

УДК 629.735

С.В. ГУБИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ**

*Приведен аналитический обзор методов контроля параметров электрохимических накопителей, и сформулированы требования повышения достоверности контроля. Рассмотрены пути организации контроля электрических и неэлектрических параметров аккумуляторной батареи в составе автономной и гарантированной системы энергоснабжения. Показаны особенности к требованиям по разрядности измерительных аналого-цифровых преобразователей. Уточнена необходимость контроля физического состояния электродов электрохимических аккумуляторов для повышения достоверности определения основного энергетического показателя – емкости электрохимического накопителя в составе энергоустановки.*

**Ключевые слова:** энергоустановка, аккумулятор, электрохимический накопитель, контроль, параметр, емкость.

**Введение**

Современные автономные энергетические установки, в том числе и установки, предназначенные для систем гарантированного энергоснабжения и работающие в составе централизованного энергоснабжения, включают аккумуляторы энергии в виде электрохимических накопителей. Электрохимические накопители наиболее выгодно отличаются высокой степенью готовности, энергоемкостью, малыми потерями, но требуют тщательности выполнения эксплуатационных требований. В современных энергоустановках такие требования выполняются за счет автоматизации процессов контроля при заряде и разряде аккумуляторов и в условиях дежурного режима. Можно констатировать тот факт, что многие специалисты, занятые эксплуатацией средств связи, транспорта, источников вторичного электропитания не уделяют должного внимания вопросам эксплуатации аккумуляторов, полагая, что все проблемы за них решит зарядное устройство [1].

Сложность контроля электрохимических аккумуляторов заключается в том, что необходимо одновременно измерять группу электрических и неэлектрических параметров со строгой синхронизацией по времени и в реальном масштабе времени проводить вычисления определяющих характеристик: емкости, остаточной емкости, величин деградации. Если такие операции производятся в специализированном зарядном устройстве для одного типоразмера аккумуляторов, то задача решается по заранее экспериментально отработанным методикам со стабильными зарядными и разрядными токами до конечных значений напряжений и при строго фик-

сированной рабочей температуре. Для реализации таких режимов заряда-разряда изготовители поставляют достаточно широкий спектр устройств силовой электроники с развитой элементной базой. В случае работы электрохимических аккумуляторов в составе энергетической установки далеко не всегда удается организовать стабильный режим заряда или разряда. А применение элементной базы контроля, устанавливаемой в промышленных зарядно-разрядных устройствах не всегда возможно без предварительного технического анализа, экспериментальных исследований рабочих режимов и научного обоснования методов и путей измерений электрических и неэлектрических параметров аккумуляторов. В данной работе рассматриваются подходы к проведению контроля параметров аккумуляторов в составе энергетической установки.

**Постановка задачи контроля характеристик аккумуляторов**

Существующие методы контроля параметров электрохимических аккумуляторов сводятся к измерению текущих значений напряжения ( $U_{z(p)}$ ) и тока ( $I_{z(p)}$ ), как электрических параметров (индексы  $z$  – заряд,  $p$  – разряд), текущего значения температуры ( $t^\circ$ ) и внутреннего давления ( $P$ ) как неэлектрических. Практически для всех существующих электрохимических систем характерно нелинейное изменение зависимости напряжения от относительной емкости по трем характерным участкам (рис. 1).

Если относительная емкость

$$C_{от} = Q_i / Q_n,$$

где  $Q_i$  – текущая емкость аккумулятора, а  $Q_n$  –

номинальная, то независимо от величины номинального зарядного или разрядного напряжения на характеристике можно выделить участок начальной концентрационной поляризации (нкп), активационной поляризации (ап) и конечной концентрационной поляризации (ккп). Характерно, что участок ап имеет высокую стабильность напряжения, а участки концентрационной поляризации определяются резким изменением скорости нарастания или падения напряжения [2]. Все процессы происходят в очень узком диапазоне поляризации от  $U_{pmin}$  до  $U_{zmax}$  в пределах 0.5 В на уровне номинального напряжения например:

- свинцовые (кислотные) 1.8...2.3 В;
- никель-кадмиевые (щелочные) 1.0...1.5 В;
- литий-ионные 3.0...4.5 В.

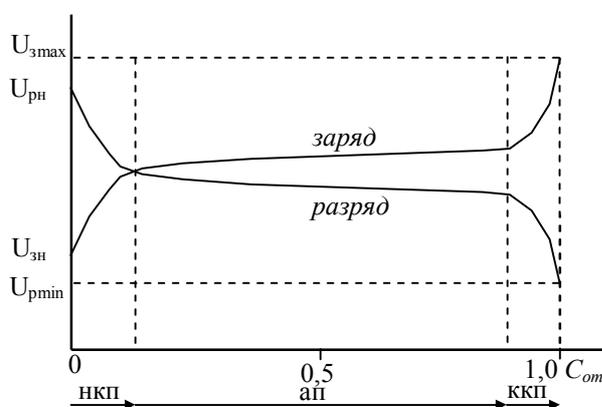


Рис. 1. Обобщенный вид зарядно-разрядных характеристик аккумулятора

Таким образом, при постановке задачи измерения напряжения на аккумуляторе необходимо, чтобы аналого-цифровой преобразователь имел возможность обеспечить измерение не менее двух разрядов после запятой в формате

$$U_{ак} = X.XXX$$

и для аккумуляторной батареи в формате

$$U_{аб} = XX.XX.$$

Измерение тока заряда и разряда обычно связано с необходимостью определения значительной величины от единиц до нескольких десятков, а для мощных систем – сотен Ампер, что требует установки шунтов со стандартизованным выходным напряжением. Таким образом, ток заряда или разряда может быть определен из

$$I_{z(p)} = U_{ш} / R_{ш},$$

где  $R_{ш}$  имеет стандартизованное значение для условий максимального  $I$  и значений

$$U_{ш} = 75 \text{ мВ (45 мВ)}.$$

Т.е. при постановке задачи контроля тока аналого-цифровой преобразователь должен пред-

ставлять собой милливольтметр, чувствительный к полярности входного напряжения, на основании которой будет определяться условие заряда или разряда [3].

Третьим фактором контроля параметров аккумулятора является определение времени, стабильность временных интервалов и апертурное время аналого-цифровых преобразователей. При постановке задачи контроля параметров аккумулятора точность контроля времени играет весьма важную роль, поскольку вычисление основной характеристики аккумулятора – емкости связано с параметрами тока и времени интегральным соотношением:

$$Q_{z(p)} = \int_0^t I_{z(p)}(t) dt, \quad (1)$$

где  $Q_{z(p)}$  – зарядная или разрядная емкость электрохимического аккумулятора.

На основании этого выражения формируется решающее логическое устройство – счетчик ампер-часов, который совместно с конечными значениями напряжений формирует характеристики полностью заряженного или разряженного аккумулятора.

В классической постановке контроля параметров аккумулятора важным является контроль температуры корпуса аккумулятора, поскольку емкость, а соответственно и положение точек максимального напряжения заряда или минимального напряжения разряда имеют температурную зависимость и для реализации практического контроля необходимо применение малоинерционных и высоконадежных датчиков температуры.

Дополнительным контролируемым параметром, особенно для герметичных и герметизированных аккумуляторов, является давление газов внутри корпуса, возникающее в процессе электрохимических реакций. Для установления начальной точки отсчета заряженного аккумулятора по давлению газов устанавливаются малогабаритные предельные датчики или индикаторы давления газов.

Таким образом, постановка задачи контроля электрохимических аккумуляторов в «классическом» виде может быть представлена схемой, показанной на рис. 2. По такой схеме создаются стационарные зарядно-разрядные испытательные устройства электрохимических аккумуляторов, что позволяет в достаточно полном объеме получить семейство заряд-разрядных характеристик и выполнить запись тестовых параметров для стационарной работы аккумуляторов в аккумуляторной батарее в составе энергетической установки.

Однако решение проблемы контроля аккумуляторов в составе батареи автономной энергоустановки осложняется рядом факторов, которые будут изложены ниже.

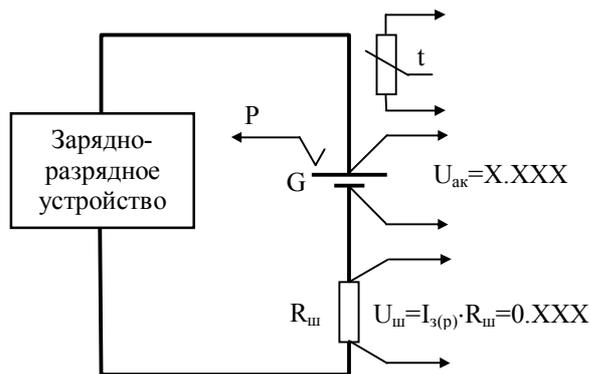


Рис. 2. Схема контроля параметров аккумулятора

### Решение вопросов контроля аккумуляторов в составе энергоустановки

Полнота информации в процессе контроля аккумуляторов в составе энергетической установки взаимосвязана с требованиями надежности и, в том числе, бесперебойности энергоснабжения. Обеспечение полноты контроля аккумуляторов в зарядных устройствах и в зарядно-восстановительных устройствах с режимом разряда осуществляется по заранее установленным программам и экспериментально отработанным характеристикам для данного типоразмера аккумулятора.

Для контроля аккумуляторов и особенно аккумуляторных батарей в составе энергетической установки недостаточно имеющихся сведений по стационарным режимам работы.

В энергетических установках может происходить постоянная смена заряда и разряда (переменяющийся заряд) постоянно изменяются зарядные и разрядные токи, вплоть до выхода за рекомендуемые номиналы.

Кроме этого непостоянство циклирования аккумуляторов приводит к неконтролируемым процессам деградации активной массы электродов и перестроению кристаллической структуры активных веществ, изменению состава и качества электролита или его аналога, ухудшению свойств сепаратора.

Таким образом, контроль параметров электрохимического накопителя в составе энергоустановки требует не только получения данных об электрических составляющих, но и о расширении контроля неэлектрических составляющих [4, 5]

Для реализации контроля электрических параметров можно воспользоваться расширением схемы контроля зарядно-разрядного устройства с соблюдением ряда факторов (рис. 3).

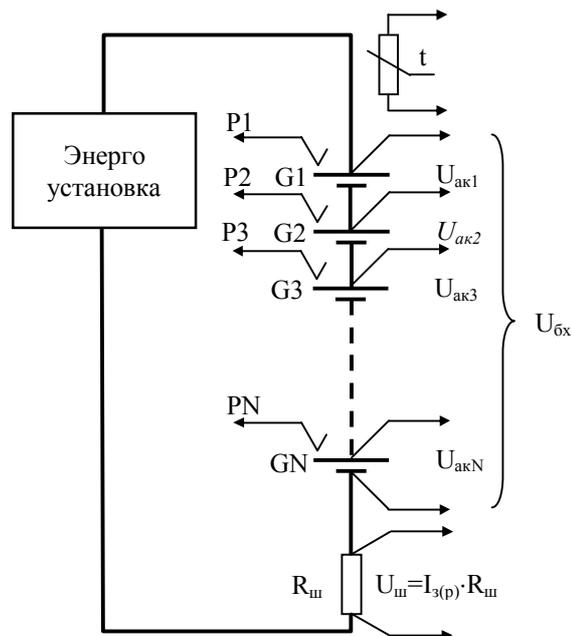


Рис. 3. Схема контроля параметров батареи электрохимических аккумуляторов в составе энергоустановки.

К таким факторам относятся:

– поэлементный контроль напряжения на отдельных аккумуляторах по квазидвухзондовой схеме, т.е. для измерения напряжения на предыдущем аккумуляторе в последовательной цепи используется положительный вывод последующего аккумулятора, а силовая шина принимается с нулевым сопротивлением с разрядностью измерения

$$U_{ак} = X.XXX$$

– суммарное напряжение на всей химической батарее измеряется по выводам первого и последнего аккумуляторов в цепи с разрядностью измерения

$$U_{аб} = XX.XX.;$$

– измерение тока выполняется шунтовым методом с учетом инструментальной и тепловой составляющей погрешностей сопротивления шунта

$$R_{ш} = R_{шconst} \pm \Delta R_{ш} \pm t^{\circ} R_{ш}$$

с разрядностью измерений не менее

$$U_{ш} = 0.XXX;$$

– текущая емкость определяется путем численного интегрирования с дискретностью соответствующей наименьшему периоду смены тока в цепи аккумуляторной батареи:

$$Q_{c(\delta)} = \sum_{i=0}^n I_{c(\delta)i} \Delta \tau_i, \quad (2)$$

где  $\Delta \tau_i$  – период дискретности по времени измерения тока в цепи аккумулятора, а погрешность изме-

рения тока по времени будет определена из условия составляющих дискретности:

$$\Delta\tau_1 = \tau_n \pm \Delta\tau + \tau_{\text{ап}},$$

где  $\tau_n$  – период дискретизации,  $\Delta\tau$  – погрешность дискретизации,  $\tau_{\text{ап}}$  – апертурное время аналого-цифрового преобразователя.

Реализация контроля «классических» неэлектрических параметров по температуре может быть выполнена за счет малогабаритных полупроводниковых датчиков температуры с цифровым выходом, что позволяет разместить их в наиболее критичных теплонагруженных точках и выполнить измерения с точностью до  $0.5^\circ\text{C}$ .

Для измерения давления внутреннего газоразделения могут быть использованы штатные индикаторы, или в их отсутствие тензометрические датчики, установленные непосредственно на корпусах аккумуляторов и определяющие микродеформации корпусов за счет повышения внутреннего давления.

Для оценки процессов деградации активной массы электродов и перестроения кристаллической структуры активных веществ, изменения состава и качества электролита или его аналога – ионообразующих мембран, ухудшению свойств сепаратора «классические» методы контроля могут выступать только как косвенные. Т.е. эти методы позволяют оценить изменение внутреннего сопротивления, уменьшение остаточной емкости, но не позволяют однозначно выявить причину деградации характеристик и заблаговременно парировать ее. Для реализации контроля внутреннего состояния электрохимической системы в составе энергоустановки необходимо применение элементов неразрушающего контроля с выдачей информации по состоянию электродов и установлению коррелирования с «классическими» параметрами, что в общем виде изложено в [4].

### Заключение

Определение характеристик электрохимического аккумулятора в составе энергетической установки представляет собой сложную техническую задачу, решение которой может быть выполнено современными автоматизированными средствами с проведением измерений электрических величин, неэлектрических параметров и применением методов неразрушающего контроля. Точность средств контроля взаимосвязана с условиями электрохимических процессов, а средства измерений должны

позволять проводить измерения с допуском не менее двух разрядов после запятой.

Измерение времени и фиксация временных интервалов является важнейшим элементом, необходимым для расчета параметров аккумуляторов. Если учесть необходимость и точность измерения неэлектрических параметров, то измерения должны проводиться контроллером в реальном времени. Разрядность аналого-цифровых преобразователей контроллера для проведения таких измерений может оказаться недостаточной, поэтому необходимо дополнительное оснащение специализированными аналого-цифровыми преобразователями. Точность измерения времен системным таймером контроллера для точных измерений емкости является недостаточной, поэтому в измерительной схеме необходимо применение автономного таймера с формированием временных интервалов. Формирование текущего значения емкости при комплексных измерениях должно выполняться под управлением специализированного программного обеспечения с конечным коррелированием данных по неразрушающим методам контроля с автономным контроллером.

Таким образом, контроль параметров аккумулятора содержит «классическую» часть, состоящую из: аналого-цифровых преобразователей напряжения и нормированных усилителей тока аккумулятора, температуры, тензодатчиков и автономного прецизионного системного таймера. «Неклассическая» часть содержит ультразвуковой сканер, работающий на просвет и анализирующий распределение поверхностной структуры электродов

### Литература

1. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы / Д.А. Хрусталеv. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
2. Романов В.В. Химические источники тока / В.В. Романов, Ю.М. Хашев. – М.: Сов. радио, 1978. – 264 с.
3. Измерения в промышленности: справочник. В 3-х кн. – Кн. 1. Теоретические основы; пер. с нем. под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1990. – 492 с.
4. Способы контроля заряда аккумуляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.powerinfo.ru>.
5. Иванова Т.Ю. Развитие гипотезы фразктальности поверхности электрода электрохимического аккумулятора / Т.Ю. Иванова, С.В. Губин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 9 (59). – С. 48-51.

Поступила в редакцию 1.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### МЕТОДИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРІВ У СКЛАДІ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

*С.В. Губін*

Наведено аналітичний огляд методів контролю параметрів електрохімічних накопичувачів, та сформульовані вимоги до підвищення достовірності контролю. Розглянуті шляхи організації контролю електричних та неелектричних параметрів акумуляторної батареї у складі автономної і гарантованої системи енергозабезпечення. Зазначені особливості до вимог розрядності вимірювальних аналого цифрових перетворювачів. Уточнена необхідність контролю фізичного стану електродів електрохімічних акумуляторів для підвищення достовірності визначення основного енергетичного показника – ємності електрохімічного накопичувача у складі енергетичної установки.

**Ключові слова:** енергоустановка, акумулятор, електрохімічний накопичувач, контроль, параметр, ємність.

### A QUALITY MONITORING OF ACCUMULATORS IN STRUCTURE OF POWER SUPPLY SYSTEM

*S.V. Gubin*

The state-of-the-art review of a quality monitoring of parameters of electrochemical stores is resulted, and requirements of increase of reliability of the control are formulated. Ways of the organization of the control of electric and not electric parameters of the storage battery in structure of the independent and guaranteed system of power supply are considered. Features to requirements on word length of measuring analog-digital converters are shown. Necessity of the control of a physical condition of electrodes of electrochemical accumulators for increase of reliability of definition of the basic power parameter – capacities of the electrochemical store in structure of power supply system is specified.

**Key words:** power supply system, accumulator, electrochemical store, control, parameter, capacity.

**Губин Сергей Викторович** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой двигателей и энергетических установок летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: gubinsv@d4.khai.edu.