

## ЕКОЛОГІЧНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ

*Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Це електрохімічний пристрій в результаті високоефективного «холодного» горіння водню в кисні безпосередньо виробляє електроенергію. Водень і кисень утворюються в результаті електролізу водяної пари. Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного електричного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Для електролізу використовується частина електричної енергії паливного елемента. При цьому електрохімічний процес є замкненим. Метою цієї роботи є дослідження високоефективного автономного джерела живлення електричної енергії середньої потужності.*

*Ключові слова: паливний елемент; електролізер; оборотний осередок; водень; кисень; водяна пара.*

M.F. BOGOMOLOV

National Technical University "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

A.A. TROC

University "Ukraine", Kyiv, Ukraine

## ECOLOGICAL POWER SOURCE

Fuel cells belong to the chemical power sources. This is an electrochemical device as a result of the highly effective "cold" combustion of fuel directly generates electricity. Electrolysis is due to the DC power supplied and the energy released during chemical reactions at the electrode. The initial voltage on the electrodes will be minimal due to injection into the combustion chamber. As pumping in camera 2 and camera 3 voltage on the electrodes will increase. Thus, the voltage on the electrodes required for electrolysis alone will be maintained automatically. Operating temperature electrolyzer is defined and maintained by the camera body burning. The number of hydrogen obtained in one electrolyzer must match the number of single injection into the combustion chamber of one working block. Such way electrolysis able to flow only in environments that conduct electricity. The aim of this work is to study the possibility of creating high-performance stand-alone power supply based on available technology electrolysis and fuel cells.

*Keywords: fuel cell; electrolysis; hydrogen; oxygen; water vapor.*

### Вступ

Проблемою сучасної енергетики є суттєве навантаження на світові матеріальні ресурси. Використання ядерної енергетики, широке споживання органічних джерел енергії (нафти і газу), що вичерпуються, не дозволяють у повній мірі вирішити енергозабезпечення сучасної промисловості. Виникають екологічні проблеми для населення – забруднення ядерними відходами, руйнування екологічної екосфери, знищення зелених насаджень тощо. Сучасні екологічні джерела живлення з використанням сонячного випромінювання і енергії вітру не дозволяють забезпечити стабільні енергоресурси. Вони працюють в локальних територіально-кліматичних регіонах, ефективність їх роботи суттєво залежить від зовнішніх факторів.

В роботі запропоновано багатофункціональне альтернативне екологічне джерело живлення, яке в автономному режимі на базі сучасних технологій вирішує проблеми енергетичного забезпечення різноманітних в тому числі радіоелектронних пристроїв. Принцип роботи автономного джерела живлення оснований на електролізі водяної пари при взаємодії з повітряною атмосферою. Процес відбувається при різних концентраціях кисню і водню в парах води і вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є незворотнім і достатнім для потреб живлення радіоелектронних пристроїв різного ступеня складності [1].

### Аналіз стану досліджень

На даний час використання паливних елементів з твердим полімерним електролітом є найбільш перспективним для створення паливної комірки, яка є основою автономного джерела живлення [2].

Для цієї цілі можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди, так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів [3]. Слід підкреслити, що каталітична активність платини і металів платинової групи в системах з твердим полімерним електролітом достатня для їх використання як для виділення водню і кисню в процесі електролізу так і для отримання електричного струму при роботі автономного джерела живлення. Однак, при окисненні та відновленні в процесі генерації струму в паливному елементі, виникає низка проблем [1 – 3], у тому числі водного «менеджменту», обумовленого гідрофобно-гідрофільними характеристиками електродів [2].

### Постановка задачі

Метою роботи є розробка і дослідження високоефективного екологічного джерела живлення замкненого циклу з характеристиками електричної напруги та струму, придатними для живлення радіоелектронних пристроїв.

### Рішення проблеми

Основу автономного екологічного джерела живлення складає воднево-кисневий паливний елемент. Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Вони здійснюють пряме перетворення енергії

палива в електричну енергію на відміну від малоефективних високовитратних пристроїв горіння. Це електрохімічний прилад високоефективного «холодного» горіння палива для безпосереднього вироблення електроенергії.

Електрична енергія, що виробляється такими пристроями є екологічно чистою і по своїх електричних характеристиках задовольняє вимогам, що висуваються до джерел живлення радіоелектронної індустрії.

Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм.

Енергія при електролізі витрачається на підвищення гіббсової енергії системи в процесі утворення цільових продуктів і частково розсіюється у вигляді теплоти при подоланні опорів в електролізері та інших ділянках електричного кола. Досліджуючи продукти, що виділяються в електроді, при електролізі кислот, основ і солей, встановили, що у катода завжди виділяються метали та водень, а у анода кислотні залишки або гідроксильні групи, які потім піддаються подальшим змінам.

Розглянемо більш детально процеси, що протікають при електролізі. Відомо, що існують провідники першого роду, де заряд переноситься за допомогою електронів, і провідники другого роду, у яких заряд переноситься іонами. Електрони вступають у взаємодію з іонами в місцях електричного ланцюга, де провідник першого роду межує з провідником другого роду. Таким чином, відбуваються електрохімічні процеси.

Електрохімічні процеси, що протікають у електродах при електролізі, перш за все, будуть залежні від співвідношення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. З кількох можливих процесів буде протікати той, здійснення якого пов'язане з мінімальною втратою енергії [4].

Процеси електролізу відбуваються згідно законів Фарадея, які встановлюють, що маса  $m$  речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна електричному заряду  $q$ , що пройшов через електроліт:

$$m = kq = kIt,$$

де  $k$  – електрохімічний еквівалент речовини;  $q$  – електричний заряд;  $I$  – сила струму;  $t$  – час, протягом якого пропускається струм.

Коефіцієнт пропорційності  $k$  чисельно дорівнює масі речовини, яка виділяється при проходженні через електроліт одиничного електричного заряду, і залежить від хімічної природи речовини:

$$k = \frac{M}{zeN_A},$$

де  $z$  – валентність атома (іона) речовини;  $e$  – заряд електрона  $N_A$  – число Авогадро;  $M$  – молярна маса даної речовини, що утворилася (проте вона не обов'язково виділилася, а вступає в яку-небудь реакцію відразу після утворення) в результаті електролізу [5].

Якщо чистий кисень з'єднати через кисневу твердоелектролітну систему (ТЕО<sub>2</sub>) з водою Н<sub>2</sub>О (пара), то виникне напруга згідно рівнянню Нернста [4]:

$$E_{O_2} = kT \ln \frac{100\% O_2}{30\% O_2}.$$

З іншої сторони, якщо подати чистий водень через твердоелектролітну водневую систему (ТЕН<sub>2</sub>) з водою Н<sub>2</sub>О (пара), то отримаємо напругу згідно рівнянню Нернста:

$$E_{H_2} = kT \ln \frac{100\% H_2}{60\% H_2}.$$

Напруги  $E_{O_2}$  і  $E_{H_2}$  – різнополюсові. При

підключенні клеми 1 до клеми 4, а клеми 2 до клеми 3, електричне коло замкнеться зі сталим струмом. При цьому водень і кисень будуть відкачуватись в середовище водяної пари.

При підключенні повітря до паливного елемента через ТЕО<sub>2</sub> із середовища водяної пари в повітря буде відкачуватись кисень, а через систему ТЕН<sub>2</sub> в повітря буде відкачуватись водень (рис. 1.). Напруги на електродах визначаються формулою:

$$E = \varphi_i - \varphi_j = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_i}{C_j},$$

де  $E$  – напруга Нернста, В;  $\varphi_i, \varphi_j$  – потенціали електродів  $i$  і  $j$ , В;  $R$  – газова стала (8,31Дж/(моль×К));  $n$  – кількість електронів, що йде на іонізацію однієї молекули;  $F$  – стала Фарадея (9,65× 10<sup>4</sup> Кл×

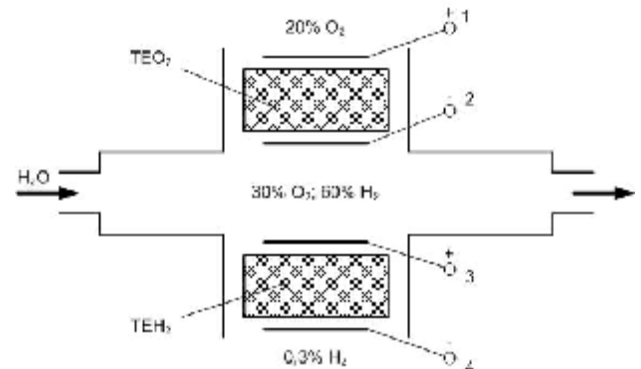


Рис. 1. Схема паливного елемента.  
20% O<sub>2</sub> – концентрація кисню в повітрі;  
30% O<sub>2</sub>; 60% H<sub>2</sub> – концентрація кисню і водню у водяній парі;  
0,3% H<sub>2</sub> – концентрація водню в повітрі.

моль<sup>-1</sup>);  $C_i, C_j$  – концентрації вимірювального газу, відповідно, на електродах  $i$  і  $j$ .

Тоді враховуючи, що для кисню  $n = 4$ , а для водню  $n = 2$ , отримаємо значення потенціалів на електродах:

Електрод 1:  $\phi_1 = 0,06$  В. Електрод 2:  $\phi_2 = 0,07$  В.

Електрод 3:  $\phi_3 = 0,18$  В. Електрод 4:  $\phi_4 = -0,05$  В.

Різниця потенціалів, відповідно до включення електродів:

$$\Delta\phi(1,4) = 0,12 \text{ В}; \Delta\phi(2,3) = -0,11 \text{ В}.$$

Номинальний електричний струм в системі:

$$I_{\text{ном}} = \frac{E}{R_H} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ А},$$

де  $E = \Delta\phi(1,4) = 0,12$  В;  $R_H = 100$  Ом.

Таким чином, одна комірка розробленого автономного джерела живлення буде мати потужність:

$$P = EI_{\text{ном}} = 1,44 \times 10^{-4} \text{ Вт}.$$

Як нижче буде показано, є можливість створити багатокоміркове автономне джерело живлення з наперед заданими параметрами.

### Характеристики однієї комірки

При використанні в якості твердого полімерного електроліту полімерної мембрани МФ-4СК і спеціальних електродів суттєво підвищуються вольт-амперні характеристики (ВАХ) паливного елемента і суттєво знижується робоча температура. При цьому технологія виготовлення блоку паливного елемента (електролізер – паливний елемент) стає посеційною з простою системою складання.

Розрахунки, виконані у відповідності з моделлю каталітичного шару [5,6] показують (рис. 2.), що має місце підвищення напруги катодного процесу. В області малих щільностей струму спостерігається кореляція для трьох типів електродів (рис. 3.), які досліджені як катоди електролізера. Однак у випадку великих щільностей струму для каталізатора, попередньо спеченого з фторопластом, величини напруги, отримані в експерименті, значно вищі за розрахункові. Вочевидь, при високих щільностях струму відбувається погіршення живлення гідрофобізованих каталітичних центрів реагентом – протонами, які переносяться через мембрану в гідратизованому вигляді.

Результати експериментів показують, що найбільш поширеними можуть бути катоди (рис. 3.):

1 – Pt-чорнь в матриці іонообмінного полімеру на вуглеграфітовій тканині; 2 – Pt-чорнь в матриці, що приготовлена змішуванням розчину іонообмінного полімеру і порошку фторопласту; 3 – Pt-чорнь, попередньо спечена з частинками фторопласту в матриці іонообмінного полімеру на вуглеграфітовій тканині; 4 – Pt-чорнь в матриці іонообмінного полімеру на гідрофобній вуглеграфітовій тканині; 5 – суміш Pt та Ir в матриці іонообмінного полімеру на вуглеграфітовій тканині.

З використанням спеціальних технологій виконання електродів експериментальні ВАХ паливного елемента мають вигляд (рис. 4.). Тут: 1 – на гідрофобній вуглеграфітовій тканині (Pt/C); 2 – Pt-чорнь на Pt/C; 3 – Pt-чорнь на пористому титані; 4 – Pt-Ir-каталізатор на пористому титані. При посеційній схемі побудові електродної системи оборотного осередку для різних щільностей струму можна отримувати необхідні вольт-амперні характеристики системи паливного елемента.

В таблиці приведені електричні характеристики паливного елемента по методиці [11] для різної кількості секцій з робочою площею електрода Pt/C 0,25 см<sup>2</sup>.

В результаті поєднання двох режимів: режиму електролізу та режиму паливного елемента можна

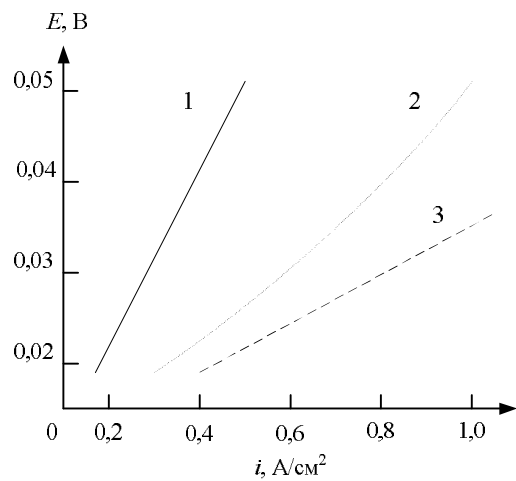


Рис. 2. Розрахункові ВАХ для різних каталітичних шарів катода електролізера: 1 – Pt-чорнь, спечена з частинками фторопласту; 2 – Pt-чорнь в матриці, приготованої із суміші розчину іонообмінного полімеру і фторопласту; 3 – в матриці іонообмінного полімеру

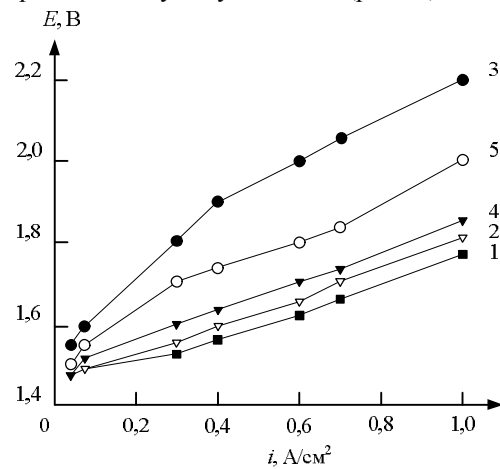


Рис. 3. ВАХ електролізного осередку при 85°C для різних катодів

створити блок комплексного самодостатнього джерела живлення багатоканального типу з заданими величинами електричної напруги і електричного струму [9,10].

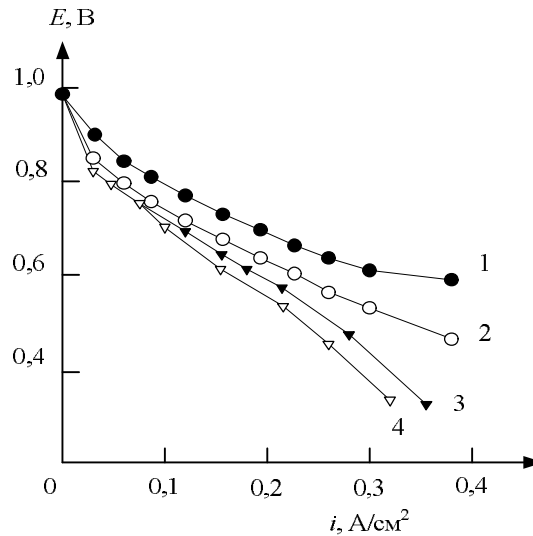


Рис. 4. ВАХ паливного елемента при 75°C зі стандартним катодом Pt/C і різними каталітичними шарами

Щільність струму, А/см <sup>2</sup>	Напруга, В	Сумарний струм на електродах, А				
		1 секція	2 секції	4 секції	6 секцій	8 секцій
0	1,0	0	0	0	0	0
0,1	0,8	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2
0,2	0,7	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
0,3	0,65	0,075	0,15	0,3	0,45	0,6
0,4	0,6	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8

#### Конструкція джерела живлення

В результаті дослідження розробленого автономного блоку джерела живлення на основі електролізу водяної пари на водень і кисень, поєднаного в системі з воднево-кисневим паливним елементом, розроблено технологію створення електролізно-паливної системи багатосекційного типу. Технологія дозволяє створювати багатосекційне джерело живлення з заданими електротехнічними характеристиками і заключає в собі виготовлення окремих електролізно-паливних секцій (рис. 5.) та подальше поєднання їх в блоки заданих електротехнічних параметрів.

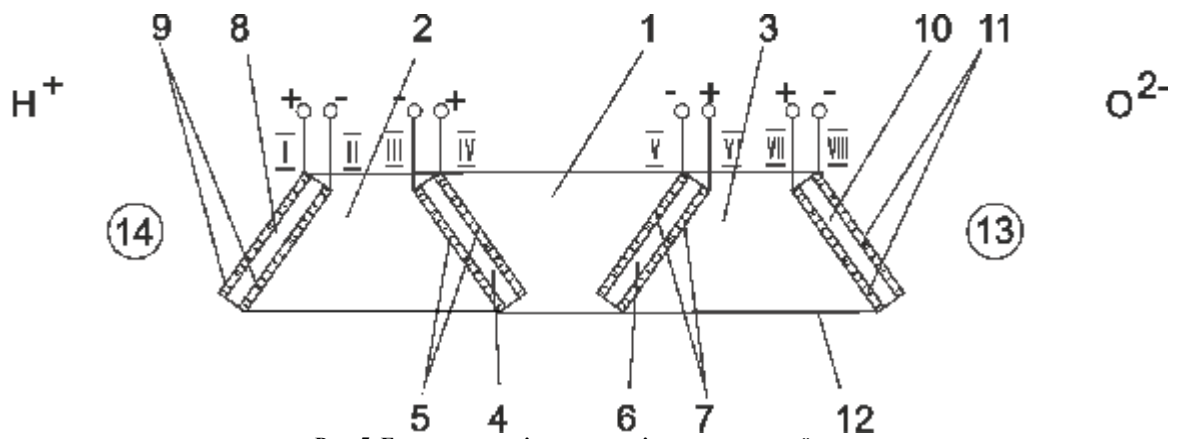


Рис. 5. Блок електролізера водню і кисню з водяної пари

1 – камера вихлопу пари H<sub>2</sub>O; 2 – камера H<sub>2</sub>; 3 – камера O<sub>2</sub>; 4 – мембрана електролізера H<sub>2</sub>; 5 – електроди електролізера H<sub>2</sub>; 6 – мембрана електролізера O<sub>2</sub>; 7 – електроди електролізера O<sub>2</sub>; 8 – мембрана H<sub>2</sub>-Пов. поверхні генератора; 9 – електроди H<sub>2</sub>-Пов. поверхні генератора; 10 – мембрана O<sub>2</sub>-Пов. поверхні електролізера; 11 – електроди O<sub>2</sub>-Пов. поверхні електролізера; 12 – корпус; 13, 14 – повітряні камери, або два узгоджені інші блоки, де 13 – камера H<sub>2</sub>; 14 – камера O<sub>2</sub>.

Початкова напруга на електродах буде мінімальною на початковій стадії електролізу. По мірі накачування в камеру 2 і в камеру 3 напруга на електродах буде зростати. Таким чином, напруга на електродах, необхідна для електролізу окремо, буде підтримуватись автоматично. Робоча температура електролізера задається та підтримується корпусом камер в процесі роботи. Кількість водню, що отримується на одному електролізері, повинна відповідати кількості помпування в камеру одного робочого

блоку і повинна отримуватись в електролізері.

Якщо розмістити генеруючий блок в замкненому циклі, тобто по колу, з камерою в центрі, то схема буде мати вигляд (рис. 6.).

Конструктивно блоки електролізера і генератора на базі іонообмінних мембран мають вигляд (рис. 7.).

Іншим технічним рішенням мембранно-електродного блоку може бути конструкція з цільною мембраною.

Особливістю технічних рішень є доволі висока технологічність виготовлення елементів. Наразі є можливість використовувати такі прості технологічні процеси, як штампування та пресування. Ще однією характеристикою є відносно проста система складання, яка не вимагає висококваліфікованого персоналу, тобто як наслідок, існує тенденція отримання продукту невисокої вартості з досить добрими показниками.

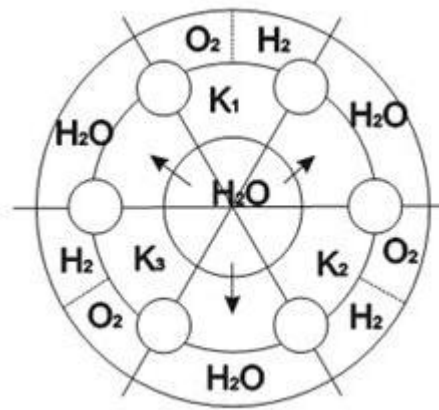


Рис. 6. Схема розташування генератор-електролітичних камер

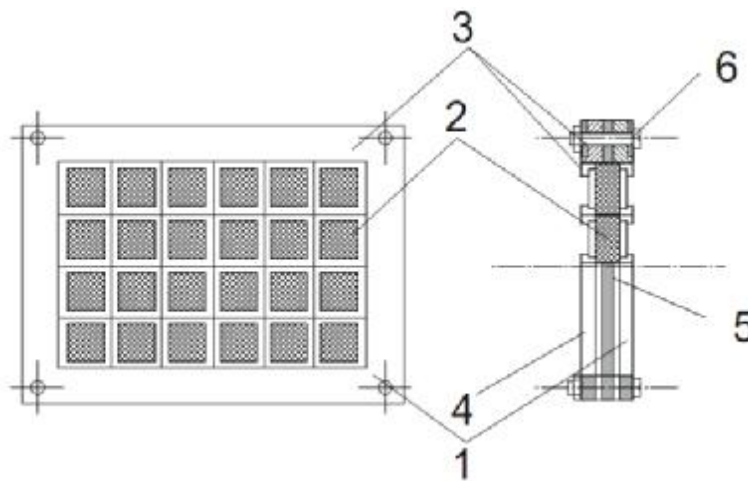


Рис. 7. Мембранно-електродний елемент мембранно-блокового типу: 1 – металічний нижній каркас; 2 – мембранні блоки; 3 – електроди; 4 – металічний верхній каркас; 5 – ізоляційна прокладка; 6 – діелектричне кріплення

### Висновки

У роботі розглянуто високоєфективне автономне екологічно чисте джерело живлення на базі наявних технологій електролізу водяної пари та паливних воднево-кисневих елементів. В основу роботи однієї комірки багатосекційного джерела живлення покладено принципи «холодного» згорання палива (водню в кисні), яке безпосередньо виробляє електроенергію. Показано, що процес електролізу відбувається завдяки енергії постійного струму, що підводиться від паливного елемента, та енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Водень та кисень, що утворюються в процесі електролізу водяної пари, в поєднанні з твердоелектролітною системою дозволяють створити автономний воднево-кисневий паливний елемент. Технічна реалізація цих двох взаємопов'язаних електрохімічних процесів в одному блоці є основою автономного джерела живлення. Наведено основні напрямки розробок конструкцій електролізерів-паливних елементів. Таким чином, запропоновано автономне джерело живлення на базі воднево-кисневої паливної суміші.

Напрямок подальших теоретичних розробок є створення нових типів багатосекційних воднево-кисневих автономних електролізерів-генераторів, які можуть використовуватися для живлення радіоелектронних пристроїв різного ступеня складності.

### Літератури

1. Троц А.А. Електрохімічний електролізер водяної пари як альтернативне джерело живлення / А.А. Троц, В.І. Скіцюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. Вип. 46 – С. 170 – 176.
2. Гончарук В.Л. Електрохімічний електролізер водяної пари / В.Л. Гончарук, А.А. Троц, М.А. Троц, В.Г. Янів // Вісник університету «Україна». Серія «Сучасні інженерні Технології. №1(16). 2013 р. – С. 116–122.
3. Ahn J., Ledjeff K. Патент Германии № P4027655.4, 1990.
4. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Proc. Of the 18-th Int. Power Sources Symp. Strafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.
5. Цыпкин Е.К. Каталитические слои для обратимой ячейки электролизер–топливный элемент на

основе твердого полимерного электролита / М.А. Цыпкин, Е.К. Лютикова, В.Н. Фатеев, В.Д. Русанов // Электрохимия 2000, том. 36. № 5. с. 613–616.

6. Чеботин В.Н. Электрохимия твердых электролитов / В.Н. Чеботин, М.В. Перфильев – М.: Химия, 1978 – 312 с.

7. Фатеев В.Н. Электрохимия / В.Н. Фатеев, А.А. Фридман, И.Е. Баранов // Электрохимия, 1994. Т. 30. С. 1256.

8. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11–th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.

9. Основы процесса электролиза. <http://studyport.ru>

10. Производство водорода. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Производство водорода](http://ru.wikipedia.org/wiki/Производство_водорода)

11. Порев В.А. Реалізація методу контролю технологічних газових середовищ / В.А. Порев, А.А. Троц // Актуальні проблеми навчання та виховання людей з особливими потребами : зб.наукових праць. – № 8. – К.: Університет „Україна”, 2010. – С. 125 – 127.

#### References

1. Trots A.A., Electrochemical electrolysis of water vapor as an alternative power source / Trots A.A., Skitsyuk V.I. // Journal of NTU "KPI". Series instrument. – 2013. Issue. 46 – P. 170 – 176.

2. Goncharuk V.L. Electrochemical electrolysis of water vapor / Goncharuk V.L., Trots A.A., Trots M.A., Yaniv V.G. // Bulletin of the University "Ukraine". The series "Modern engineering technology. № 1 (16). 2013 – P. 116–122.

3. Ahn J., Ledjeff K. German patent number R4027655.4, 1990.

4. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Proc. Of the 18–th Int. Power Soures Symp. Strafford–upon–Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.

5. Catalyst layer for a reversible electrolytic cell there are fuel cell–based solid polymer electrolyte. . M.A. Zipkin, E.K. Lyutikova, V.N. Fateev, V.D. Rusanov. / Electrochemistry 2000, Vol. 36. № 5. With. 613–616.

6. Chebotin V.N., Perfil'ev M.V. Electrochemistry of solid electrolytes. – Moscow: Khimiya, 1978 – 312 p.

7. Fateev V.N., Friedman A.A., Baranov IE / Electrochemistry. 1994. Т. 30. P. 1256.

8. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11–th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.

9. Basics electrolysis process. <http://studyport.ru>

10. Hydrogen Production. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Production hydrogen](http://ru.wikipedia.org/wiki/Production_hydrogen)

11. Poryev V.A. The implementation method of control process gas/ Poryev V.A., Trots A.A. // Actual problems of training and education of people with special needs zb.naukovyih works. – № 8. – Kyiv University "Ukraine", 2010. – P. 125 – 127.

Рецензія/Peer review : 13.5.2014 р.

Надрукована/Printed :25.6.2014 р.

**УДК 621.317**

**Е.А. ЗАЙЦЕВ**

Институт электродинамики НАН Украины

**О.П. СИНИЦКИЙ**

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

## МЕТОД КОРРЕКЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ В ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРАХ

*Статья посвящена вопросам коррекции инструментальных погрешностей в цифровых вольтметрах. Проведен анализ работы схем цифровых вольтметров, использующих структурные методы повышения точности, и показано, что использование этих методов позволяет корректировать погрешность от взаимодействия.*

*Ключевые слова: вольтметр, напряжение, коррекция, цифровой, инструментальная, погрешность, индикатор.*

**E.A. ZAITSEV**

Institute of Electrodynamics of NASU

**O.P. SINITSKIY**

National Technical University of Ukraine "KPI"

## METHOD OF CORRECTION OF INSTRUMENTAL ERRORS IN DIGITAL VOLTMETERS

*Paper refers to the correction of instrumental errors in digital voltmeters. Performed the analysis of the schemes of digital voltmeters using structural methods to improve accuracy, and showing that the use of these techniques allows you to correct the error of the interaction*

*Keywords: voltmeter, the voltage correction, digital, instrumental, the error indicator.*

### Введение

Одним из способов повышения точности цифровых вольтметров является применение методов компенсации, а также коррекции возникающих погрешностей. Вопросам коррекции погрешностей в измерительных приборах, а также информационно-измерительных системах посвящены работы Туза Ю.М. [1], Кондратова В. Т. [2] и многих других. Инструментальные погрешности делятся на погрешности средств