

УДК 621.355.019.3

А.О. ДАВИДОВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ ИХ РЕСУРСА**

В статье приведены результаты работы по разработке методики восстановления электрохимических аккумуляторов и созданию макетно-стендового оборудования для восстановления характеристик этих аккумуляторов, входящих в состав химической батареи ракетно-космических комплексов. Разработанная методика основана на методе восстановления аккумуляторов с помощью заряда импульсным асимметричным током и глубокого разряда ступенчатым током. Приведены результаты зарядно-разрядных и восстановительных циклов штатной химической батареи ракеты-носителя «Днепр» 27НКП-90. Определена возможность продления срока эксплуатации химической батареи 27НКП-90 после восстановления, которая составила 6...11 лет.

Ключевые слова: *никель-кадмиевый аккумулятор, батарея химическая, аккумулятор, емкость, зарядно-разрядное устройство, деградация, измерения.*

Введение

В настоящее время по программе конверсии военной техники для применения в народном хозяйстве проводятся совместные Российско-Украинские работы по переоборудованию бывших стратегических ракет для запуска коммерческих спутников. Так например на сегодняшний день совместная Российско-Украинская организация «Космотрас» проводит модернизацию бывших военных ракет в ракету-носитель (РН) «Днепр». Так как ракеты данного типа были взяты на вооружение в 1988...1989 гг., а гарантийный срок эксплуатации составлял 15 лет, на сегодняшний день перед головным разработчиком этих ракет ГП «КБ «Южное» стоит вопрос о продлении их срока эксплуатации. В состав РН «Днепр» входят химические батареи (БХ) 27НКП-90, которые обеспечивают надежность старта.

Необходимость применения восстановительных мероприятий для продления ресурса БХ 27НКП-90 обусловлено тем, что в настоящее время для продления ресурса ракет, в том числе и БХ, осуществляются либо анализ документации с заменой всей БХ при необходимости, либо пробный запуск ракеты [1]. Восстановление БХ с целью продления ресурса позволяет сократить затраты.

1. Разработка методики восстановления никель-кадмиевых аккумуляторов

Как показал анализ литературных источников [2, 3], все методы восстановления характеристик аккумуляторов можно разделить на две группы:

- восстановление аккумуляторов с периодическим выводом из рабочего цикла;
- восстановление аккумуляторов без вывода из рабочего цикла.

Группа методов восстановления аккумуляторов с периодическим выводом из рабочего цикла делится на две подгруппы:

- восстановление аккумуляторов в процессе эксплуатации;
- восстановление аккумуляторов при снятии их с объекта для регламентных работ.

Для щелочных никель-кадмиевых (НК) аккумуляторов (АК) герметизированного исполнения наиболее эффективными являются методы восстановления с помощью заряда импульсным асимметричным током и глубокого разряда ступенчатым током.

Суть метода восстановления АК реверсивным асимметричным током заключается в импульсном воздействии асимметричным током на электрохимическую систему, при этом фиксируется частота воздействующих импульсов, амплитуда зарядного и разрядного импульсов и, для ряда случаев, время паузы [3]. Конкретные режимы восстановления зависят от типов АК, их емкости, состояния и т. д. Импульсное воздействие способствует диспергированию активной массы электродов, увеличивает активную площадь поверхности и соответственно емкость АК.

Суть метода восстановления АК методом глубокого разряда ступенчатым током заключается в глубоком разряде АК в батарее с предотвращением их переплюсовки [3]. Аккумуляторы разряжают-

ся сначала номинальным током до достижения граничного напряжения, а затем разряжаются током более низкого значения, и так, уменьшая ток разряда, можно добиться глубокого разряда АК в батарее. Конкретные значения разрядного тока и граничных напряжений, также зависят от типов АК, их емкости, состояния и т.д. Глубокий разряд способствует снятию пассивирующей пленки с поверхности электродов и позволяет избавиться от эффекта «памяти».

Методика восстановления НК АК предназначена для повышения отдачи по емкости аккумуляторов НКП-90, входящих в состав БХ, и повышения гарантийной емкости БХ 27НКП-90 после гарантийного срока эксплуатации.

При восстановлении аккумуляторов по разработанной методике необходимо проводить работы в следующем порядке:

- 1) начальная диагностика АК, входящих в состав БХ, для определения их состояния перед проведением восстановительных мероприятий;
- 2) проведение восстановительных мероприя-



тий, состоящих из заряда АК импульсным реверсивным асимметричным током и глубокого разряда ступенчатым током;

3) конечная диагностика АК для определения их состояния после проведения восстановительных мероприятий и определения эффективности восстановления АК.

2. Оборудование для восстановления аккумуляторов

2.1 Формирование структуры стенда для восстановления аккумуляторов

Разработанная методика восстановления АК методом импульсного заряда и глубокого разряда определяет структуру стенда и состав оборудования для восстановления с обеспечением требуемых режимов заряда (разряда), контроля и стабилизации параметров.

На рис. 1 представлен общий вид и структурная схема стенда для восстановления АК.

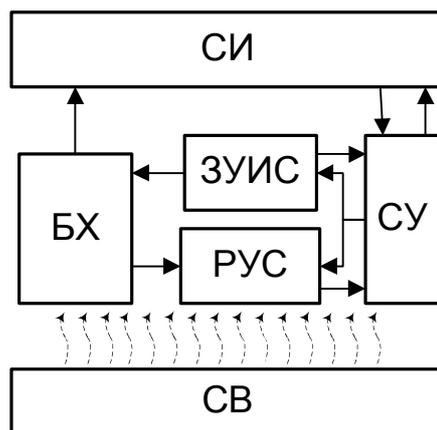


Рис. 1. Общий вид и структурная схема стенда для восстановления АК:

БХ – химическая батарея; СИ – система измерения;

ЗУИС – специализированное импульсное зарядное устройство;

РУС – специализированное разрядное устройство; СВ – система вентиляции; СУ – система управления

Испытательные средства, входящие в состав стенда, представлены специализированным оборудованием, в состав которого входят:

- специализированное импульсное зарядное устройство (ЗУИС). ЗУИС предназначено для проведения восстановительного заряда АК импульсным асимметричным током;
- специализированное разрядное устройство (РУС). РУС предназначено для проведения восстановительного глубокого разряда АК ступенчатым током;
- система измерения (СИ). СИ предназначена для измерения напряжения БХ и поэлементного контроля АК в составе батареи. СИ также осуществ-

ляет измерение значения зарядного (разрядного) тока БХ;

– система управления (СУ). СУ осуществляет автоматизированное управление СИ, ЗУИС и РУС по специально заданной логике согласно методике восстановления АК и обработку результатов измерений, произведенных СИ.

– система вентиляции (СВ). СВ предназначена для обеспечения требований техники безопасности при работе с негерметичными щелочными электрохимическими АК. Задачей СВ является удаление вредных испарений от БХ из рабочей зоны.

Стенд, приведенный на рис. 1, может использоваться как для восстановления полноразмерной

батареи, так и для восстановления части батареи или нескольких АК.

2.2. Специализированное импульсное зарядное устройство и разрядное устройство

Необходимость применения ЗУИС и РУС обусловлена тем, что для реализации разработанной методики восстановления АК необходимы устройства, которые формируют зарядный ток особой формы – «положительный импульс – пауза – отри-

цательный импульс – пауза» и обеспечивают разряд АК, ступенчато, уменьшая разрядный ток согласно разработанной методике. Стандартные и универсальные устройства не позволяют получить импульс такой формы и разряжать АК в таком режиме.

На рис. 2 и 3 представлены общий вид и структурная схема ЗУИС и РУС разработанные и используемые в Лаборатории автономной энергетики ХАИ.

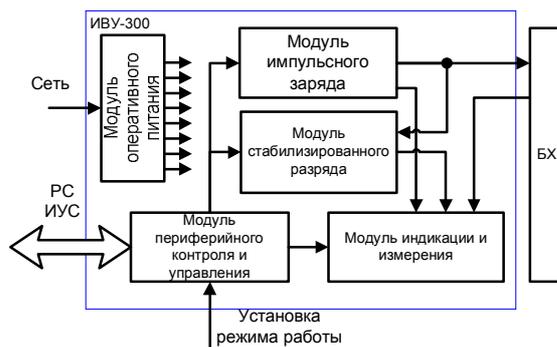


Рис. 2. Общий вид и структурная схема специализированного импульсного зарядного устройства

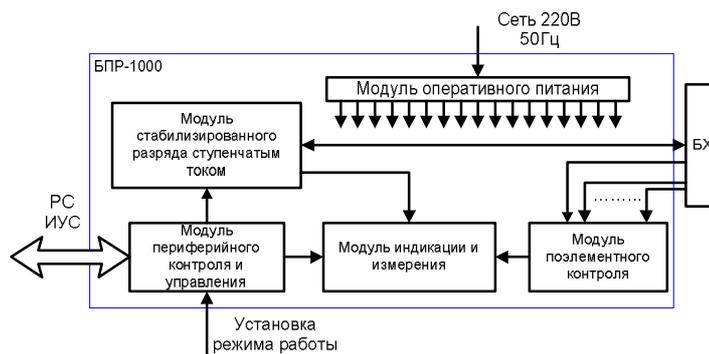


Рис. 3. Общий вид и структурная схема специализированного разрядного устройства

В состав ЗУИС и РУС входят:

- модуль импульсного заряда;
- модуль стабилизированного разряда;
- модуль стабилизированного разряда ступенчатым током;
- модуль индикации и измерения;
- модуль периферийного контроля и управления;
- комплект силовых кабелей с зажимами для подключения к аккумуляторам.

3. Апробация методики восстановления аккумуляторов

Отработка и апробация режимов восстановления выполнены на штатной БХ РН «Днепр»

27НКП-90. На рис. 4 приведен общий БХ 27НКП-90.



Рис. 4. Общий вид БХ 27НКП-90

В ходе диагностики АК были проведены три зарядно-разрядных цикла с током заряда и разряда 9 А. По результатам зарядно-разрядных циклов определены емкости аккумуляторов.

Из всего ряда аккумуляторов для отработки и апробации режимов восстановления, были выбраны те, которые имеют близкие по значению емкости; аккумуляторы: № 4, 6, 8, 14, 18, 24, 25, 26.

В ходе восстановления аккумуляторов были проведены три восстановительных зарядно-разрядных цикла.

По разрядным кривым АК определены емкости, которые выдают аккумуляторы при восстановительном разряде.

В ходе конечной диагностики тестовых аккумуляторов были проведены также три зарядно-разрядных цикла с током заряда и разряда 6 А. По результатам зарядно-разрядных циклов АК определены емкости аккумуляторов. На рис. 5 приведено сравнение относительной емкости аккумуляторов до и после восстановительных мероприятий.

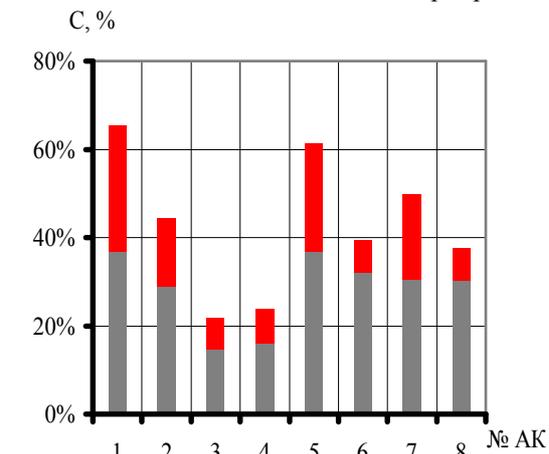


Рис. 5. Сравнение относительной емкости АК до и после восстановительных мероприятий

4. Теоретическая оценка срока сохраняемости характеристик БХ 27НКП-90 после проведения восстановительных мероприятий

Падение емкости БХ с течением времени происходит в результате протекания в АК различных процессов саморазряда.

Саморазряд окисно-никелевого электрода обусловлен двумя основными причинами: протеканием на поверхности активного материала анодного процесса выделения кислорода и окислением металла электродной основы высшими гидроксидами никеля.

Саморазряд НК АК происходит главным образом из-за саморазряда положительного электрода и объясняется самопроизвольным распадом окиси

никеля, образующейся во время заряда АК.

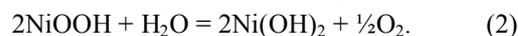
Поскольку окислительный потенциал свежезаряженного электрода лежит вне области устойчивости воды, то последняя играет роль восстановителя, и весь процесс может рассматриваться как электрохимический. Схематически реакция может быть представлена уравнением:



Причем содержание NiO₂ достигает нескольких процентов от веса активной массы.

По мере разложения NiO₂ емкость электрода падает, так как Ni³⁺, переходя при разряде в Ni²⁺, освобождает в 2 раза меньшее количество электричества, чем Ni⁴⁺.

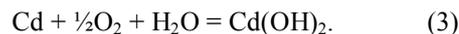
По мере приближения потенциала окисно-никелевого электрода к значению равновесного кислородного потенциала скорость этой реакции уменьшается до нуля. Дальнейший саморазряд связан с разложением части NiOOH по реакции:



Скорость этой реакции значительно меньше, так как процесс имеет чисто химическую природу (вода здесь не является восстановителем, она расходуется лишь на гидратацию образующейся закиси никеля).

Особенно интенсивно саморазряд происходит впервые несколько суток после заряда АК, что связано с разложением высших окислов никеля. В дальнейшем саморазряд положительного электрода почти прекращается.

Саморазряд отрицательного электрода меньше, чем положительного и протекает согласно уравнению:



Кроме того, наблюдается незначительное выделение водорода, происходящее в результате реакции вытеснения:



Анализ процессов протекающих в никель-кадмиевых аккумуляторах при саморазряде позволяет провести теоретическую оценку срока сохраняемости характеристик БХ 27НКП-90 после проведения восстановительных мероприятий.

Для описания уменьшения зарядной емкости при хранении необходимо использовать следующее уравнение:

$$Q(\tau) = Q_0 \cdot (1 - C(1 - \exp(-\lambda\tau))), \quad (5)$$

где λ – константа скорости саморазряда;

C – константа.

Определим значение константы C применительно АК использующихся в БХ 27НКП-90.

Перепишем уравнение (5) относительно величины $Q(\tau)/Q_0$: и выразим его относительно C :

$$C = \frac{1 - Q(\tau)/Q_0}{1 - e^{-\lambda\tau}}. \quad (6)$$

В результате анализа экспериментальных данных было установлено, что для промежутков времени до 12 лет величина C равна 0,6.

Далее произведем расчет величины λ в различные моменты времени хранения, для чего выразим уравнение (5) относительно λ :

$$\lambda = -\frac{1}{\tau} \cdot \ln \left| 1 - \frac{1 - Q(\tau)/Q_0}{C} \right|. \quad (7)$$

Зная величину константы C и зависимость $\lambda(\tau)$ находим зависимость $Q(\tau)$ (рис. 6). На рис. 6 приведены зависимости величин $Q(\tau)/Q_0$ от времени эксплуатации, построенные на основе экстраполяции результатов испытаний батареи.

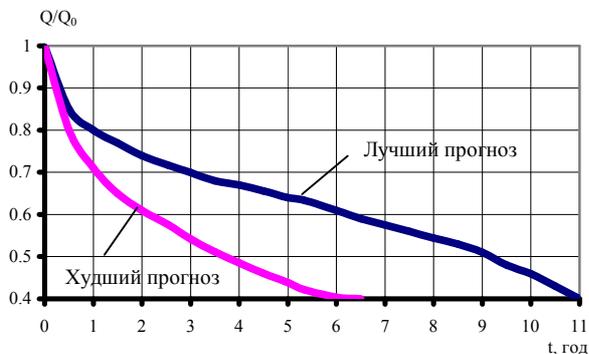


Рис. 6. Расчетный график зависимости величины $Q(\tau)/Q_0$ от времени

Пара кривых на рис 6 показывает лучший и худший прогноз изменения характеристик изделия. Таким образом, после восстановления ресурс БХ может быть продлен на срок от 6 до 11 лет.

Заключение

Из результатов обработки и апробации режимов восстановления и диагностики состояния АК, выполненных на штатной БХ РН «Днепр» 27НКП-90, видно, что средняя емкость отобранных для восстановления АК составляет 28% от номинальной емкости. В ходе восстановления емкость АК повысилась в среднем на 15% от номинальной, а у некоторых АК на 60%. После восстановления средняя емкость АК составляет 43% от номинальной емкости, а относительная емкость некоторых АК составляет 65%.

Результаты обработки и апробации режимов восстановления и диагностики показали, что разработанная методика восстановления щелочных

АК для продления их ресурса в составе БХ является эффективной, и может быть использована для повышения отдачи по емкости аккумуляторов НКП-90, входящих в состав БХ 27НКП-90, и для повышения гарантийной емкости этой батареи после гарантийного срока эксплуатации на 6...11 лет.

Из вышесказанного можно сделать следующие рекомендации, для применения разработанной методики восстановления АК и оборудование должны отвечать следующим требованиям:

1) требования к аккумуляторам, восстановление которых возможно с помощью разработанной методики:

- тип электрохимической системы – щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы;
- тип АК – герметизированные и негерметичные;

- тип электродов – спеченные и намазные;
- электролит – стандартный раствор гидрата окиси калия плотностью 1,28...1,32 г/см³ с добавкой 20 г/л моногидрата гидроокиси лития;

2) требования к емкости аккумуляторов:

- применение данной методики возможно при падении емкости АК не более чем на 80% от номинальной емкости;

- также рекомендуется использовать методику для проведения профилактических мероприятий над АК;

3) требования к оборудованию:

- для восстановления АК согласно разработанной методике необходимо специализированное зарядное устройство, которое формирует зарядный ток особой формы – «положительный импульс – пауза – отрицательный импульс – пауза»;

- для восстановления аккумуляторов согласно разработанной методике необходимо специализированное разрядное устройство, которое обеспечивает разряд АК, ступенчато уменьшая разрядный ток согласно методике;

Литература

1. *Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / Под общей ред. С.Н. Колюхова. – Днепропетровск: ООО «КолорГраф», ООО РА «Тандем-У», 2001. – 240 с.*

2. *Методы диагностирования аккумуляторов // К.В. Безручко, А.С. Василенко, А.О. Давидов, А.А. Харченко // Авіаційно-космічна техніка і технологія : зб. наук. пр. ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Х., 2002. – Вип. 31. – С. 221-224.*

3. *Восстановление емкости негерметичных никель-кадмиевых аккумуляторов воздействием на активную массу окисно-никелевого электрода //*

К.В. Безручко, А.С. Василенко, А.А. Харченко, А.О. Давидов // Вопросы химии и химической технологии; М-во освіти і науки України, Украинский государственный химико-технологический университет. – Днепропетровск, 2002. – № 2. – С. 66-70.

Поступила в редакцию 12.05.2009

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛУЖНИХ НІКЕЛЬ-КАДМІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ЇХ РЕСУРСУ

А.О. Давидов

У статті приведені результати роботи з розробки методики відновлення електрохімічних акумуляторів та створенню макетно-стендового обладнання для відновлення характеристик цих акумуляторів, що входять у склад хімічної батареї ракетно-космічних комплексів. Розроблена методика заснована на методі відновлення акумуляторів за допомогою заряду імпульсним асиметричним струмом і глибокого розряду ступінчастим струмом. Приведено результати зарядно-розрядних та відновлювальних циклів штатної хімічної батареї ракети носія «Дніпро» 27НКП-90. Визначена можливість продовження терміну експлуатації хімічної батареї 27НКП-90 після відновлювальних робіт, що склала 6...11 років.

Ключеві слова: нікель-кадмієвий акумулятор, батарея хімічна, акумулятор, ємність, зарядно-розрядний пристрій, деградація, вимірювання.

DEVELOPING OF THE METHOD OF ALKALINE NICKEL-CADMIUM ACCUMULATORS RECOVERY FOR THEIR LIFE TIME PROLONGATION

A.O. Davidov

In the article it is given the results of work concerning the developing of the methodic of chemical accumulators restoration and making of breadboard bench equipment for recovery of characteristics of chemical accumulators formed a chemical battery of rocket and space complex. The developed methodic is based on the method of recovery of accumulators with help of charge by impulse asymmetric current and deep discharge by step current. It is given the results of charge-discharge and recovery cycles of the standard chemical battery of the launch vehicle "Dnepr" 27NKP-90. Also it was determined the opportunity of prolongation of operation time of the chemical battery 27NKP-90 for 6...11 years after its recovery.

Key words: nickel-cadmium accumulator, chemical battery, accumulator, capacity, charge-discharge device, degradation, measurements.

Давидов Алберт Оганезович – канд. техн. наук, докторант кафедри Двигателів і енергоустановок летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: davidov@d4.khai.edu.