнов, К. В. Безручко, А. О. Давидов, В. И. Лазненко, С. В. Ширинский // *ХІІ Міжнар. молодіжна наук.-практ. конф. «Людина і космос»: Зб. тез.* – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2010. – С. 78.

4. Безручко К. В. Метод экспресс-диагностики электрохимических накопителей энергии энергоустановок ракетно-космических объектов / К. В. Безручко, А. О. Давидов // *Космические технологии: настоящее и будущее: III Междунар. конф.: Тез. докл. (20-22 апр. 2011 г.)*. – Днепропетровск, 2011. – С. 5 – 6.

5. Безручко К. В. Импульсный метод диагностики никель-кадмиевых аккумуляторов / К. В. Безручко, А. О. Давидов, С. В. Синченко // *V Наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми ракетно-космічної техніки і технології»: Тези доп.* – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т ХАІ, 2010. – С. 13.

6. Bezruchko K. V. Method of prediction the performance of electrochemical batteries, long working in power plant of space-rocket objects / K. V. Bezruchko, A. O. Davidov, J. G. Katorgina, S. V. Sinchenko, S. V. Shirinsky // *Electrical and Electronic Engineering*. – 2013. – Vol. 3 (3). – P. 81 – 85.

7. Безручко К. В. Разработка и апробация математической модели для прогнозирования характеристик электрохимических аккумуляторов энергоустановок ракетно-космических объектов / К. В. Безручко, А. О. Давидов, Ю. Г. Каторгина и др. // *Вестн. МАИ*. – 2013. – Т. 20, №1. – С. 38-49.

Статья поступила 15.05.2017