

Дзензерский В. А.¹, Беда М. А.², Житник Н. Е.³, Плаксин С. В.⁴¹Д-р. техн. наук, директор, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Украина²Инженер I кат., Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Украина,
E-mail: beda@westa-inter.com³Научный сотрудник, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Украина⁴Д-р. физ.-мат. наук, зав. отд., Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Украина

МЕТОД ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ОТКЛИКА ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА НА ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Предложен метод компьютерной обработки сигнала отклика химического источника тока на токовый импульс, в основе которого лежит нахождение координат точек, содержащих информацию о кинетике процесса, на предварительно сглаженном сигнале отклика и определение характеристических параметров химического источника тока.

Ключевые слова: химический источник тока, импульс, сигнал отклика, информационные точки, алгоритм сглаживания, фильтрация.

ВВЕДЕНИЕ

Импульсные методы диагностики и контроля технического состояния химических источников тока (ХИТ) получают дальнейшее развитие в связи с высокой информативностью и сравнительной простотой реализации [1]. Немаловажное значение имеет возможность совмещения функций нестационарных методов зарядки ХИТ с импульсными методами контроля их состояния, что упрощает реализацию адаптивного режима зарядки, который наиболее полно отвечает требованиям эксплуатации ХИТ [2].

В [3, 4] обоснована возможность определения параметров химического источника путем анализа сигнала отклика ХИТ на импульсное воздействие. Однако, обработка и анализ результатов измерений ручным методом очень трудоемки и не позволяют автоматизировать процесс контроля состояния ХИТ.

Задачей работы является разработка методов компьютерной обработки сигналов отклика химического источника тока на импульсное воздействие для обеспечения автоматизированного контроля технического состояния ХИТ в реальном масштабе времени.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ОТКЛИКА И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сигнал отклика (СО) химического источника тока на импульсное воздействие, который в [2–4] именуется как «хронопотенциограмма», представляет собой функциональную зависимость напряжения на клеммах ХИТ от времени при постоянном значении величины тока. Форма сигнала отклика содержит обширную и достаточно объективную информацию о кинетике электрохимического процесса, которая оказывает непосредственное влияние на параметры ХИТ. Совокупность параметров, полученных путем анализа сигнала отклика, может быть использована в качестве информационных параметров для реализации адаптивной зарядки ХИТ [5], а также для контроля текущего состояния химического источника тока.

В зависимости от вида контролируемых параметров ХИТ используются как зарядные, так и разрядные тестовые импульсы.

Графическая форма реального сигнала отклика ХИТ на зарядный токовый импульс, отображающая кинетику электрохимического процесса, приведена на рис. 1.

Из рисунка видно, что при анализе сигнала отклика можно получить следующие параметры: U_{pc} – напряжение разомкнутой цепи; U_{a1} , U_{a2} – падение напряжения на активном внутреннем сопротивлении ХИТ в момент подачи и снятия импульса, соответственно; U_{II} – напряжение поляризации; t_{II} – длительность импульса тока.

Определение параметров связано с нахождением координат информационных точек, обозначенных на рис. 1, ограничивающих участки СО, которые соответствуют определенным стадиям электрохимического процесса. Координаты точек являются информационными признаками и их определение, как видно из рисунка, в большинстве случаев затруднено наличием шумов как электрохимической природы, сопровождающих процессы в ХИТ, так и вносимых измерительной аппаратурой. Оптимальными методами анализа параметров, измеренных в условиях шумов различных уровней, могут быть математические методы обработки сигналов.

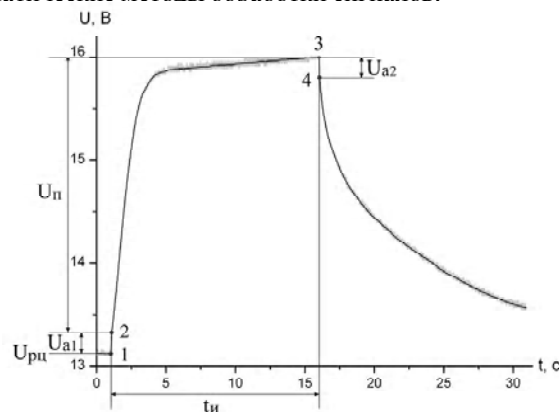


Рис. 1. Сигнал отклика свинцово-кислотной аккумуляторной батареи на зарядный импульс тока

Для автоматизации процессов обработки СО с различной степенью зашумленности нами разработаны методы программной обработки сигналов.

При больших уровнях шумов обработка СО производится в среде Mathcad. Сглаживание сигнала отклика с целью выделения полезного сигнала из шумов осуществляется двумя различными фильтрами: medsmooth – сглаживание – с помощью скользящей медианы и ksmooth – с использованием гауссова ядра. Алгоритм обработки СО этим методом приведен в [6].

При малых уровнях шумов обработку сигнала отклика предлагается производить путем нахождения координат информационных точек с последующим сглаживанием участков сигнала методом наименьших квадратов по алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 2.

Рассмотрим основные этапы алгоритма подробнее.

1. Снятие сигнала отклика $U(t)$ и преобразование полученных данных к десятичному виду. Данные, получаемые с помощью устройства записи, имеют вид:

$$F0_XX_Y1_Y2,$$

где $F0$ – начало пакета, XX – номер канала записи, $Y1$ – старший байт данных, $Y2$ – младший байт данных. Преобразование производится следующим образом:

$$U(t) = (Y1 \cdot 256 + Y2) \cdot K/M, \quad (1)$$

где K – максимально допустимое напряжение записи данного канала, M – коэффициент, значение которого зависит от величины K .

2. Для определения координат точек 1 и 3 необходимо знать величину максимального и минимального приростов

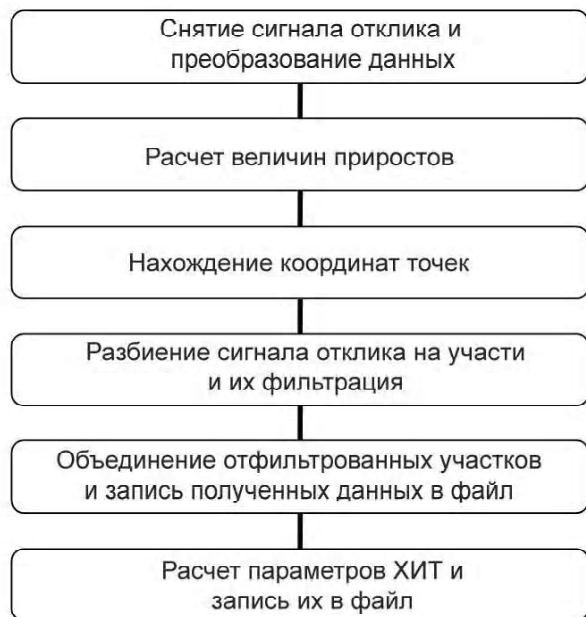


Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки сигнала отклика на зарядный импульс тока

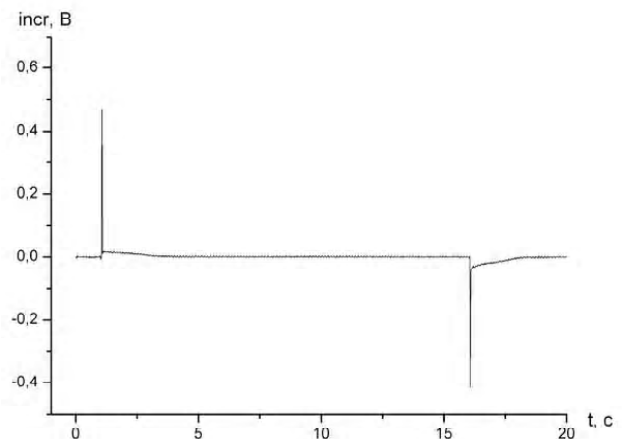
та напряжения сигнала отклика. Расчет величины приростов осуществляется с использованием выражения:

$$incr(t) = U(t + j) - U(t), \quad (2)$$

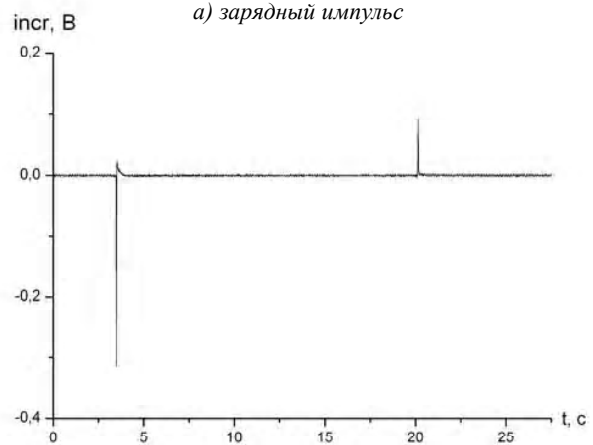
где j – шаг дискретизации.

3. В результате расчета величины приростов получаем зависимость данной величины от времени, представленную на рис. 3, а. Максимальное значение этой зависимости соответствует моменту подачи импульса $t_{incr(max)}$ в секундах и координате точки 1. Минимальное значение зависимости соответствует моменту снятия импульса $t_{incr(min)}$ и определяет координату точки 3. Координаты точек 2 и 4 сигнала отклика соответствуют величинам падений напряжения на активном сопротивлении ХИТ в момент подачи импульса и в момент его снятия.

Так как процесс падения напряжения на активном сопротивлении при подаче и снятии импульса тока происходит мгновенно, то координаты точек 2 и 4, будут равны. Так как процесс падения напряжения на активном сопротивлении при подаче и снятии импульса тока происходит мгновенно, то координаты точек 2 и 4, будут равны $t_{incr(max)} + j$ и $t_{incr(min)} + j$, соответственно.



а) зарядный импульс



б) разрядный импульс

Рис. 3. Графики зависимостей величин приростов от времени

4. Разбивка сигнала отклика на участки $U_1(t)$, $U_2(t)$ и $U_3(t)$:

$$\begin{cases} U_1(t) = U(t), t < t_{incr(max)} \\ U_2(t - (t_{incr(max)} + j)) = U(t), t_{incr(max)} + j \leq t < t_{incr(min)} \\ U_3(t - (t_{incr(min)} + j)) = U(t), t_{incr(min)} + j \leq t. \end{cases}$$

Далее каждый из полученных участков сглаживается методом наименьших квадратов:

$$U_{\phi.n}(in) = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot in + 1} \cdot \sum_{i=0}^{in} U_n(i), in \leq k \\ \frac{1}{2 \cdot k + 1} \cdot \sum_{i=-k}^k U_n(i), k < in \leq kol - k \\ \frac{1}{2 \cdot (kol - in) + 1} \cdot \sum_{i=-kol-in}^{kol-in} U_n(i), in < kol \\ \frac{1}{k + 1} \cdot \sum_{i=-k}^0 U_n(i), in = kol, \end{cases} \quad (3)$$

где in – порядковый номер элемента участка, k – коэффициент сглаживания, kol – количество элементов на участке n , n – номер участка.

5. Объединение отфильтрованных участков $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ и запись полученных данных в файл.

6. Расчет параметров ХИТ и запись их в файл.

В процессе эксплуатации химических источников тока происходит химическая деградация активных материалов, что приводит к снижению энергетического ресурса. Импульсные методы позволяют оценить работоспособность ХИТ по его нагрузочной характеристике за короткое время без отключения от сети энергоснабжения [7]. Для определения энергетических показателей ХИТ используется разрядный тестовый импульс.

Форма сигнала отклика ХИТ на разрядный импульс приведена на рис. 4, а алгоритм его обработки подобен приведенному на рис. 2.

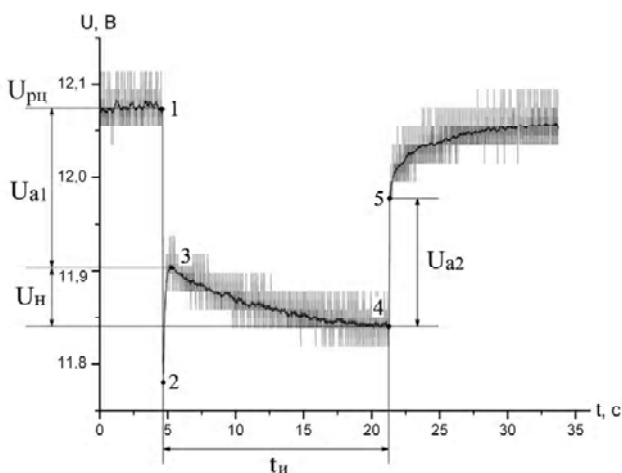


Рис. 4. Сигнал отклика свинцово-кислотной аккумуляторной батареи на разрядный импульс тока

На рис. 4 U_n – величина падения напряжения на сопротивлении нагрузки за время воздействия разрядного импульса.

Цифровая обработка сигнала отклика свинцово-кислотной аккумуляторной батареи на разрядный импульс тока осуществляется следующим образом.

1. Снятие сигнала отклика $U(t)$ и преобразование полученных данных к десятичному виду с использованием выражения (1).

2. Для определения координат точек 1 и 4 необходимо знать величину минимального и максимального прироста напряжения сигнала отклика. Расчет величины приростов осуществляется с использованием выражения (2).

3. В результате расчета величины приростов получаем зависимость данной величины от времени, представленную на рис. 3, б. Минимальное значение этой зависимости соответствует моменту подачи импульса $t_{incr(min)}$ и координате точки 1. Максимальное значение зависимости соответствует моменту снятия импульса $t_{incr(max)}$ и определяет координату точки 4.

В момент подачи разрядного импульса происходит резкое уменьшение величины напряжения от $U_{рц}$, соответствующее точке 1, до значения, обозначенного точкой 2 и равно $t_{incr(min)} + j$. Определение координат точки 3 начинается с координат точки 2 и проходит по массиву данных с шагом 1, пока величина напряжения следующей точки не будет меньше значения величины напряжения предыдущей точки, которая и будет являться координатой точки 3. При этом участок, находящийся на отрезке, ограниченном точками 1–3, соответствует величине падения напряжения на активном сопротивлении ХИТ, а участок между точками 2–3 отображает переходный процесс с участием двойного электрического слоя на границе электрод-электролит и в дальнейших расчетах не используется.

В момент снятия разрядного импульса происходит резкое увеличение напряжения на активном сопротивлении, вследствие чего координата точки 5 равна $t_{incr(min)} + j$.

4. Разбивка сигнала отклика на участки $U_1(t)$, $U_2(t)$ и $U_3(t)$ производится следующим образом:

$$\begin{cases} U_1(t) = U(t), t < t_{incr(min)} \\ U_2(t - (t_{incr(min)} + j)) = U(t), t_{incr(min)} + j \leq t < t_{incr(max)} \\ U_3(t - (t_{incr(max)} + j)) = U(t), t_{incr(max)} + j \leq t. \end{cases}$$

Далее каждый из полученных участков сглаживается методом наименьших квадратов с использованием системы уравнений (3).

5. Объединение отфильтрованных участков $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ и запись полученных данных в файл.

6. Расчет параметров ХИТ и запись их в файл.

Проверка методов обработки сигналов отклика проводилась при определении параметров серии стартерных аккумуляторных батарей производства ПАО «Веста-Днепр». Результаты обработки сигналов откликов аккумуляторных батарей на импульс зарядного и разрядного токов приведены в таблице 1 и 2, соответственно. При этом величину отклонения определяли из выражения:

$$\delta = 100\% - \frac{P_o}{\Pi_o} \cdot 100\%,$$

где P_o и Π_o – результаты ручной и программной обработки, соответственно. За 100 % принималось значение, полученное при ручной обработке.

Сравнение результатов ручной и программной обработок подтверждает приемлемую для практических применений точность определения параметров химических источников тока предлагаемым методом.

ВЫВОДЫ

Разработан метод цифровой обработки сигналов отклика химических источников тока на импульсное воздействие, основанный на определении координат информационных точек из предварительно сглаженных с помощью метода наименьших квадратов участков сигнала отклика, который позволяет рассчитать параметры химических источников тока в реальном масштабе времени.

Метод может быть использован для автоматизированного контроля технического состояния ХИТ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиденко, С. В. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током /

- С. В. Сиденко, К. В. Безручко, А. О+. Давидов // Вісник Дніпропетровського університету: серія «Ракетно-космічна техніка». – 2007. – №9/2. – С. 126–132.
2. Дзензерский, В. А. Метод многопараметрического контроля адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая, Ю. А. Ткаченко // Электроника и связь. – 2010. – № 2. – С. 51–56.
3. Дзензерский, В. А. Контроль состояния стартерных свинцовых аккумуляторов хронопотенциометрическим методом / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, И. И. Соколовский // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. – № 1. – С. 13–18.
4. Дзензерський В. О. Спосіб контролю стану свинцевого акумулятора [текст]: патент №78327. Україна: МПК Н01М 10/48, G01R 31/36 / [Дзензерський В. О., Житник М. Я., Плаксін С. В., та ін.] ; заявник та патентовласник Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг»; – заявл. 11.01.2005; опубл. 15.03.2007, бюл. №3, 2007.
5. Житник, Н. Е. Информационные параметры для реализации адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / Н. Е. Житник, Ю. Л. Миропольский, С. В. Плаксин [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 5(77). – С. 40–42.
6. Дзензерский, В. А. Автоматизированная диагностика химических источников тока / В. А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – №1–2. – С. 6–9.
7. Дзензерский, В. А. Оценка работоспособности химических источников тока импульсным методом / В. А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин // Технічна електродинаміка. – Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2011. – ч. 1. – С.73–76.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2012.
Після доробки 16.10.2012.

Таблица 1. Результаты обработки СО на зарядный импульс

Параметры ХИТ	Батарея 6СТ-52А			Батарея 6СТ-74А		
	Ручная обработка	Программная обработка		Ручная обработка	Программная обработка	
		Результаты	δ , %		Результаты	δ , %
U_{pc} , В	12,763	12,759	0,03	13,04	13,2	1,2
U_{a1} , В	0,137	0,142	3,52	0,143	0,131	9,16
U_{II} , В	3,029	3,003	0,13	2,548	2,489	2,37
U_{a2} , В	0,118	0,122	3,23	0,118	0,11	7,27

Таблица 2. Результаты обработки СО на разрядный импульс

Параметры ХИТ	Батарея 6СТ-52А			Батарея 6СТ-74А		
	Ручная обработка	Программная обработка		Ручная обработка	Программная обработка	
		Результаты	δ , %		Результаты	δ , %
U_{pc} , В	12,213	12,212	0,01	12,155	12,16	0,04
U_{a1} , В	0,163	0,16	1,88	0,162	0,166	2,4
U_H , В	0,13	0,128	1,56	0,052	0,055	5,45
U_{a2} , В	0,097	0,092	5,43	0,123	0,116	6,03

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

¹Д-р. техн. наук, директор, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

²Інженер I кат., Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна,

³Научний співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

⁴Д-р. фіз.-мат. наук, керівник відділу, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

МЕТОД ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВІДГУКУ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ НА ІМПУЛЬС СТРУМУ

Запропоновано метод комп'ютерної обробки сигналів відгуку хімічного джерела струму на імпульс струму, який полягає в знаходженні координат точок, котрі містять інформацію про кінетику процесу, на попередньо зладженому сигналі відгуку та визначенні характеристик параметрів хімічного джерела струму.

Ключові слова: хімічне джерело струму, імпульс, сигнал відгуку, інформаційні точки, алгоритм згладжування, фільтрація.

Dzenzerskij V. A.¹, Beda M. A.², Zhitnik N. E.³, Plaksin S. V.⁴

¹Dr. techn. sciences, director, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

²Engineer of 1st category, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

³Researcher, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

⁴Dr. phys.-math. sciences, head of department, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

METHOD OF THE COMPUTER SIGNAL PROCESSING OF THE CHEMICAL CURRENT SOURCE RESPONSE TO A CURRENT PULSE

The further development of pulse methods for diagnosis and monitoring of the technical state of chemical power sources is underway, due to their high information content and relative simplicity of implementation. No less important is the possibility of combining the functions of non-stationary charging methods of chemical power sources with methods of impulse control of their condition, which simplifies the implementation of adaptive charging mode that best fits the requirements of operation of chemical power sources. The form of the response signal contains extensive and sufficient objective information about the kinetics of the electrochemical process, which directly affects the parameters of chemical power sources. However, the processing and analysis of the results of measurements manually are very complicated and does not automate the process of monitoring chemical power sources.

Objective of this paper is to develop methods for computer processing of the response signal of chemical current source to the pulse of current to automate technical state control the chemical source current in real time.

The method of the computer signal processing of the chemical current source response to a current pulse, the base of which is detection of coordinates of points containing information about kinetics of process on the preliminary smoothed out signal-response and determination of the characteristic parameters of the chemical current source is proposed.

Keywords: chemical current source, pulse, response signal, informational points, algorithm of smoothing, filtration.

REFERENCES

1. Sidenko S. V., Bezruchko K. V., Davidov A. O. Diagnostirovanie akkumulyatorov e'nergoustanovok letatel'ny'x apparatov impul'sny'm tokom, *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu: seriya «Raketno-kosmichna tekhnika»*, 2007, No. 9/2, pp. 126–132.
2. Dzenzerskij V. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Pogorelaya L. M., Tkachenko Yu. A. Metod mnogoparametricheskogo kontrolya adaptivnoj zaryadki vtorichny'x ximicheskix istochnikov toka, *E'lektronika i svyaz'*, 2010, No. 2, pp. 51–56.
3. Dzenzerskij V. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Sokolovskij I. I. Kontrol' sostoyaniya starterny'x svincovy'x akkumulyatorov xronopotenciometricheskim metodom, *Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka*, 2005, No. 1, pp. 13–18.
4. Dzenzerskii V. O., Zhitnik M. Ya., Plaksin S. V., Pohorila L. M., Sokolovskii I. I. Sposib kontroliu stanu svyncevoho akumulatora: patent № 78327. Ukraina: MPK H01M 10/48, G01R 31/36, Zaiavnyk ta patentovlasnyk: Instytut transportnykh system i tekhnolohii NAN Ukrainy «Transmag», zaiavl. 11.01.2005; opubl. 15.03.2007, biul. № 3, 2007.
5. Zhitnik N. E., Miropol'skij Yu. L., Plaksin S. V., Pogorelaya L. M., Sokolovskij I. I. Informacionny'e parametry' dlya realizacii adaptivnoj zaryadki vtorichny'x ximicheskix istochnikov toka, *Texnologiya i konstruirovaniye v e'lektronnoj apparature*, 2008, No. 5(77), pp. 40–42.
6. Dzenzerskij V. A., Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Lesnichij V. N. Avtomatizirovannaya diagnostika ximicheskix istochnikov toka, *Texnologiya i konstruirovaniye v e'lektronnoj apparature*, 2011, No. 1–2, pp. 6–9.
7. Dzenzerskij V. A., Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V. Ocenka rabotosposobnosti ximicheskix istochnikov toka impul'sny'm metodom, *Tekhnichna elektrodynamika Tem. Vypusk «Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist»*, 2011, p. 1, pp. 73–76.