

УДК 629.78.3

С.В. Ольховиков

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

## ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

В статье показано, что безаварийная работа бортовой аппаратуры летательных аппаратов зависит от бесперебойной работы системы электроснабжения, определяемой состоянием источников тока. Установлено, что в процессе эксплуатации емкость химических источников тока уменьшается из-за разрушения электродов аккумуляторных батарей. Предложена математическая модель химического источника тока, позволяющая выбрать диагностические параметры для определения остаточной емкости источников тока в произвольный момент времени их эксплуатации.

**Ключевые слова:** химический источник тока, математическая модель, диагностические параметры.

### Введение

**Постановка проблемы.** Химические источники тока (ХИТ) нашли широкое применение в системах электроснабжения летательных аппаратов (ЛА) (военных и гражданских самолетов, вертолетов боевого и транспортного назначения). При возникновении отказа основного источника электрической энергии бортовой системы электроснабжения ЛА, химический источник тока должен обеспечить бесперебойную работу бортовой аппаратуры для завершения полета или выполнения боевой задачи.

Это обеспечивается наличием необходимой емкости ХИТ.

**Анализ публикаций.** Электрическая цепь химического источника тока состоит из последовательно соединенных проводников, образованных нагрузкой, электродами и электролитом. Условия прохождения электрического тока в этой цепи, определяются характером процессов, происходящих на границе раздела между электродами и электролитом. В ходе токообразующих реакций на электродах имеет место превращение химической энергии в электрическую.

Для уяснения закономерностей, присущих процессам преобразования энергии в аккумуляторах необходимо разработать математическую модель электрохимической системы. Такая модель может быть получена на основе анализа закономерностей, связывающих выходные  $Y_k$  и входные  $X_n$  параметры процессов в химическом источнике тока, т.е. зависимостей вида

$$Y_k = f_k(X_{11}, X_n).$$

Поиск таких параметров зависит от той задачи, которую ставит исследователь. Чаще всего в инженерной практике требуется установить остаточную емкость аккумулятора.

Исходя из этой задачи, необходимо обосновать выбор параметров математической модели химии-

ческих источников тока. При построении математической модели химического источника тока [1 – 5] возможны следующие два подхода. По первому из них считается, что процессы, происходящие в химических источниках тока доступны для непосредственного изучения, и их математические модели могут быть построены на основе теоретического анализа.

В соответствии со вторым подходом закономерности происходящих в химическом источнике тока процессов могут быть выяснены только по реакции на внешнее воздействие, т.е. по характеру изменения выходных параметров при изменении входных по определенному закону. В этом случае закономерности исследуемого процесса описываются набором  $q$  функций вида

$$Y_k = f_k(X_1, X_n).$$

Набор таких моделей сравнительно невелик, так как число выходных параметров  $q$ , характеризующих процесс, редко превышает 3...5. В тоже время число входных параметров очень велико и далеко не всегда эти параметры известны заранее.

Создание модели, учитывающей все факторы, как правило, представляет собой невыполнимую задачу.

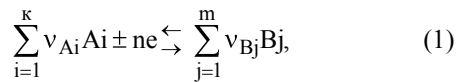
В связи с этим необходимо из всей совокупности  $X_1, \dots, X_n$  факторов выделить группу основных факторов  $X_1, \dots, X_m$ , влияние которых существенно.

**Целью статьи** является обоснование и выбор диагностических параметров, позволяющих определять емкость химического источника тока в произвольный момент его эксплуатации.

### Основная часть

Рассмотрим процессы, в химическом источнике тока на границе раздела между электродами и электролитом.

Электрохимические реакции при этом могут быть представлены следующим образом:



где  $A_i$ ,  $B_j$  – вещества, которые участвуют в реакции;

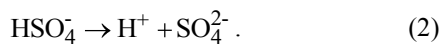
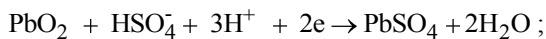
$\nu_{Ai}$ ,  $\nu_{Bj}$  – стехиометрические коэффициенты веществ  $A_i$  и  $B_j$ ;

$n$  – число электронов;

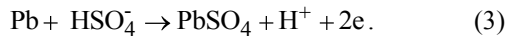
$e$  – заряд электрона;

$i=1 \dots K$ ;  $j=1 \dots m$ .

В соответствии с описанным выше выражением (1) для свинцово-кислотного аккумулятора на положительном электроде имеет место следующие реакции:



На отрицательном электроде этого аккумулятора происходит следующая реакция:



Протекание этих реакций сопровождается взаимным превращением химической и электрической энергии.

Если реакция идет самопроизвольно, то свободная энергия системы уменьшается и химическая энергия превращается в электрическую, что имеет место в процессе разряда аккумулятора.

Если же в электрической цепи кроме аккумулятора есть и другой источник постоянного тока, то при определенном напряжении на зажимах этого источника тока реакция может пойти в обратном направлении и за счет электрической энергии в системе будут происходить химические превращения веществ, сопровождающиеся ростом внутренней энергии.

Для уяснения закономерностей, присущих процессам преобразования энергии, используем понятие термодинамического потенциала  $\Phi$ .

Следуя [6], под функцией состояния системы  $\Phi$  будем понимать

$$\Phi = U - T \cdot S + P \cdot V, \quad (4)$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы;

$S$  – энтропия;

$T$  – абсолютная температура;

$P$  – давление;

$V$  – объем.

В соответствии с законом сохранения энергии, изменение термодинамического потенциала равно максимальной полезной работе химического источника тока, т.е. справедливо следующее соотношение:

$$\Delta\Phi = n \cdot F_3 \cdot E, \quad (5)$$

где  $\Delta\Phi$  – изменение термодинамического потенциала, представляющее собой разность сумм термодинамических потенциалов конечных и исходных веществ реакции разряда;

$n$  – число электронов, принимающих участие в электрохимической реакции;

$F_3$  – число Фарадея, равное 96490 Кл/г-экв;

$E$  – величина ЭДС.

Для определения величины ЭДС найдем полный дифференциал  $d\Phi$ .

Из (4) следует, что

$$d\Phi = dU - TdS - SdT + PdV + VdP. \quad (6)$$

Используя основное уравнение термодинамики, объединяющее первый и второй законы,

$$TdS = dU + PdV, \quad (7)$$

преобразуем (6) к виду

$$d\Phi = -SdT + VdP. \quad (8)$$

Для изобарного процесса, имеющего место в свинцово-кислотных аккумуляторах, находим

$$d\Phi = -SdT. \quad (9)$$

Используя понятие энтальпии  $H$ , равной

$$H = U + P \cdot V, \quad (10)$$

представим (4) в виде

$$\Phi = H - T \cdot S. \quad (11)$$

Составляя полученные выше выражения (11) и (9), получим следующее выражение для расчета термодинамического потенциала:

$$\Phi = H + T \frac{d\Phi}{dT}. \quad (12)$$

Из (12) находим, что изменение термодинамического потенциала  $\Delta\Phi$  описывается следующим соотношением

$$\Delta\Phi = \Delta H + T \frac{d\Delta\Phi}{dT}. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение, отражающее зависимость величины ЭДС от изменения энтальпии, представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка

$$T \frac{dE}{dT} - E = \frac{\Delta H}{n \cdot F_3}, \quad (14)$$

Следовательно, ЭДС химического источника тока зависит от изменения энтальпии и абсолютной температуры, определяемых изменением концентрации веществ, участвующих в электрохимических превращениях, и изменением состояния температурного поля.

При этом необходимо учитывать характеристики электрического поля, существующего как в электродах, так и в электролите.

Таким образом, при выборе диагностических параметров, характеризующих электродные реакции и сопутствующие им физико-химические превращения, необходимо учитывать потенциалы электродов, концентрации (активности) реагирующих веществ, плотность тока и температуру.

### Выводы

1. Диагностическими параметрами, характеризующими электродные реакции и соответствующие физико-химические превращения, являются потенциалы электродов, концентрация реагирующих веществ, плотность тока и температура, значения которых определяются комплексным воздействием концентрационного, теплового и электрического полей.

2. Характер процессов, протекающих в химических источниках тока, можно определить по реакции, т.е. по закону изменения исходных параметров химического источника тока при внешних возмущениях, проявляющихся в изменении концентрации реагентов, температуры и плотности тока.

3. Электродвижущая сила химического источника тока зависит не только от изменения абсолютной температуры и изменения концентрации веществ, которые принимают участие в электрохимических превращениях, но и от характеристик электрического поля.

### Список литературы

1. Любиев О.Н. Математическое моделирование электрохимических систем / О.Н. Любиев. – Н.: Изд-во Новочеркасского политехнического института, 1979. – 83 с.
2. Приходько А.А. Математическое моделирование растворения серной кислоты в электролите свинцово-кислотного аккумулятора / А.А. Приходько, Е.А. Елисеева, Н.В. Кузнецова // Вісник Київського політехнічного інституту. – 2002. – Т. 1, № 42. – С. 110-113.
3. Семенов М.Г. Исследование неравновесного разряда положительного электрода свинцово-кислотного аккумулятора / М.Г. Семенов // Электрохимия. – 1999. – Т. 35, № 12. – С. 1447-1451.
4. Семенов М.Г. Моделирование процесса разряда в зернистом слое активного материала на отрицательном электроде свинцового аккумулятора / М.Г. Семенов // Электрохимия. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 115-118.
5. Лужин В.К. Использование линейных математических моделей для прогнозирования электрических характеристик и оптимизации конструкции свинцовых аккумуляторов / В.К. Лужин, В.М. Ягнятинский // НИИ и ОКР. Электротехническая промышленность: серия «Химические и физические источники тока». – 1984. – Вып. 3 (96). – С. 9-12.
6. Ферми Е. Термодинамика / Е. Ферми. – Х.: Изд-во Харьковского университета, 1973. – 136 с.

Поступила в редколлегию 30.08.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

С.В. Ольховіков

*У статті показано, що безаварійна робота бортової апаратури літальних апаратів залежить від безперебійної роботи системи електропостачання, визначуваної станом джерел струму. Встановлено, що в процесі експлуатації місткість хімічних джерел струму зменшується із-за руйнування електродів акумуляторних батарей. Запропонована математична модель хімічного джерела струму, що дозволяє вибрати діагностичні параметри для визначення залишкової місткості джерел струму в довільний момент часу їх експлуатації.*

**Ключові слова:** хімічні джерела струму, математична модель, діагностичні параметри.

### CHOICE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS CHEMICAL SOURCES OF CURRENT

S.V. Ol'khovikov

*It is shown in the article, that accident-free work of airborne equipment of aircrafts depends on trouble-free work of the system of power supply, determined by the state of sources of current. It is set that in the process of exploitation the capacity of chemical sources of current diminishes from destruction of electrodes of storage batteries. The mathematical model of chemical source of current is offered, allowing to choose diagnostic parameters for determination of remaining capacity of sources of current in arbitrary moment of time of their exploitation.*

**Keywords:** chemically source of current, mathematical model, diagnostic parameters.