

Дзензерский В. А.¹, Житник Н. Е.², Плаксин С. В.³, Лисунова В. В.⁴

¹Д-р техн. наук, директор ИТСТ НАН Украины, Днепр, Украина

²Научный сотрудник ИТСТ НАН Украины, Днепр, Украина

³Д-р ф.-м. наук, зав. отделом ИТСТ НАН Украины, Днепр, Украина

⁴Ведущий инженер ИТСТ НАН Украины, Днепр, Украина

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы. Совершенствование процесса автоматизированного контроля текущего состояния электрохимического накопителя энергии без нарушения штатного режима его работы.

Метод исследования. Исследования проведены путем реализации импульсного метода контроля состояния электрохимического накопителя энергии, при котором значения его параметров определяются из сигнала отклика накопителя на тестовый импульс тока по разработанному алгоритму.

Полученные результаты. Информация о состоянии накопителя отображается на экране монитора в виде текущих значений его основных параметров и заносится в память контрольно-измерительной системы, что позволяет контролировать его динамику.

Научная новизна. Авторами разработан усовершенствованный метод автоматизированного контроля текущего состояния накопителя энергии, основанный на идентификации его параметров с параметрами электрохимического процесса.

Практическая значимость. Разработано программное обеспечение, которое может быть использовано для автоматизированного контроля текущего состояния накопителей энергии в составе автономных систем электроснабжения

Ключевые слова: электрохимический накопитель энергии, тестовый импульс, сигнал отклика, параметры, алгоритм, процесс контроля состояния.

ВВЕДЕНИЕ

Накопители энергии на основе химических источников тока (ЭХНЭ) являются неотъемлемым структурным элементом автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) [1] и ввиду особенностей эксплуатации требуют контроля текущего состояния. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов автоматизированного контроля состояния накопителей и алгоритмов их реализации, адаптируемых к параметрам нагрузки и состоянию самого накопителя энергии [2].

Объектом исследования является автоматизация процесса контроля текущего состояния электрохимического накопителя энергии.

Предмет исследования составляют алгоритмы контроля состояния электрохимического накопителя энергии.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является совершенствование процесса автоматизированного контроля текущего состояния электрохимического накопителя энергии без нарушения штатного режима его работы.

В общем виде алгоритм контроля состояния накопителя энергии предусматривает выбор параметров накопителя, вычисление их значений и последовательность выполняемых над ними операций. Основными параметрами, характеризующими состояние электрохимического накопителя, являются напряжение разомкнутой цепи

U_{PC} , зарядное напряжение U_3 , напряжение разряда

U_P , зарядный ток I_3 , разрядный ток I_P и емкость C .

На практике указанные параметры измеряются приборными средствами с последующей обработкой их значений по заданному алгоритму. Системы автоматизированного контроля, базирующиеся на приборных средствах измерения параметров ЭХНЭ, отличаются сложной иерархической структурой построения и многозвенной системой сбора и обработки информации [3, 4]. Построение систем контроля по такому принципу усложняет процесс автоматизированного контроля состояния накопителя энергии. Кроме того, определение емкости ЭХНЭ стандартными методами предполагает его полный разряд с обязательным отключением накопителя от сети потребителя, что сопряжено с нарушением штатного режима работы децентрализованной автономной системы электроснабжения. В связи с этим важной задачей является совершенствование процесса автоматизированного контроля текущего состояния ЭХНЭ путем упрощения операций по получению информации о значениях их параметров, что требует привлечения к ее решению новых подходов и методов.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В ряде литературных источников описаны методы контроля состояния электрохимических накопителей энергии, основанные на определении универсальных, но

недостаточно информативных характеристик – SOC (state-of-charge) – состояние заряженности и SOH (state-of-health) – состояние работоспособности накопителя, которые определяются расчетным путем из значений внутреннего сопротивления накопителя [5–8]. Авторы [5] предлагают алгоритм определения зависимости SOC и SOH от внутреннего сопротивления с использованием теории фильтра Кальмана. При этом на накопитель в течение определенного промежутка времени периодически подаются кратковременные разрядные импульсы тока величиной 500 ампер до момента потери накопителем 5% его начальной емкости. Очевидно, указанный метод контроля состояния накопителя нарушает его штатный режим работы и неприемлем для автономных систем электроснабжения. Описанный в [6, 8] мониторинг накопителя осуществляется импедансным методом с использованием его эквивалентной схемы замещения. Метод экспресс-диагностики ЭХНЭ, предложенный авторами [9], основан на регистрации сигнала отклика (СО) на серию чередующихся зарядно–разрядных импульсов тока с нарастающей амплитудой. Для определения параметров накопителя полученные из СО данные обрабатываются по заданному алгоритму с привлечением математической модели накопителя. Очевидно, что серия подаваемых на накопитель зарядно–разрядных импульсов тока с нарастающей амплитудой нарушает штатный режим его работы. Следует также отметить, что значения параметров, полученные методами с использованием моделей накопителей и их эквивалентных схем замещения, зачастую оказываются неадекватными их реальным значениям.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Авторами разработан метод контроля состояния ЭХНЭ, который является усовершенствованным вариантом хронопотенциометрического метода контроля состояния свинцово–кислотных аккумуляторов [10]. Метод основан на получении информации о параметрах протекающего в ЭХНЭ электрохимического процесса из формы сигнала отклика на тестовый импульс тока. Путем математической обработки СО значения параметров процесса идентифицируют с параметрами ЭХНЭ. Типичная форма сигнала отклика с обозначением его участков изображена на рис. 1.

Математический анализ формы СО конкретного накопителя энергии позволяет получить значения следующих его параметров: $U_{pц}$; U_{a1} – падение напряжения на активном внутреннем сопротивлении накопителя в момент подачи импульса; U_{a2} – падение напряжения на активном внутреннем сопротивлении в момент снятия импульса; U_k – концентрационная составляющая

напряжения поляризации; $U_{эx}$ – электрохимическая составляющая напряжения поляризации; $t_{эx}$ – время протекания электрохимической стадии процесса; t_u – длительность тестового импульса; $t_{сн}$ – длительность спада потенциала с момента снятия импульса (время стадии деполяризации); $U_{снк}$ – конечное значение напряжения деполяризации.

Для компьютерной обработки сигнала отклика необходимо знание координат точек, ограничивающих его участки, которые отображают соответствующие стадии электрохимического процесса. Как видно из рисунка, нахождение координат точек затруднено наличием на СО шумов электрохимической природы, сопровождающих процессы в ЭХНЭ. С целью выделения сигнала из шумов различного уровня нами разработаны методы математической обработки сигналов с использованием функций сглаживания, которые позволяют выделить на сигнале отклика необходимые точки и вычислить их координаты [11, 12]. В качестве примера на рис. 2 приведена форма сигнала отклика после ее сглаживания одним из методов.

Блок-схема алгоритма компьютерной обработки сигнала отклика для автоматизированного контроля состояния ЭХНЭ представлена на рис. 3.

Ниже приведена последовательность выполнения основных операций алгоритма.

1. Регистрация сигнала отклика $U(t)$ после подачи тестового импульса.
2. Преобразование полученных данных к десятичному виду.
3. Определение уровня шумов и выбор соответствующего метода сглаживания.

При малых уровнях шумов обработку сигнала отклика предлагается производить сглаживанием участков сигнала методом наименьших квадратов путем выполнения операций 4–7, подробно описанных в [12].

При больших уровнях шумов обработка СО производится в среде Mathcad, при этом сглаживание сигнала отклика с целью выделения полезного сигнала из шумов осуществляется двумя различными фильтрами: medsmooth- сглаживание с помощью скользящей медианы и ksmooth – сглаживание с использованием гауссова ядра путем выполнения операций 8–13, подробно описанных в [11].

Показателем работоспособности накопителя является скорость протекающих в нем электрохимических реакций, количественной характеристикой и физической мерой которых является величина тока.

Применительно к электрохимическому процессу в ЭХНЭ скорость реакции определяется плотностью тока обмена и энергией активации. Для определения плотности тока обмена воспользуемся уравнением для перенапряжения [13, стр. 381], которое после соответствующей

щого преобразования устанавливает связь между величиной тока обмена и поляризацией (1):

$$U(i_0, t) = U_{p.м.} + \Delta U_{a1} + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot N \cdot F} \cdot \lg \frac{i}{i_0} + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot N \cdot F} \cdot \lg \left(1 + \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right), \quad (1)$$

где i – величина тока тестового импульса; i_0 – ток

обмена на границе раздела электрод-электролит; t – время протекания процесса (включает в себя длительность тестового импульса и время деполяризации); τ – переходное время; α – коэффициент переноса; N – количество зарядов, участвующих в окислительно-восстановительной реакции; R – универсальная газовая постоянная; F – число Фарадея; T – температура по шкале Кельвина. В (1) заменяем обозначения $U(i_0, t)$, описывающие участки поляризации и деполяризации,

на $\eta(t)$ и строим СО в координатах $\eta(t) - \lg \left(1 + \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right)$,

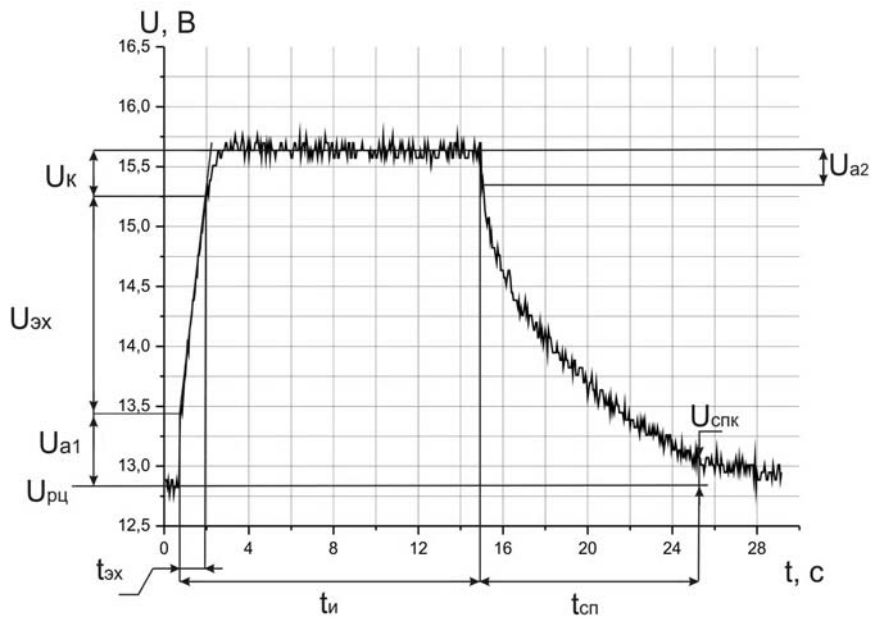


Рисунок 1 – Форма сигнала отклика ЭХНЭ до сглаживания

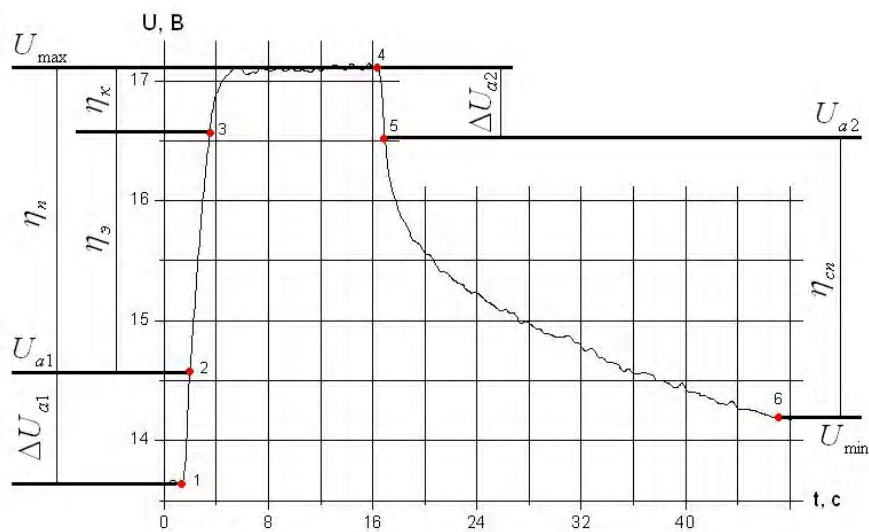


Рисунок 2 – Пример формы сигнала отклика ЭХНЭ на основе свинцово-кислотной аккумуляторной батареи после сглаживания

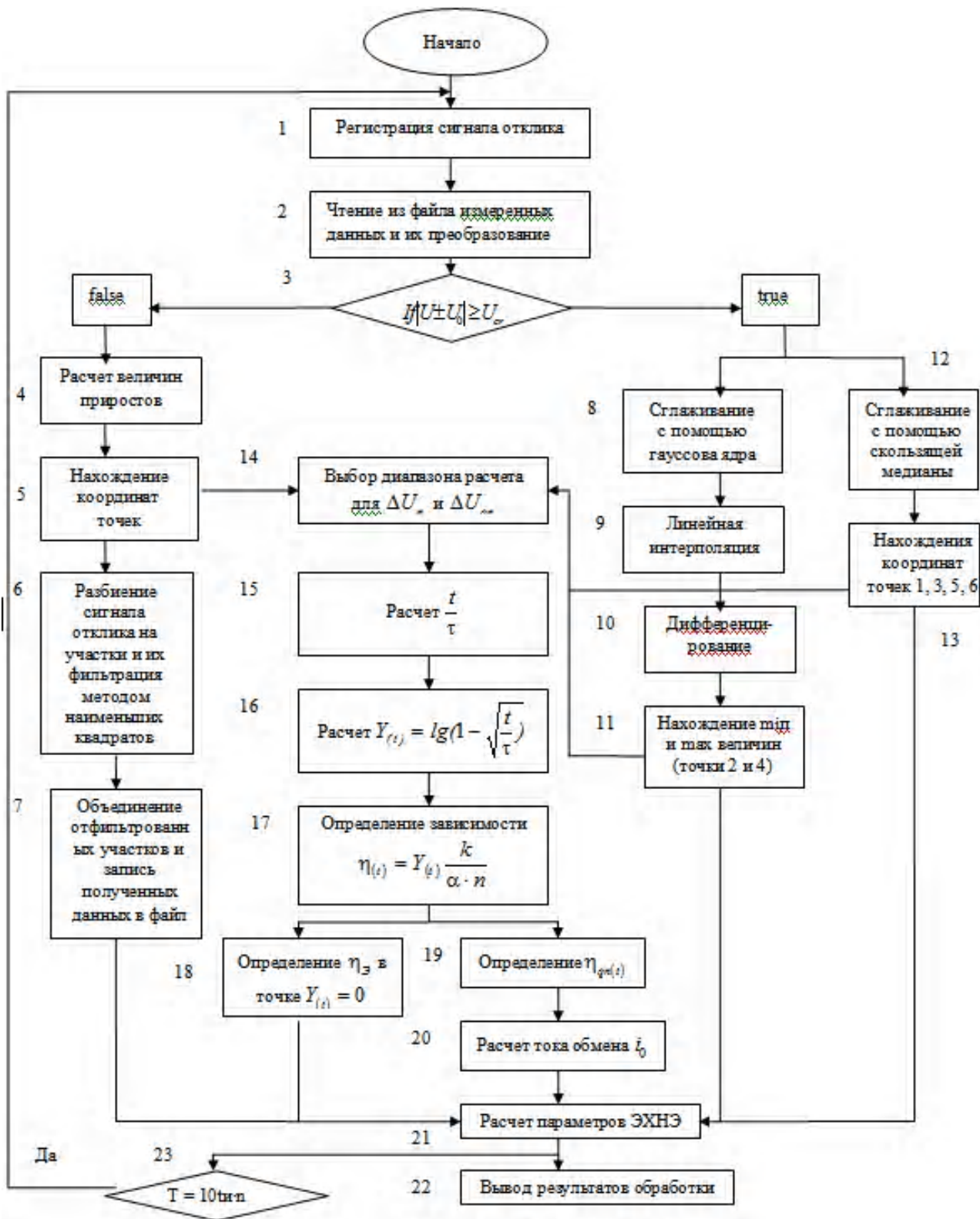


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма контроля текущего состояния электрохимического накопителя энергии

или для простоты обозначений $\eta(t) - Y$, где

$$Y = \lg \left(1 + \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right).$$

Величина энергии активации пропорциональна скорости нарастания плотности тока обмена в момент подачи тестового импульса. Для количественной оценки этой величины нами введен параметр «крутизна электрохимической стадии поляризации» $k_{ЭХ} = \frac{U_{ЭХ}}{t_{ЭХ}}$. По аналогии введен параметр «крутизна стадии деполяризации» $k_{СП} = \frac{U_{СП}}{t_{СП}}$ для количественной оценки скорости спада тока обмена после снятия тестового импульса. Ее величина отражает скорость выравнивания потенциала на электродах ЭХНЭ во времени по закону, близкому к экспоненциальному – чем скорость этого процесса выше, тем быстрее потенциал приближается к состоянию равновесия после снятия импульса, тем интенсивнее протекает процесс саморазряда накопителя.

Для расчета величины тока обмена использовались координаты точек 2 и 5, соответственно отображающие и U_{a1} , U_{a2} а также координаты точек 4 и 6. Для расчета величины тока обмена использовались координаты точек 2, 5, 4 и 6, соответственно отображающие U_{a1} , U_{a2} , U_{max} и U_{min} .

В расчетах для определения напряжения поляризации использовалось выражение для переднего фронта импульса в виде (2), а для определения напряжения деполяризации – выражение для заднего фронта импульса в виде (3):

$$\eta_n(t) = (U_{max} - U_{a1}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_n}{\tau}} \right), \quad (2)$$

$$\eta_{cn}(t) = (U_{a2} - U_{min}) \cdot e^{-\frac{t_{cn}}{\tau}}. \quad (3)$$

Временные выражения для поляризации и деполяризации имеют вид (4, 5) соответственно:

$$\frac{t}{\tau} = -\ln \left(\frac{U_{max} - \eta_n(t)}{U_{max} - U_{a1}} \right), \quad (4)$$

$$\frac{t}{\tau} = -\ln \left(\frac{\eta_{cn}(t) - U_{min}}{U_{a2} - U_{min}} \right). \quad (5)$$

Порядок выполнения операций по алгоритму определения тока обмена следующий.

14. Определение диапазона расчета напряжений поляризации и деполяризации путем нахождения значений

величин U_{max} и U_{min} по точкам 2–4 и 5–6.

15. Расчет значений $\frac{t}{\tau}$ для фронта и спада импульса;

16. Расчет значений $Y(t) = \lg \left(1 \pm \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right)$.

17. Построение зависимости напряжений η_n и η_{cn} от функции $Y(t)$, используя соотношение $\frac{\eta(t)}{Y(t)} = \frac{k}{\alpha \cdot n}$,

где $k = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{F} = 0,059B$, $\alpha = 0,5$, знак «+» соответствует подаче импульса, а знак «-» – снятию импульса;

18. Определение электрохимической поляризации η_ε для фронта импульса.

19. Определение напряжения деполяризации η_{cn} для спада импульса.

20. Расчет изменения тока обмена i_0 для фронта и спада осуществляется по формуле: $\eta_\varepsilon(t) = \frac{k}{\alpha \cdot n} \cdot \lg \frac{i}{i_0(t)}$,

откуда $i_0(t) = 10^{\lg|i| - z}$, где $z = \frac{n \cdot \alpha \cdot \eta_\varepsilon(t)}{k}$, i – величина ток тестового импульса, А;

21. По результатам операций 4, 5, 10, 11 и 17, производится расчет контролируемых параметров ЭХНЭ с использованием следующих выражений: $U_{pu} = Y_{d1}$;

$$U_{a1} = Y_{d2} - Y_{d1}; \quad U_{zx} = Y_{d3} - Y_{d2}; \quad U_k = Y_{d4} - Y_{d3};$$

$$U_{a2} = Y_{d4} - Y_{d5}; \quad U_{cnk} = Y_{d6}; \quad t_{zx} = (d3 - d2) \cdot t;$$

$$k_{ЭХ} = \frac{U_{ЭХ}}{t_{ЭХ}}; \quad t_{СП} = (d6 - d4) \cdot t; \quad k_{СП} = \frac{U_{СП}}{t_{СП}},$$

где $d1 - d6$ – значения координат точек.

22. Вывод на экран монитора результатов в виде значений параметров накопителя.

23. Повторение цикла измерений параметров с периодом, $T = 10t_U \cdot n$,

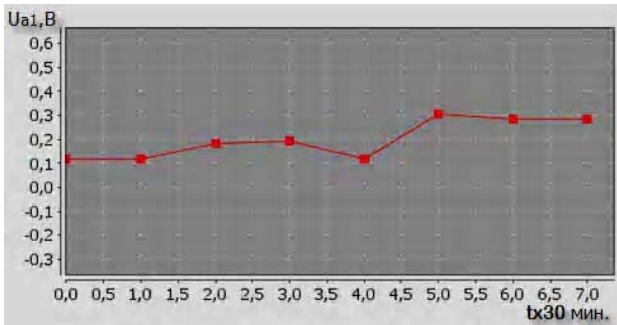
где t_u – длительность тестового импульса, n – количество импульсов (устанавливается оператором в зависимости от режима работы накопителя).

Разработанный алгоритм реализован в экспериментальном стенде для автоматизированной диагностики химических источников тока, схемотехническое решение и программное обеспечение которого описано в [14].

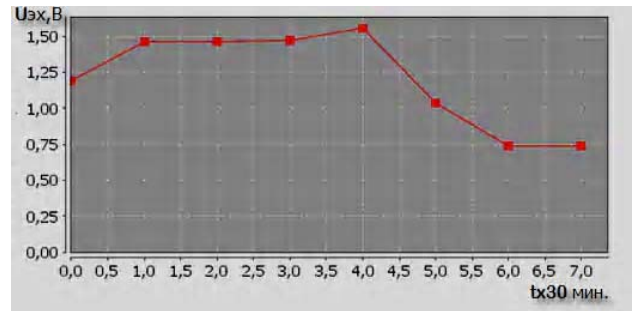
В качестве примера на рис. 4 приведены фрагменты процесса контроля основных параметров ЭХНЭ в состав

ве автономной фотоэлектрической установки (ФЭУ), работающего в буферном режиме. Параметры накопителя определялись с периодом, равным 30 минут, а их значения заносились в память и выводились на экран монитора.

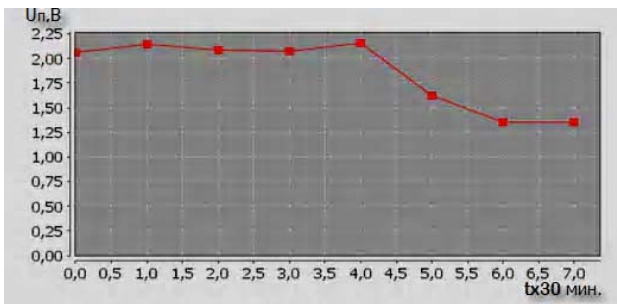
Для иллюстрации информативной значимости тока обмена при оценке энергетического состояния накопителя на рис. 5 приведены временные зависимости величины тока обмена при различных значениях фактической емкости накопителя, вычисленные в момент подачи тестового импульса.



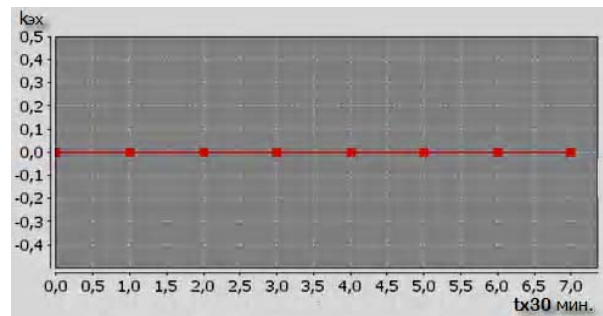
а)



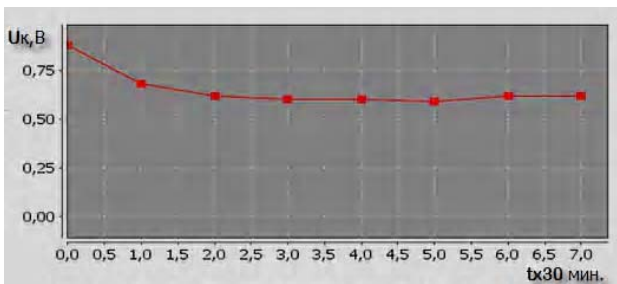
б)



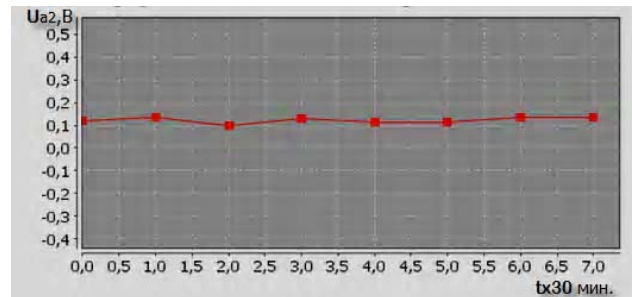
в)



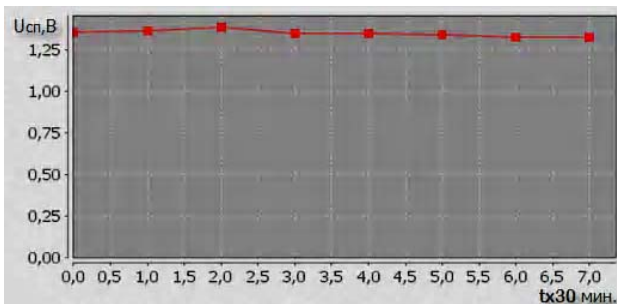
г)



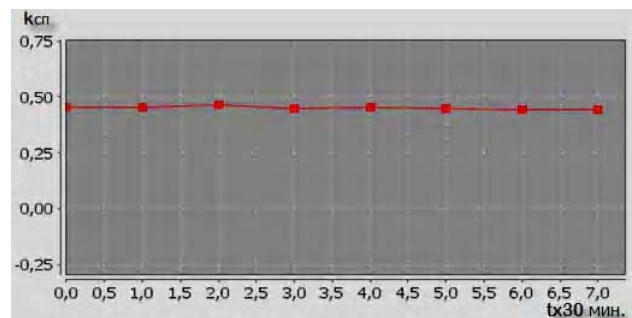
д)



е)



ж)



з)

Рисунок 4 – Фрагменты процесса контроля параметров накопителя

Разработанный метод и алгоритм его реализации позволяют одновременно определять значения ряда параметров накопителя из СО, что упрощает процесс автоматизации контроля его текущего состояния и позволяет в наглядной форме отслеживать динамику при смене режимов работы. Например, при переходе в режим работы на нагрузку (в интервале t от 4 до 5 и далее) величина U_{a1} (рис. 4а) закономерно увеличивается, а величины $U_{ЭХ}$ и $U_{П}$ (рис. 4б и 4в соответственно) уменьшаются, что соответствует стабильному коэффициенту использования разрядного тока. Стабильные значения величин $k_{ЭХ}$, $k_{СП}$ и $U_{СП}$ (рис. 4г, 4з и 4ж соответственно), указывают на устойчивую работу накопителя в режиме работы на нагрузку, а постоянное значение концентрационной составляющей U_K (рис. 4д) указывает на равномерное протекание диффузионного процесса. Значения тока обмена i_0 , приведенные на рис. 5, позволяют контролировать динамику энергетического состояния накопителя без отключения его от сети потребителя.

Сравнительный анализ результатов авторов [9] позволяет сделать следующие выводы: значения параметров накопителя по их методу определяются с использованием математических моделей, коэффициенты которых подбираются эмпирически для каждого типоразмера накопителя ([9], с. 144–145), что усложняет процесс автоматизации контроля, а для определения емкости необходимо произвести полный разряд накопителя, как это следует из модели для разрядной емкости, что недопустимо для автономных ФЭУ.

ВЫВОДЫ

Решена задача автоматизированного контроля состояния ЭХНЭ без нарушения штатного режима его работы. Научная новизна результатов состоит в том, что процесс контроля текущего состояния накопителя основан на идентификации электрических параметров с параметрами протекающего в нем электрохимического процесса.

Новизна усовершенствованного метода подтверждена патентом на изобретение [15]. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработано программное обеспечение для автоматизированного контроля текущего состояния ЭХНЭ в составе автономных систем электроснабжения с возможностью его практического использования. Перспективы дальнейших исследований состоят в том, чтобы на основе предложенного алгоритма реализовать автоматизированный контроль и управление режимами работы электрохимических накопителей энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзензерський В. А. Принципи побудови гібридних вітро-сонячних енергоустановок / В. А. Дзензерський, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая // Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя. 2007. № 1. С. 67–72.
2. Груздев А. И. Основные тенденции и направления развития автономной электроэнергетики. Ч. II. / А.И. Груздев // Электричество. – 2008. – № 10. – С. 2–11.
3. Темиров А. П. Система контроля и диагностики аккумуляторных батарей судовой бортовой системы электропитания / А. П. Темиров // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 4. – С. 57–60.
4. Груздев А. И. Концепция построения систем контроля и управления высокоэнергоемких литиевых аккумуляторных батарей / Груздев А. И. // Электрохимическая энергетика. 2005. Т.5, № 2. С. 90–93.
5. Tetsuro Okoshi Battery condition monitoring (BCM) technologies about lead-acid batteries / Tetsuro Okoshi, Keizo Yamada, Tokiyoshi Hirasawa, Akihiko Emori // ScienceDirect Journal of Power Sources 158, 2006. – P. 874–878.
6. Hariprakash B. On-line monitoring of lead-acid batteries by galvanostatic non-destructive technique / Hariprakash B., Martha S.K., Arthi Jaikumar, Shukla A.K. // ScienceDirect Journal of Power Sources 137, 2004. – P. 128–133.

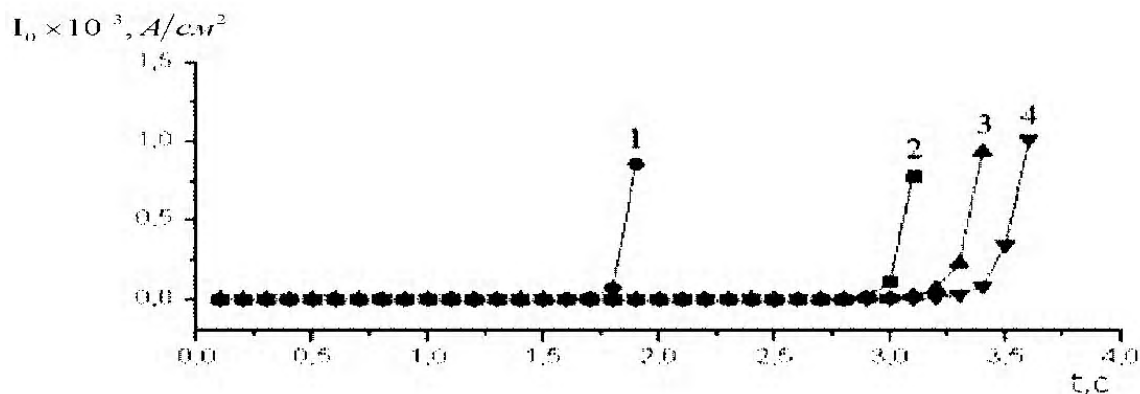


Рисунок 5 – Временные зависимости величины плотности тока обмена при значениях фактической емкости накопителя: 1– 60 АЧч, 2– 50 АЧч, 3– 40 АЧч, 4– 30 АЧч

7. Tomonobu Tsujikawa Remote monitoring of VRLA batteries for telecommunications systems / Tomonobu Tsujikawa, Toshio Matsushima // Journal of Power Sources 168 (2007) 99–104.
8. Sabine Piller Methods for state-of-charge determination and their applications / Sabine Piller, Marion Perrin, Andreas Jossen. // Journal of Power Sources, 96 (2 od) 113–120.
9. Безручко К.В. Метод экспресс-диагностики электрохимических накопителей энергии энергоустановок ракетно-космических объектов / К.В. Безручко, А.О. Давидов // Космическая техника. Ракетное вооружение. – 2012. – Вып. 1. – С.140–148.
10. Дзензерский В.А. Контроль состояния стартерных свинцовых аккумуляторов хронопотенциометрическим методом / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Соколовский И. И. // Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя. 2005. № 1. С. 13–18.
11. Дзензерский В. А. Автоматизированная диагностика химических источников тока / В.А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Одесса. – 2011. – №1–2, С. 6–9.
12. Дзензерский В. А. Метод обработки сигналов отклика химических источников тока на импульсное воздействие / В. А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2013. – №1. – С. 35–39.
13. Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М.: Химия, 1967. – 857 с.
14. Плаксин С. В. Экспериментальный стенд для автоматизированного контроля состояния химических источников тока импульсным методом / С. В. Плаксин, Н. Е. Житник, О. И. Ширман // Гірнична електро-механіка та автоматика. Днепропетровск. – 2012. – Вып. 89, С. 58–63.
15. Пат. UA 112384 С2 Україна, ⁽⁵¹⁾МПК H01M 10/48(2006.01), G01R 31/36(2006.01). Спосіб автоматизованого контролю поточного стану акумулятора / Дзензерський В.О., Житник М. Я., Плаксін С.В., Лісунова В.В., Ширман О. І.; заявник Інститут транспортних систем і технологій Національної академії наук України «Трансмаг». – № а 2015 05908; Заявл. 15.06.2015; Опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

Статья поступила в редакцию 28.04.17

Дзензерський В. О.¹, Житник М. Я.², Плаксін С. В.³, Лісунова В. В.⁴

¹Д-р техн. наук, директор ІТСТ НАН України, Дніпро, Україна

²Научний співробітник ІТСТ НАН України, Дніпро, Україна

³Д-р ф.-м. наук, зав. відділом ІТСТ НАН України, Дніпро, Україна

⁴Провідний інженер ІТСТ НАН України, Дніпро, Україна

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи. Удосконалення процесу автоматизованого контролю поточного стану електрохімічного накопичувача енергії без порушення штатного режиму його роботи.

Метод досліджень. Дослідження проведені шляхом реалізації імпульсного методу контролю стану електрохімічного накопичувача енергії, при якому значення його параметрів визначаються з сигналу відгуку накопичувача на тестовий імпульс струму за розробленим алгоритмом.

Отримані результати. Інформація про стан накопичувача відображається на екрані монітора у вигляді поточних значень його основних параметрів і заноситься в пам'ять контрольно-виміральної системи, що дозволяє контролювати його динаміку.

Наукова новизна. Авторами розроблений удосконалений метод автоматизованого контролю поточного стану накопичувача енергії, заснований на ідентифікації його параметрів з параметрами електрохімічного процесу.

Практична значимість. Розроблено програмне забезпечення, яке може бути використане для автоматизованого контролю поточного стану накопичувачів енергії в складі автономних систем електропостачання.

Ключові слова: електрохімічний накопичувач енергії, тестовий імпульс, сигнал відгуку, параметри, алгоритм, процес контролю стану.

Dzenzersky V. A.¹, Zhitnik N. E.², Plaksin S. V.³, Lisunova V. V.⁴

¹D-r techn. Sci., Director, ITST NAS of Ukraine, Dnieper, Ukraine

²Scientific Researcher ITST NAS of Ukraine, Dnieper, Ukraine

³D-r Ph.-M. Sciences, head, Department of ITST NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine

⁴The leading engineer of ITST NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF AUTOMATED CONTROL OF ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES

Objective. Improvement of the process of automated monitoring of the current state of the electrochemical energy storage without disturbing the regular mode of its operation.

Method of research. Investigations were carried out by implementing a pulse method for monitoring the state of an electrochemical energy storage device, in which the values of its parameters are determined from the response signal of

the drive to the test current pulse according to the developed algorithm.

Results. Information about the status of the drive is displayed on the monitor screen in the form of the current values of its main parameters and is stored in the memory of the monitoring system, which allows you to monitor its dynamics.

Scientific novelty. The authors developed an improved method of automated monitoring of the current state of the energy store, based on the identification of its parameters with the parameters of the electrochemical process.

Practical significance. The software is developed that can be used for automated monitoring of the current state of energy storage devices as part of autonomous power supply systems.

Key words: electrochemical energy storage, test pulse, response signal, parameters, algorithm, process of state control.

REFERENCES

1. Dzenzers'kij, V. A., Zhitnik, N. E., Plaksin, S. V., Pogorelaja, L. M. (2007). Principy postroenija gibridnyh vetro-solnechnyh jenergoustanovok. *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, Zaporizhzhja, 1, 67–72. DOI: <http://dx.doi.org/10.15588/1607-6761-2007-1-13>
2. Gruzdev, A. I. (2008). Osnovnye tendencii i napravlenija razvitija avtonomnoj jelektrojenergetiki. Ch. II. *Jelektritchestvo*, 10, 2–11.
3. Temirev, A. P. (2005). Sistema kontrolja i diagnostiki akumuljatornyh batarej sudovoj bortovoj sistemy jelektropitanija. *Izvestija vuzov. Jelektromehanika*, 4, 57–60.
4. Gruzdev, A. I. (2005). Konceptija postroenija sistem kontrolja i upravlenija vysokojenergoemkih litievyh akumuljatornyh batarej. *Jelektrohimicheskaja jenergetika*, 5, 2, 90–93.
5. Tetsuro Okoshi, Keizo Yamada, Tokiyoshi Hirasawa, Akihiko Emori. (2006). Battery condition monitoring (BCM) technologies about lead-acid batteries. *ScienceDirect Journal of Power Sources* 158, 874–878.
6. Hariprakash, B., Martha, S. K., Arthi Jaikumar, Shukla, A. K. (2004). On-line monitoring of lead-acid batteries by galvanostatic non-destructive technigues. *Science Direct Journal of Power Sources* 137, 128–133.
7. Tomonobu Tsujikawa, Toshio Matsushima. (2007). Remote monitoring of VRLA batteries for telecommunications systems. *Journal of Power Sources*, 168, 99–104.
8. Sabine Piller, Marion Perrin, Andreas Jossen. Methods for state-of-charge determination and their applications. *Journal of Power Sources*, 96 (2), 113–120.
9. Bezruchko K. V., Davidov A. O. Metod jekspress-diagnostiki jelektrohimicheskikh nakopitelej jenerгии jenergoustanovok raketno-kosmicheskikh obektov. *Kosmicheskaja tehnika. Raketnoe vooruzhenie*, 2012, Vol. 1, pp.140–148.
10. Dzenzerskij V. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Sokolovskij I. I. Kontrol' sostojanija starternyh svincovyh akumuljatorov hronopotenciometričeskim metodom. *Elektrotehnika ta elektroenergetika*. Zaporizhzhja, 2005, No 1, pp. 13–18.
11. Dzenzerskij V. A., Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V. Avtomatizirovannaja diagnostika himicheskikh istochnikov toka. *Tehnologija i konstruirovannje v jelektronnoj apparature*. Odessa, 2011, No 1, pp. 6–9.
12. Dzenzerskij V. A. Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V. Metod obrabotki signalov otklika himicheskikh istochnikov toka na impul'snoe vozdejstvie. *Radioelektronika, informatika, upravlinnja*, 2013, No 1, pp. 35–39.
13. Fetter K. *Jelektrohimicheskaja kinetika*. Moscow, Himija, 1967, 857 s.
14. Plaksin, S. V., Zhitnik, N. E., Shirman, O. I. (2012). Jeksperimental'nyj stend dlja avtomatizirovannogo kontrolja sostojanija himicheskikh istochnikov toka impul'snym metodom. *Girnichja elektromehanika ta avtomatika*, Dnepropetrovsk, 89, 58–63.
15. Pat. UA 112384 S2 Ukraïna, (51) MPK N01M 10/48(2006.01), G01R 31/36(2006.01). Sposib avtomatizovanogo kontrolju potocnogo stanu akumuljatora / Dzenzers'kij V.O., Zhitnik M. Ja., Plaksin S.V., Lisunova V.V., Shirman O. I.; zajavnik Institut transportnih sistem i tehnologij Nacional'noï akademii nauk Ukraïni «Transmag». – № a 2015 05908; Zajavl. 15.06.2015; Opubl. 10.12.2015, Bjul. № 23.