DOI: 10.17117/na.2016.07.02.034

<http://ucom.ru/doc/na.2016.07.02.034.pdf>

Поступила (Received): 03.07.2016

**Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н., Пилипенко И.А.,
Галушкина И.А.**

**Активационно-омическая поляризация никель-
кадмиевых аккумуляторов**

**Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N., Pylypenko I.A., Galushkina I.A.
Activation-ohmic polarization of nickel-cadmium batteries**

В статье анализируется активационно-омическое слагаемое в эмпирических соотношениях Шефферда, Хаскиной-Даниленко, Шефферда-Дасояна, Романова, Романова (модифицированный вид), описывающих изменение напряжения на клеммах аккумулятора марки КН-10 при их разряде постоянным током

Ключевые слова: активационно-омическое слагаемое, аккумулятор, постоянный ток

The article analyzes the activation-ohmic term in empirical correlations Shepherd, Haskin-Danilenko, Shepherd-Dasoyana, Romanova Romanova (modified species), describing the change in the battery voltage of the brand KN-10 at their discharge DC

Key words: activation-ohmic term, battery, DC

Язвинская Наталья Николаевна

Кандидат технических наук, доцент
Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 215

Yazvinskaya Natalia Nikolaevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Don state technical university
Rostov-on-Don, Varfolomeeva st., 215

Галушкин Дмитрий Николаевич

Доктор технических наук, профессор
Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 215

Galushkin Dmitry Nikolaevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Don state technical university
Rostov-on-Don, Varfolomeeva st., 215

Пилипенко Ирина Александровна

Студент
Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 215

Pilipenko Irina Aleksandrovna

Student
Don state technical university
Rostov-on-Don, Varfolomeeva st., 215

Галушкина Инна Александровна

Кандидат технических наук, доцент
Новошахтинский филиал Южного федерального университета
г. Новошахтинск, ул. 40 лет Октября, 2

Galushkina Inna Aleksandrovna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Branch of Southern federal university in a Novoshakhtinsk the Rostov-on-Don region
Novoshakhtinsk, 40 years of October st., 2

Работа выполнена в рамках гранта МК-4969.2016.8

Вероятнее всего наиболее проверенными эмпирическими соотношениями, описывающими изменение напряжения на клеммах аккумуляторов при их разряде постоянным током, можно считать выражения [1-3]:

– Шеферда

$$U = E - RI - K \left(\frac{q}{C - q} \right) I + A \left(\exp \left(-B \frac{q}{C} \right) - 1 \right), \quad (1)$$

– Хаскиной-Даниленко

$$U = E - RI - K \left(\frac{q}{C - q} \right) + A \left(\exp \left(-B \frac{q}{C} \right) - 1 \right), \quad (2)$$

– Шеферда-Дасояна

$$U = E - RI - \left[Dq + K \left(\frac{q}{C - q} \right) I \right] + A \left(\exp \left(-B \frac{q}{C} \right) - 1 \right), \quad (3)$$

– Романова

$$U = E - q \frac{\Psi_0}{C} - E_p \left(1 - \exp \left(-\frac{\alpha I}{C - q} \right) \right) + A \left(\exp \left(-B \frac{q}{C} \right) - 1 \right), \quad (4)$$

– Романова (модифицированный вид)

$$U = E - RI - K \left(1 - \exp \left(-\frac{\alpha q I}{C - q} \right) \right) + A \left(\exp \left(-B \frac{q}{C} \right) - 1 \right), \quad (5)$$

где E , E_p – ЭДС заряженного и разряженного аккумулятора соответственно; R – внутреннее сопротивление аккумулятора; C – емкость аккумулятора, которую он способен отдать при разряде (полная емкость аккумулятора); I – ток разряда; K , A , B , D , α , Ψ_0 – экспериментальные константы; q – количество электричества, отданное аккумулятором на момент измерения напряжения U .

В этой статье проанализируем активационно-омические слагаемые эмпирических уравнений (1-5). Данная статья продолжает работы [4-15] по моделированию различных режимов работы аккумуляторов.

В уравнениях (1-3, 5) активационно-омическое слагаемое имеет вид

$$U_o = RI, \quad (6)$$

то есть является чисто омическим.

Проанализируем активационно-омическое слагаемое в выражении (4). Данное слагаемое входит в состав третьего слагаемого уравнения (4) и может быть получено из него при $q = 0$.

$$U_a = E_p \left(1 - \exp \left(-\frac{\alpha I}{C} \right) \right). \quad (7)$$

В общем случае, удобно третье слагаемое соотношения (4) разбить на два слагаемых – активационно-омическое и слагаемое ответственное за степень разряженности аккумулятора как это представлено во всех оставшихся эмпирических соотношениях (1-3, 5). Получим соотношение (4) в виде

$$U = E - E_p \left(1 - \exp \left(- \frac{\alpha I}{C} \right) \right) - \left[q \frac{\psi_0}{C} + E_p \exp \left(- \frac{\alpha I}{C} \right) \left(1 - \exp \left(- \frac{\alpha I q}{C(C-q)} \right) \right) \right] + A \left(\exp \left(- B \frac{q}{C} \right) - 1 \right) \quad (8)$$

В соотношении (8) как и в соотношениях (1-3, 5) второе слагаемое описывает изменение напряжения связанное с активационно-омическими процессами, третье и четвертое слагаемые изменения напряжения связанные со степенью разряженности аккумулятора и релаксационными процессами соответственно.

Результаты измерения активационно-омического слагаемого для аккумулятора КН-10 представлены на рис.1 (экспериментальные точки отмечены крестиками). Измерения проводились на полностью заряженном аккумуляторе при токах разряда 0,1; 1; 5; 10 А.

Рис. 1. Активационно-омическое изменение напряжения на клеммах аккумулятора КН-10 в зависимости от тока разряда (крестиками отмечены экспериментальные точки). 1,2 – оптимальные кривые, рассчитанные для соотношений (6) и (9) соответственно

Таблица 1. Оптимальные коэффициенты активационно-омических слагаемых различных эмпирических уравнений для аккумулятора КН-10

Эмпирические соотношения	R, Ом	A, В	B, A ⁻¹	δ, %
(6)	0,027	-	-	38
(9)	-	0,242	0,312	24

δ – относительная ошибка аппроксимации экспериментальных точек, %.

Найдем оптимальные коэффициенты для уравнений (6, 7) из требования оптимального совпадения этих уравнений с экспериментальными точками. Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов и процедурой оптимизации Левенберга-Маркардта. Предварительно для удобства представления результатов перепишем соотношение (7) в виде.

$$U_a = A(1 - \exp(-BI)), \quad (9)$$

где

$$A = E_p, B = \alpha/C$$

Результаты представлены в таблице 1. Таким образом, ошибка аппроксимации экспериментальных значений соотношениями (6, 9) очень большая (таблица 1). То есть данные соотношения не могут достаточно точно описать активационно-омические процессы в аккумуляторах при их разряде постоянным током (рис. 1). Этот фактор, несомненно, приводит к значительному ухудшению в целом, описания с помощью эмпирических соотношений (1-5) изменения напряжения на клеммах аккумуляторов при их разряде.

Список используемых источников:

1. Галушкин Н.Е., Кукоз Ф.И., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н. Моделирование работы аккумуляторов Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2009. 199 с.
2. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Кукоз Ф.И., Галушкин Д.Н. Структурное моделирование работы электрохимических аккумуляторов Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2009. 192 с.
3. Галушкин Н.Е. Моделирование работы щелочных аккумуляторов в стационарных и нестационарных режимах. дис. д-ра тех. н. Новочеркасск, 1998. 465с.
4. Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N. Generalized Model for Self-Discharge Processes in Alkaline Batteries // Journal of the Electrochemical Society. 2012. V. 159. № 8. P. A1315-A1317.
5. Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N. Models for Evaluation of Capacitance of Batteries // International Journal of Electrochemical Science. 2014. T. 9. № 4. C. 1911-1919.
6. Галушкина Н.Н., Галушки Д.Н., Галушкин Н.Е. Нестационарные процессы в щелочных аккумуляторах монография Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2005.
7. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н. Моделирование зависимости ёмкости никель-кадмиевых аккумуляторов от тока разряда // Электрохимическая энергетика. 2012. Т. 12. № 3. С. 147-154.
8. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н. Компьютерное моделирование зависимости емкости никель-кадмиевых аккумуляторов фирмы SAFT среднего режима разряда от токов разряда // ИВУЗ. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 6. С. 123-126.
9. Галушкин Д.Н., Галушкин Н.Е. Разряд щелочных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. 2007. Т. 7. № 2. С. 99-102.
10. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкина И.А. Анализ использования эмпирических соотношений для оценки емкости никель-кадмиевых аккумуляторов фирмы SAFT длительно-го режима разряда // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-5. С. 1180-1184.
11. Кукоз Ф.И., Кудрявцев Ю.Д., Галушкин Н.Е. Влияние формы внешнего тока на распределение количества прошедшего электричества по глубине пористого электрода // ИВУЗ. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 1988. № 3. С. 3-8.
12. Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N., Galushkina I.A. Generalized Analytical Models of Batteries' Capacitance Dependence on Discharge Currents // International Journal of Electrochemical Science. 2014. T. 9. № 8. С. 4429-4439.

13. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н. Модели для оценки емкости никель-кадмиевых аккумуляторов фирмы SAFT короткого режима разряда // ИВУЗ. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. № 5 (174). С. 70-73.
14. Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н. Обобщённая модель зависимости ёмкости никель-кадмиевых аккумуляторов от тока разряда // Электрохимическая энергетика. 2013. Т. 13. № 2. С. 96-102.
15. Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N. Nonlinear Structural Model of the Battery // International Journal of Electrochemical Science. 2014. Т. 9. № 11. С. 6305-6327.

© 2016, Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н.,
Пилипенко И.А., Галушкина И.А.
Активационно-омическая поляризация никель-
кадмиевых аккумуляторов

© 2016, Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N.,
Pylypenko I.A., Galushkina I.A.
Activation-ohmic polarization of nickel-
cadmium batteries