

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АВІАЦІЙНИХ НІКЕЛЬ-КАДМІЄВИХ БАТАРЕЙ

А.І. Ругаль, С.Ю. Маренич

(Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

На базі експериментальних досліджень розрядних характеристик акумуляторів НКБН-25 пропонується імітаційна модель авіаційних нікель-кадмієвих батарей.

імітаційна модель, авіаційні нікель-кадмієві батареї

Постановка проблеми. Акумулятори нікель-кадмієвої електрохімічної системи на теперішній час є найбільш використовуваними в авіації. Цьому сприяють їх високі експлуатаційні характеристики [1]. В ідеальному випадку ресурс акумуляторів має співпадати з ресурсом батарей.

Досвід експлуатації літальних апаратів (ЛА) свідчить, що ресурс нікель-кадмієвих акумуляторів у складі авіаційних батарей використовується не повністю. При цьому скорочення ресурсу батарей пов'язане з розбіжністю технічних характеристик акумуляторів.

З урахуванням складності і вартості вказаних об'єктів, трудомісткості і шкідливості поводження з ними, дослідження впливу розбіжності технічних характеристик акумуляторів на стан батарей доцільно віднести до класу задач моделювання складних систем [2].

Аналіз літератури показав, що у залежності від цілей моделювання процесів, які відбуваються під час заряду, розряду і зберігання акумуляторів широко використовуються фізичні моделі досліджуваних акумуляторів [3 - 6] і абстрактні моделі наведених процесів [7 - 9]. Під час дослідження акумуляторів і батарей спеціального призначення поширеними є такі два підходи, коли:

- для досягнення мети досліджень вважається достатнім використання тільки натурної моделі [6];
- обґрунтовується використання аналітичної або імітаційної моделі процесу (або розробляється нова), а її адекватність доводиться з використанням натурної моделі акумулятора [9].

З аналізу літератури видно, що для виробувань акумуляторів спеціального призначення є характерними такі недоліки натурального моделювання, як тривалість [4] і дорожнеча [5]. В той самий час, тільки випро-

бування зразків дозволяють робити висновки щодо відповідності стану акумуляторів технічним вимогам. Найважливішою характеристикою стану акумулятора є його ємність. З стандартного визначення поняття ємності АБ [10] витікає, що серед аналітичних моделей найбільш важливими для експлуатаційних досліджень є моделі розрядних характеристик. Розрядні характеристики дозволяють визначати не тільки ємність і визнаються такими, що найбільш повно відбивають технічний стан акумуляторів [11]. Кількісний опис технічного стану акумуляторів при цьому здійснюється або за характерними точками розрядної характеристики, або з використанням коефіцієнтів моделей. Ідентифікація коефіцієнтів аналітичних моделей розрядних характеристик акумуляторів виконується з використанням поширених графоаналітичних і числових методів.

Виконувати дослідження впливу технічного стану акумуляторів на ємність батарей в умовах невизначеності, що виникає під впливом експлуатаційних факторів, мають дозволити імітаційні моделі розрядних характеристик [2].

Мета статті. Метою статті є розробка імітаційної моделі авіаційних нікель-кадмієвих батарей для дослідження впливу розбіжності технічного стану нікель-кадмієвих акумуляторів на ємність батарей в умовах невизначеності. Під невизначеністю в роботі розуміється властивість розрядної характеристики нікель-кадмієвого акумулятору змінюватися від циклу до циклу випадковим чином.

Результати досліджень. Структура моделі розрядної характеристики акумулятору розглядалася у вигляді [12]

$$u = u_0 + u_c + u_a, \quad (1)$$

де u_0 – напруга на омичному опорі електроліту та струмоведучих частин електродів; u_c – концентраційна поляризація; u_a – активаційна поляризація.

Структура моделі (1) враховує поступиний безперервний вплив домінуючих фізичних процесів, що відбуваються під час розряду хімічних джерел струму [12], і відповідає властивостям розрядної характеристики нікель-кадмієвого акумулятору (рис. 1). Перша ділянка розрядної кривої характеризується швидкою зміною розрядної напруги. Падіння напруги на омичному опорі від напруги розімкненого кола $U_{рк}$ до початкової напруги U_0 відбувається у момент ввімкнення навантаження миттєво. У подальшому, швидкість зміни розрядної напруги під впливом концентраційних процесів зменшується і наприкінці першої ділянки стає практично постійною. З цією швидкістю, під впливом концентраційних і активаційних процесів, відбувається зміна напруги на другій ділянці розрядної кривої. На третій ділянці розрядної кривої швидкість зміни напруги під впливом активаційних процесів до кінця ділянки збільшується.

За найменшою залишковою дисперсією напруги серед моделей розрядних характеристик для апроксимації експериментальних даних обрана модель вигляду [13]

$$U(t) = U_{pk} + R_a I + k \frac{It}{Q - It} + a \left(e^{-b \frac{It}{Q}} - 1 \right), \quad (2)$$

де U_{pk} – напруга розімкненого кола зарядженого акумулятора, В; R_a – активний опір акумулятора, Ом; I – розрядний струм, А; Q – коефіцієнт, що характеризує залишкову ємність батареї, А·год.; k , a , b – коефіцієнти (розмірність k , a – В, коефіцієнт b безрозмірний); t – час розряду в годинах.

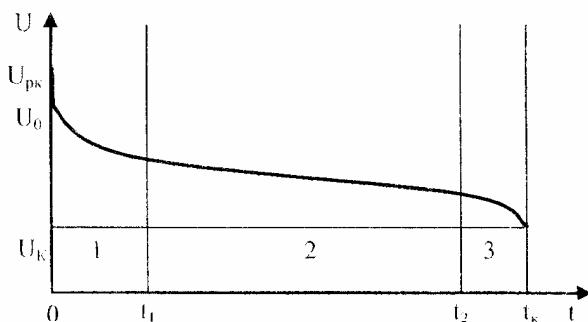


Рис. 1. Типова розрядна характеристика нікель-кадмієвого акумулятора.
1 – початкова ділянка розряду; 2 – полого ділянка розряду;
3 – кінцева ділянка розряду.

Вираз (2) розкриває загальну структуру моделі розрядної характеристики (1). Вихідним сигналом є розрядна напруга. Вхідним сигналом є розрядний струм. Рівноважний стан електрохімічної системи ($I = 0$) характеризується U_{pk} . Падіння напруги в початковий момент розряду ($t = 0$) враховується з використанням R_a . Поляризаційні процеси враховуються з використанням Q і відданої ємності It . Коефіцієнти a і b дозволяють врахувати наявність впливу концентраційної поляризації, а коефіцієнт k – впливу активаційної поляризації на розбіжність розрядних характеристик, що отримані в однакових умовах для різних акумуляторів з близькими значеннями залишкової ємності, на інтервалі часу $0 < t \leq t_k$. Зв'язок коефіцієнтів a , b і k з поляризаційними процесами є результатом проведення формальної аналогії між виразами (2) і (1) з урахуванням форми типової розрядної кривої.

Значення коефіцієнтів моделі (2) визначається за експериментальними даними.

За результатами низки контрольно-тренувальних циклів з використанням багатоканального АЦП були отримані розрядні характеристики більше 80 акумуляторів НКБН-25, що знаходились в експлуатації більше 10 років. Шляхом апроксимації характеристик за методом найменших квадратів для коефіцієнтів моделі (2) визначено їх середні значення і робочий діапазон зміни (табл. 1).

Таблиця 1
Середні значення і робочий діапазон зміни коефіцієнтів моделі

	U_{pk}	R_a	k	a	b	Q
M	1,325	-0,002726	0,018	0,045	13,459	25
σ	0,031	$5,384 \cdot 10^{-4}$	$5,268 \cdot 10^{-3}$	0,017	9,635	3
закон розподілення	рівномірний					нормальний

Гіпотези про закон розподілення коефіцієнтів моделі (2) підтверджені за χ^2 -критерієм, значення якого не нижче 0,65.

У якості імітаційної моделі авіаційної нікель-кадмієвої батареї запропоновано модель її розрядної характеристики, що складається з розрядних характеристик акумуляторів без урахування перехідного опору з'єднань

$$U_0(t) = \sum_{n=1}^{20} U_n(t). \quad (3)$$

Розрядні характеристики окремих акумуляторів $U_n(t)$ генерувалися із використанням (2).

За результатами моделювання встановлено залежність математичного очікування смності батареї $M[Q_0]$ від середнього значення смностей q_{cp} акумуляторів та їх середнього квадратичного відхилення σ_a

$$M[Q_0] = -0,86\sigma_a + q_{cp}. \quad (4)$$

Верхня межа довірчого інтервалу для Q_0 не перевищує q_{cp} , а нижня задається виразом

$$q_{cp} - 1,72\sigma_a$$

з ймовірністю 0,997.

Висновки. Таким чином, розроблена імітаційна модель авіаційних нікель-кадмієвих батарей дозволяє досліджувати вплив на їх технічний стан розбіжності розрядних характеристик акумуляторів.

Розрахункова ємність батарей типу 20НКБН-25 з ймовірністю 0,997 знаходиться в межах: $q_{cp} \geq Q_0 \geq -1,72\sigma_a + q_{cp}$, де q_{cp} – її середнє значення смностей акумуляторів, а σ_a – їх середнє квадратичне відхилення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коровин Н.В. Новые химические источники тока. – М.: Энергия, 1978.
2. Основы моделирования сложных систем: Учеб. пособие для студентов вузов. /М.М. Дыхленко, В.Ф. Кабаненко, И.В. Кузьмин, М.Л. Литвинов, Э.Г. Петров, В.А. Понов, Э.А. Сукесов. – К.: Вища школа., 1981. – 360 с.
3. Молоткова Е.Н., Ауэф И.А., Дасоян М.А. Проблема рекомбинации газов в сермястичном свинцовом аккумуляторе // Сборник работ по химическим источникам тока. – Л.: Энергия, 1978. – Вып. 13. – С. 14-18.
4. Кромpton Т. Вторичные источники тока: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 304 с.
5. Столяренко Л.И., Вакуленко А.П., Александров С.И. Исследование причин ухудшения работоспособности аккумуляторов при повышенной температуре // Исследования в области электрических аккумуляторов // Сборник научных трудов ВНИИАИ. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 98-102.
6. Цугачев Е.В., Розенцотк Б.Я., Козелков Л.В., Теньковцев В.В. Исследование емкостных характеристик никель-кадмиевых аккумуляторных батарей ЗПК-11Д для шахтных головных светильников // Исследования в области электрических аккумуляторов. Сб. науч. тр. ВНИИАИ. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 63-67.
7. Прокофьев А.А., Даниленко И.Ф., Хаскина С.М. Эффективный алгоритм оценки параметров эквивалентной схемы химического источника тока // Сборник работ по химическим источникам тока. – Л.: Энергия, 1978. – Вып. 13. – С. 88-91.
8. Parthasarathy M, Gomadam, John W. Weidne, Roger A. Dougal and Ralph E. White. Mathematical modeling of lithium-ion and nickel battery systems // Journal of Power Sources. – 22 August 2002. – Vol. 110, Issue 2. – P. 267-284.
9. Хаскина С.М., Даниленко И.Ф. Математическое моделирование разрядных характеристик химических источников тока // Сборник работ по химическим источникам тока. Сб. науч. тр. ВНИИАИ. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – С. 34-38.
10. ГОСТ 15596-82. Источники тока химические. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 15596-78; Введ. 01.07.82. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 18 с.
11. Багоцкий В.С., Скудин А.М. Химические источники тока. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с..
12. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1975. – 510 с.

Надійшло 3.05.2006

Рецензент: доктор технічних наук, професор О.М. Фоменко,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба