УДК 621.355:621.359.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА ОТ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ВОДОАКТИВИРУЕМОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ БАТАРЕИ

[1]Мишин В.М., [2]Колесников Г.Ю., [2]Титовский Д.Л., [2]Пивоварова М.Н.

[1]ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, e-maile: mishinvm@yandex.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Кавминводский институт (филиал), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Георгиевск, e-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru.

Проведен анализ влияния на плотность тока водоактивируемой гальванической батареи применения магнитной индукции постоянного магнита при изменении коэффициента пористости электродов. Определена зависимость радиуса движения заряженных частиц в объеме электролита при различных значениях магнитной индукции постоянных магнитов. Представлены результаты исследований по определению оптимального расстояния между электродами гальванического элемента. Проведено моделирование зависимости плотности тока водоактивируемой гальванической батареи от магнитной индукции и коэффициента пористости электродов на основе статистической обработки экспериментальных данных методами корреляционно-регрессионного анализа. Полученные результаты моделирования могут быть использованы для прогнозирования плотности тока гальванического элемента путем применения значений коэффициента пористости и магнитной индукции. Созданный гальванический элемент обладает повышенными удельными выходными параметрами, сроком эксплуатации и позволяет проводить его использование с заменой электродов и электролита из доступных и недорогих материалов.

Ключевые слова: гальванический элемент, магнитная индукция, коэффициент пористости электродов, плотность тока

MODELING OF THE CURRENT DENSITY ON THE FLUX DENSITY AND WATER-ACTIVATED FACTOR POROUS ELECTRODE OF A WATER ACTIVATION GALVANIC BATTERY

[1]Mishin V.M., [2]Kolesnikov G.Y., [2]Titovskiy D.L., [2]Pivovarova M.N.

[1]North-Caucasus Federal University, Pjatigorsk, e-maile: mishinvm@yandex.ru;

[2]VPO «Kavminvodsky Institute (branch) of the South-Russian State Technical University (NPI) them. M.I. Platov», Georgiyevsk, e-mail: kolesnikovkmvi@yandex.ru.

The influence of the current density on a water-activated galvanic battery use magnetic induction permanent magnet when the porosity coefficient of the electrodes. DELENA determined dependence of the radius of motion of charged particles in the electrolyte at different values of magnetic flux of the permanent magnets . The results of studies , by definition, the optimal distance between the electrodes of the cell . Conducted modeling of a water-activated current density dependence of the galvanic battery on the magnetic induction and porosity coefficient electrodes based on statistical processing of the experimental data by regression analysis . The obtained simulation results can be used to predict the current density of the electrochemical cell by applying the values of the porosity and the coefficient of magnetic induction. Created a galvanic cell has an increased specific output parameters -life and allows its use with the replacement of the electrodes and the electrolyte of the available and inexpensive materials.

Keywords: electrochemical cell, the magnetic induction, porosity electrode, current density

В настоящее время вопрос об энергосберегающих технологиях приобретает особую актуальность. В частности это касается малоэнергоемких технологических установок, применяемых в удаленных от электрических сетей местах или в чрезвычайных ситуациях. Проведенный литературный и патентный обзор [1, 2] позволяет выделить в качестве таковых водоактивируемые элементы, имеющие ряд преимуществ: безопасность в изготовлении и утилизации электролита, низкая стоимость и простота конструкции. Кроме того, как было нами установлено [3], имеется возможность увеличить энергоотдачу таких элементов с помощью воздействия постоянным магнитным полем.

Влияние магнитного поля на электропроводность электролита в гальванических элементах до сих пор полностью не выяснено. Существующие гипотезы базируются на поляризующем действии магнитного поля на ионы и молекулы электролита, в результате чего изменяется структура раствора и создаются условия для образования ионных полей, количество которых зависит от природы растворенных солей, их концентрации, времени нахождения раствора в зоне воздействия магнитного поля и других факторов.

В связи с этим возникла необходимость проведения исследований, связанных с выявлением зависимости повышения энергетических показателей гальванических батарей, в том числе плотности тока, от магнитной индукции и коэффициента пористости электродов и получение математической модели этих зависимостей.

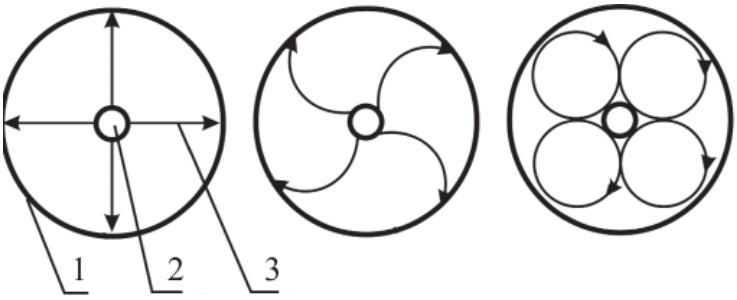
Целью работы является моделирование зависимости плотности тока и коэффициента пористости электродов от магнитной индукции водоактивируемой гальванической батареи нового типа на основе использования методов корреляционно-регрессионного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Воздействие постоянного магнитного поля вызывает изменение траектории движения положительных и отрицательных ионов в водных растворах электролитов, их скорости движения и повышает концентрацию ионных полей вокруг электродов [4]. Так как заряженные частицы движутся в объеме электролита от одного электрода к другому перпендикулярно вектору магнитной индукции поля постоянных магнитов, радиус кривизны траектории их движения под действием силы Лоренца в электролите можно определить известным выражением (1)

$$r_o = \frac{m \cdot \upsilon}{B \cdot q}, \qquad (1)$$

где r_o – радиус кривизны траектории, м; q – заряд частицы, Кл; υ – скорость заряженных частиц, м/с; B – магнитная индукция магнитного поля, Тл; m – масса заряженной частицы, кг.



а) $B = 0$; б) $B < B_{кр}$; в) $B = B_{кр}$

Рис. 1. Траектория движения ионов в растворе при магнитном поле: 1 – катод гальванического электрода; 2 – анод гальванического элемента с расположенным внутри постоянным магнитом; 3 – направление движения ионов в растворе: а – движение ионов в электролите без магнитной индукции; б – движение ионов с магнитной индукцией, которая ниже критической; в – движение ионов при критической магнитной индукции

Как показано на рис. 1, движение ионов в объеме электролита зависит от магнитной индукции постоянных магнитов, применяемых в гальваническом элементе, причем с увеличением магнитной индукции радиус движения ионов уменьшается, и они могут не достигать противоположного электрода, следовательно, величина тока гальванического элемента при использовании постоянных магнитов может быть значительно снижена и привести к отрицательному эффекту.

Результаты исследований, связанные с определением влияния магнитной индукции постоянных магнитов на параметры водоактивируемого гальванического элемента, которые проводились с постоянными магнитами, имеющими различные значения магнитной индукции: $B = 116$; 140; 200; 250 мТл (при нагрузке 100 Ом в течение 24 часов), представлены на рис. 2.

Как видно из графика рис. 2, наиболее эффективным является гальванический элемент со значением магнитной индукции постоянного магнита $B = 200$ мТл. При этом, как было нами установлено экспериментально, сила тока гальванического элемента снижается незначительно в течение 14 часов работы с последующей стабилизацией.

Расстояние между электродами гальванического элемента также влияет на его электропроводность и другие параметры. Известно, что с приближением анода и катода друг к другу напряжение и сила тока на клеммах гальванического элемента увеличиваются, но при этом возникает опасность замыкания электродов между собой. И хотя в сечении между электродами сопротивление электролита снижается по мере сближения электродов, однако при этом уменьшается диссоциация ионов и, соответственно, падает сила тока гальванического элемента.

Кроме того, с удалением электродов друг от друга снижается эффект действия постоянного магнитного поля на заряженные частицы в электролите между электродами.

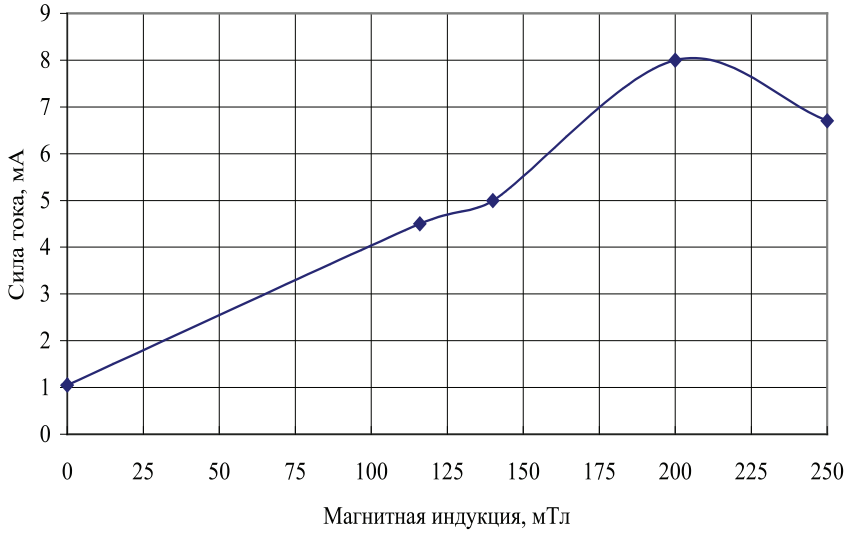


Рис. 2. Изменение силы тока гальванического элемента при различной магнитной индукции

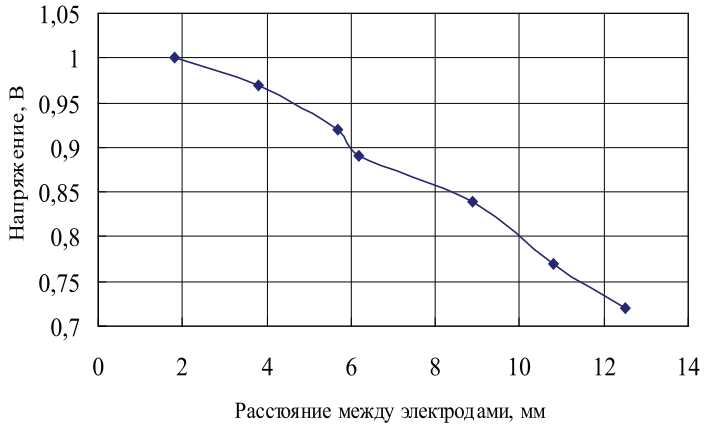


Рис. 3. Зависимость изменения напряжения гальванической ячейки от расстояния между электродами

В связи с этим подбиралось наиболее эффективное сечение между электродами с помощью набора тонких пластинок из диэлектрического материала, создающих зазор между электродами. После активации гальванического элемента проводились замеры напряжения и силы тока (рис. 3 и 4).

Анализируя зависимости силы тока и напряжения, согласно рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что наиболее рациональным сечением электролита между электродами данного гальванического элемента является сечение в промежутке 3–5 мм.

Экспериментальные исследования по изменению напряжения гальванической ячейки от расстояния между электродами показали, что при удалении электродов друг от друга на расстояние более 5 мм значение напряжения значительно падает. Сближение электродов менее чем на 3 мм не вызывает увеличение напряжения, однако снижает циркуляцию электролита в межэлектродном пространстве, что приводит к значительному уменьшению его электропроводности.

Накопленный в ходе экспериментальных исследований статистический материал позволил создать математическую модель зависимости плотности тока гальванического элемента от индукции магнитного поля и коэффициента пористости поверхности электродов [5].

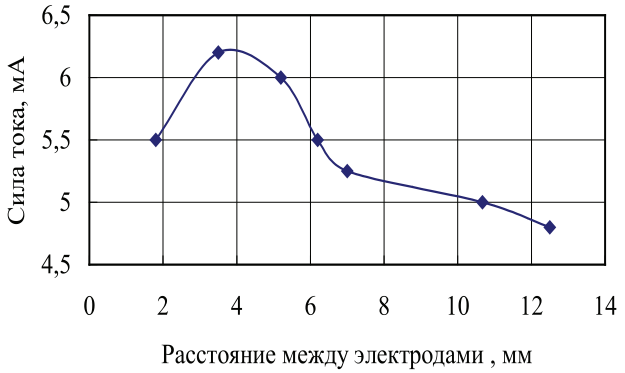


Рис. 4. Зависимость изменения силы тока гальванической ячейки от расстояния между электродами

Для получения математической модели зависимости плотности тока гальванического элемента с развитой магнитно активной поверхностью электродов от магнитной индукции и коэффициента пористости электродов была проведена статистическая обработка экспериментальных данных на основе использования методов дисперсно-регрессионного анализа (таблица).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии определялась по t-критерию Стьюдента. Фактическое значение t-критерия определялось с помощью программы Statistica 5.5.

Данные экспериментальных исследований

Коэффициент пористости $К_п$	Магнитная индукция, мТл	Плотность тока, мА/мм^2
6,0–8,2	0,15–0,2	2,1–4,8

Полученное в результате обработки данных на ПЭВМ нелинейное уравнение регрессии второго порядка имеет вид (2):

$$j = 24,92 + 45,02K_p - 166,61B - 19,54K_p^2 + 148,1K_p \cdot B - 237,98B^2, \qquad (2)$$

где j – плотность тока гальванического элемента, А/м^2; $K_р$ – коэффициент пористости активной поверхности; B – магнитная индукция постоянного магнита, Тл.

Адекватность уравнения проверялась по F-критерию Фишера (3):

$$F = 12,46 > 4,28. \qquad (3)$$

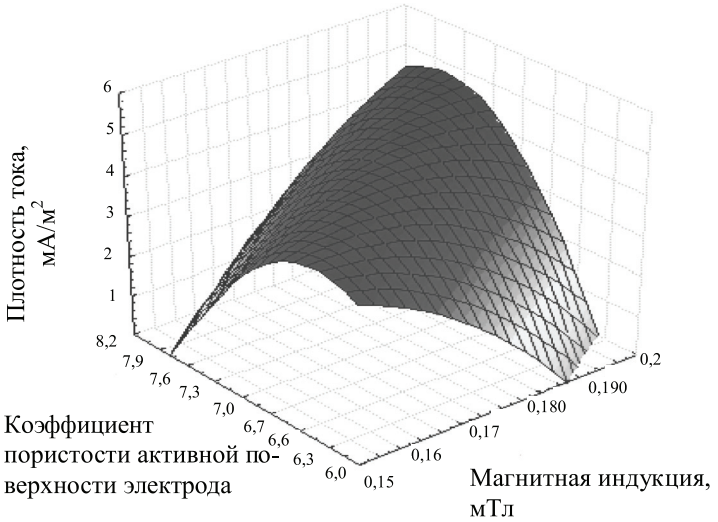


Рис. 5. Математическая модель зависимости плотности тока водоактивируемой гальванического элемента от магнитной индукции и коэффициента развития активной поверхности анода

Согласно полученной поверхности отклика, представленной на рис. 5, плотность тока гальванического элемента возрастает при увеличении коэффициента пористости активной рабочей поверхности электродов и повышении значения магнитной индукции.

Выводы

1. Предлагаемый водоактивируемый гальванический элемент по сравнению с другими техническими решениями имеет следующие преимущества: спиральный медно-проволочный анод имеет ребристую поверхность, что значительно увеличивает рабочую площадь электрода; использование активного слоя позволяет значительно увеличить площадь рабочей поверхности катода и, следовательно, повысить удельную энергоемкость. Применение постоянного магнита позволяет создавать не только пористую рабочую поверхность катода, но и магнитное поле вокруг электрода. Созданный гальванический элемент обладает повышенными удельными выходными параметрами, сроком эксплуатации и позволяет проводить его использование с заменой электродов и электролита из доступных и недорогих материалов.

2. Исследования, направленные на определение расстояния между электродами гальванического элемента, выявили, что оптимальным является расстояние от 3 до 5 мм. Уменьшение этого промежутка снижает циркуляцию электролита между электродами и повышает опасность контакта между электродами, а увеличение этого промежутка значительно снижает значение силы тока и напряжения и увеличивает размеры гальванического элемента.

3. Увеличение площади активной поверхности электрода позволило повысить значения плотности тока. При этом значение напряжения изменяется незначительно и практически не зависит от размеров электродов. Наиболее эффективным является гальванический элемент со значением магнитной индукции постоянного магнита 200 мТл.

4. Полученная посредством математического моделирования аналитическая зависимость плотности тока от магнитной индукции и коэффициента развития активной поверхности анода может быть использована для прогнозирования плотности тока гальванического элемента водоактивируемого гальванического элемента путем подстановки значений коэффициента пористости и магнитной индукции.

Список литературы

1. Пат. № 68187 Российская Федерация, МПК8 H01M 6/32, H01M 6/34. Первичный гальванический элемент; патентообладатель ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет». – 2007122965/22; заявл. 18.06.2007 г; опубл. 10.11.2007, бюл. № 31.

2. Пат. № 2343570 Российская Федерация, МПК8 H01M 6/32, H01M 6/34. Первичный гальванический элемент; патентообладатель ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет». – 2009122965/22; заявл. 22.03.2008г; опубл. 10.11.2009, бюл. № 31.

3. Колесников Г.Ю. Использование постоянного магнитного поля для повышения ёмкости водоактивируемого гальванического элемента // Сб. научн. тр. н/п конф. СКФУ электроэнергетического факультета. – Ставрополь: Агрус, 2009. – С. 43–46.

4. Варыпаев В.Н. и др. Химические источники тока: уч. пособие для студ. вузов по спец. «Технология электрохимических производств». – М.: Высшая школа, 1990. –240 с.

5. Пешехонов, А.А. Обработка и представление экспериментальных данных: учебное пособие / А.А. Пешехонов, В.В. Куркина, К.А. Жаринов; СПбГТИ(ТУ). Кафедра автоматизации процессов хим. пром-сти. – СПб., 2011. – 50 с.

References

1. Pat. № 68187 Rossiyskaya Federaciya, MPK8 N01M 6/32, N01M 6/34. Pervichnyy galvani-cheskiy element; patentoobladatel FGOU VPO Stavropolskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2007122965/22; zayavl. 18.06.2007; opubl. 10.11.2007, bul. no. 31.

2. Pat. no. 2343570 Rossiyskaya Federaciya, MPK8 N01M 6/32, N01M 6/34. Pervichnyy galvani-cheskiy element; patentoobladatel FGOU VPO Stavropolskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2009122965/22; zayavl. 22.03.2008; opubl. 10.11.2009, bul. no. 31.

3. Kolesnikov G.U. Ispolzovanie postoyannogo magnitnogo polya dlya povysheniya yomkosti vodoaktiviruemogo galvanicheskogo elementa // Sb. nauchn. tr. n/p konf. SKFU elektroener-geticheskogo fakulteta. Stavropol: Agrus. 2009. pp. 43–46.

4. Varypaev V.N. i dr. Himicheskie istochniki toka. Uch. Posobie dlya stud. vuzov po spec. «Tehnologiya elektrohimicheskih proizvodstv». M.: Vysshaya shkola, 1990. 240 p.

5. Peshekhonov AA Processing and presentation of experimental data: educational Pozo Bie / A.A. Peshehonov, V.V. Kurkina, K.A. Zharinov; SPbSTI (TU). Kaf. automation of the processes of chemical. prom-sti. St. Petersburg., 2011. 50 p.

Рецензенты:

Янукян Э.Г., д.ф.-м.н., профессор, декан инженерного факультета, Северо-Кавказский федеральный университет, филиал, г. Пятигорск;

Казуб В.Т., д.т.н., профессор, зав. кафедрой физики и математики, Пятигорская государственная фармацевтическая академия, г. Пятигорск.

Работа поступила в редакцию 08.09.2014.