

УДК 621.357

Б. І. БАЙРАЧНИЙ, Ю. А. ЖЕЛАВСЬКА, О. В. ВОРОНІНА, А. А. КОВАЛЬОВА, Н. А. РУДЕНКО**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИРОДИ ЕЛЕКТРОДНОГО МАТЕРІАЛУ НА ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОСИНТЕЗУ ВОДНЮ**

Досліджена поведінка електродних матеріалів при електросинтезі водню в 3 % розчину хлориду амонію. Доведено можливість використання сплаву ВТ6 як катодного матеріалу в практичному електролізі в широкому інтервалі густин струму та рН із-за його високої хімічної стійкості. Використання анодів зі сталі 12Х1МФ не є ефективним. Електроліз триває при високій напрузі, іони заліза та хрому накопичуються в електроліті. Встановлено, що при електросинтезі водню з електродними парами Ті (ВТ6) – Zn та Ni – Zn відбувається зниження напруги на електролізері на 1 – 1,2 В, що дозволяє заощаджувати електроенергію.

Ключові слова: електродні матеріали, водень, перенапруга, електросинтез, деполаризація, електродна пара.

Исследовано поведінку електродних матеріалів при електросинтезі водню в 3 % розчині хлориду амонію. Доказана можливість використання сплаву ВТ6 як катодного матеріалу в практичному електролізі в широкому інтервалі густин току та рН із-за його високої хімічної стійкості. Використання анодів зі сталі 12Х1МФ не є ефективним. Електроліз протікає при високому напруженні, іони заліза та хрому накопичуються в електроліті. Установлено, що при електросинтезі водню з електродними парами Ті(ВТ6) – Zn та Ni – Zn відбувається зниження напруги на електролізері на 1 – 1,2 В, що дозволяє економити електроенергію.

Ключевые слова: електродные материалы, водород, перенапряжение, электролиз, деполаризация, электродная пара.

The behavior of electrode materials at the hydrogen electrosynthesis with 3 % ammonium chloride solution was investigated. Overvoltage of hydrogen evolution on the vanadium containing electrodes is less in comparison with nickel electrodes. The ability of using titan VT6 alloy as a cathode material in practical electrolysis in a wide range of current densities and pH values has been proved. This alloy has a high chemical resistance. The 12H1MF steel using as the anode material is not effectively. Electrolysis occurs at high voltage and iron and chromium ions accumulate in the electrolyte. The decrease of voltage at the electrolyzer for 1 – 1,2 V at the hydrogen electro synthesis with electrode pairs Ti (VT6) – Zn and Ni – Zn has been established. Electricity saving is allowed by this fact. Voltage drop is caused by the effect of anodic depolarization reaction. In a solution of ammonium chloride on the zinc electrode, instead of the oxygen evolution reaction, the zinc dissolution is occurred.

Keywords: electrode materials, hydrogen, overvoltage, electrosynthesis, electrode pair.

Вступ. Сонячна та воднева енергетика широко використовується для потреб різних галузей техніки. Ця проблема має велику перспективу і для її рішення важливе значення мають дослідження та технологічні розробки, які використовують удосконалені процеси [1, 2, 3] та матеріали [4, 5] пов'язані з електрохімічними методами.

Методика. Дослідження зміни напруги на електролізері проводилися за допомогою електрохімічної схеми, яка включає в себе джерело струму, амперметр, електролізер з робочим та допоміжним електродом, а також срібно-хлоридний електрод порівняння. Для проведення дослідів використані розчини хлориду амонію (30 г/дм³) та електродні матеріали які приведе-

ні в таблиці 1.

Робоча поверхня електродів складала 0,5 – 2 см². Перед дослідженнями поверхня електродів проходила стандартну методику підготовки. Аналітична обробка експериментальних даних проводилася на основі перерахунку вольт-амперних залежностей в координатах $E - j$, а також в напівлогарифмічних координатах.

Результати та обговорення. З літературних джерел відомо, що природа електродного матеріалу суттєво впливає на кінетичні параметри електродної поляризації при електролізі водних розчинів [6].

В даній роботі досліджена перенапруга виділення водню та кисню на електродах – платині, нікелі, цинку, сплаві титану ВТ6, сталі 12Х1МФ з домішками

Таблиця 1 – Електрохімічні параметри електродних матеріалів

№	Катод	Анод	Електрохімічні параметри			
			Катодна перенапруга, а, В	Густина струму, $I_{g,j}$, [A/cm ²]	Анодна перенапруга, а, В	Густина струму, $I_{g,j}$, [A/cm ²]
1	Pt	Ст.12Х1МФ	0,1	3,5	0,95	3,5
2	Ni	Ст.12Х1МФ	0,1	3,5 – 2	0,2 – 0,25	3,5 – 2
3	Ni	Zn	0,125	3,5 – 2,5	2	4,5 – 2
4	Ti (BT6)	Pt	0,07	3,5 – 2	0,12	4 – 2,2
5	Ti (BT6)	ОРТА	0,07	4 – 2,5	1,1	3,5 – 2
6	Ti (BT6)	Ст.12Х1МФ	0,07	4 – 3	1	2 – 3,5
7	Ti (BT6)	Zn	0,13	3,5 – 2	0,2	3,5 – 2

ванадію та титаноксиднорутенійовому аноді.

На рисунку 1 показані вольтамперні залежності анодної поляризації сталі 12Х1МФ (кр. 1) та катодної поляризації платини (кр. 2) в напівлогарифмічних координатах. В інтервалі густини струму (1 – 10) mA/cm^2 потенціал аноду змінюється від стаціонарного значення до $E_a = 4$ В. Анод активно розчиняється з переходом заліза та хрому в іони Fe^{2+} та Cr^{3+} . На платині відновлюються іони H^+ з утворенням водню. Лінійні ділянки на анодній залежності мають місце при густині струму ($4 \cdot 10^{-3}$ – $6 \cdot 10^{-2}$) A/cm^2 з коефіцієнтом $b = 0,2$.

Такий характер залежності свідчить про складний механізм розчинення аноду з проявленням іоніза-

ції компонентів та можливою пасивацією анода при потенціалах більш позитивних ніж 2 В ($E_a > 2$ В).

Загальна напруга на комірці (рис. 2, кр. 1) зростає від 2 до 3 В. Високі значення загальної напруги на електролізері утворюють утворення пасивної плівки на аноді. Таким чином, використання сталі 12Х1МФ як анодного матеріалу не ефективне в практичному електролізі.

На рисунку 1 також показані вольтамперні залежності аноду зі сталі 12Х1МФ (кр. 3) та катоду з нікелю (кр. 4). Вони також змінюють потенціали в позитивну область на аноді та негативну на катоді.

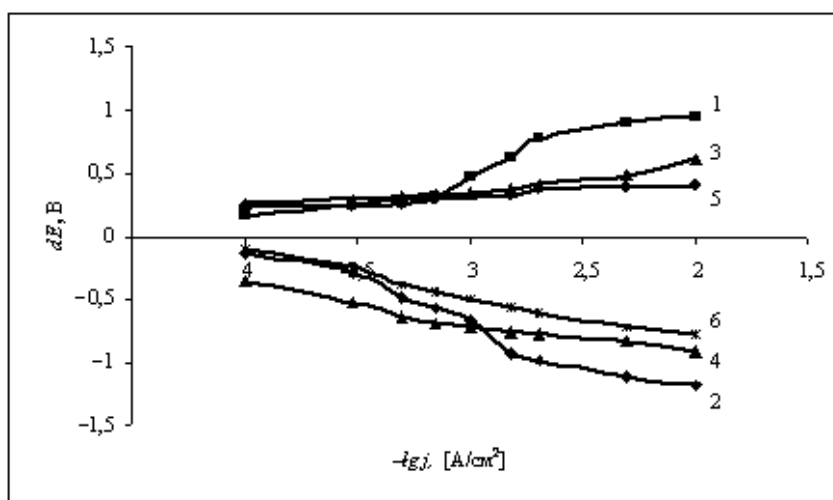


Рис. 1 – Вольтамперні залежності електролізу в 3 % розчині NH_4Cl з електродними парами: 1 – анод Ст. 12Х1МФ; 2 – катод Pt; 3 – анод Ст. 12Х1МФ, 4 – катод Ni; 5 – анод Zn, 6 – катод Ni.

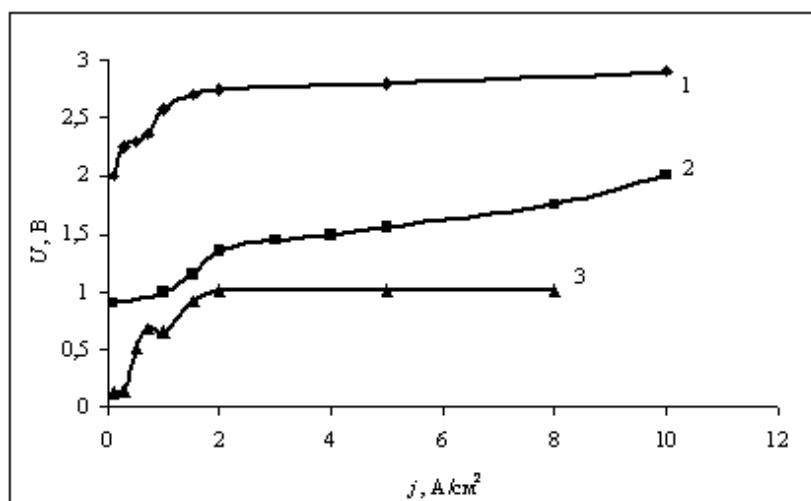


Рис. 2 – Зміна напруги електролізу в 3 % розчині NH_4Cl з електродними парами: 1 – анод Ст. 12Х1МФ, катод Pt; 2 – анод Ст. 12Х1МФ, катод Ni; 3 – анод Zn; катод Ni.

Анод активно розчиняється, а на катоді виділяється водень. Лінійні ділянки відмічаються на аноді при густинах струму ($5 \cdot 10^{-2}$ – $5 \cdot 10^{-3}$) A/cm^2 , та ($6 \cdot 10^{-2}$ – $3 \cdot 10^{-3}$) A/cm^2 на катоді. При цих густинах струму на

даних електродах можливий електрохімічний контроль електродних процесів, пов'язаний з переносом зарядів через межу електрод – електроліт.

Напруга на комірці змінюється від 0,8 В до 2 В

(рис. 2, кр. 2) в інтервалі густин струму, що свідчить про проходження на аноді процесів пасивації ванадієвої сталі. Така електродна реалізує електроліз при високій напрузі і накопиченні іонів заліза та хрому в електроліті, а тому слід вважати її використання в електролізі не перспективним. електроліті, а тому слід вважати її використання в електролізі не перспективним.

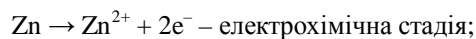
На рисунку 1 приведені напівлогарифмічні залежності електродної пари цинк (анод, кр. 5) та нікель (катод, кр. 6). В розчині NH_4Cl потенціал цинку змінюється від $-0,7$ до $-0,1$ В, а катода від $0,2$ до -1 В.

В інтервалі густин струму $j = 10^{-4} - 1 \text{ A/cm}^2$ на цинковому аноді мають місце дві лінійні ділянки з коефіцієнтом $b = 0,1$ та $0,2$, що свідчить про зміну механізму анодного розчинення цинку. Така зміна пов'язана з переходом цинку з металевої фази в розчин з утворенням аміачних комплексних іонів $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$, яке пов'язане з хімічною стадією анодної реакції після переходу цинку в розчин. Слід відзначити, що лінійні ділянки проявляються тільки при густинах струму ($10^{-3} - 10^{-1}$) A/cm^2 , а при їх збільшенні не проявляються.

Напруга на комірці при густинах струму має ве-

личину $U = 0,2 - 1$ В (рис. 2, кр. 3), яка на $1,2$ В менша за напругу електролізу в лужному електроліті.

Таке її зменшення пов'язане з ефектом деполаризації анодної реакції. В розчині NH_4Cl на цинковому аноді замість виділення кисню протікає реакція його розчинення:



$\text{Zn}^{2+} + 2\text{NH}_4^+ \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+} + 2\text{H}^+$ – хімічна стадія.

Нікелевий катод в цій електрохімічній системі проявляє високу стабільність. На ньому виділяється водень в дослідженому інтервалі густин струму. Електрохімічна поведінка цієї пари електродів дозволяє суттєво зменшити напругу на електролізері що має практичний інтерес при електросинтезі водню.

На рисунку 3 показані зміни потенціалів катода зі сплаву ВТ6 (кр. 1) та Pt аноду (кр. 2) в 3 % розчині NH_4Cl .

Потенціал сплаву в діапазоні густин струму $j_k = 10^{-4} - 10^{-2} \text{ A/cm}^2$ зміщується в негативну область з величинами $\Delta E_k = 0,05 - (-0,5)$ В. При густинах струму $j_k = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ має місце лінійна ділянка кривої з величиною нахилу $b = 0,06 - 0,07$.

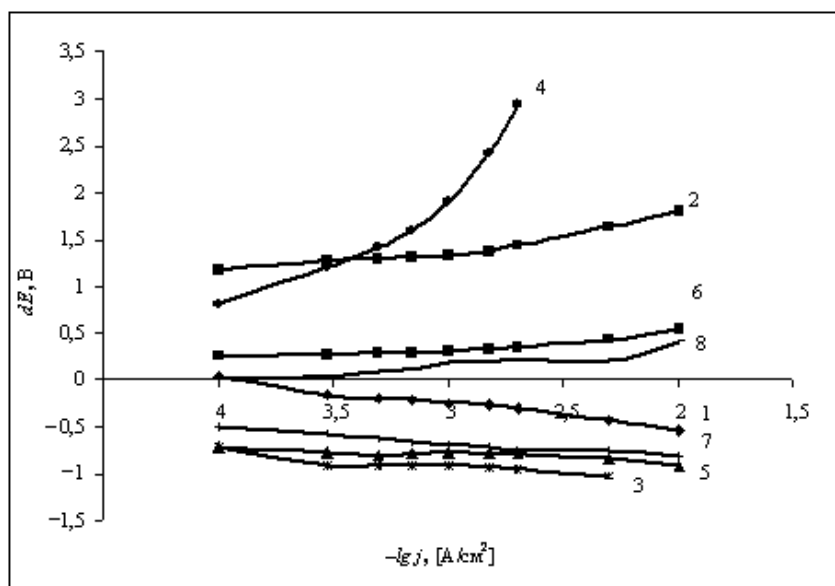


Рис. 3 – Вольтамперні залежності електролізу в 3 % NH_4Cl розчині з електродними парами: 1 – катод Ті (ВТ6); 2 – анод Pt; 3 – катод Ті (ВТ6); 4 – анод ОРТА; 5 – катод Ті (ВТ6); 6 – анод Ст. 12Х1МФ; 7 – катод Ті (ВТ6); 8 – анод Zn.

На цій ділянці для катодного процесу емпіричне рівняння для сплаву титан ВТ6 $\eta_{\text{H}_2} = -0,7 - 0,07 \lg j$.

На платині в даних умовах лінійна залежність виділення кисню має місце в незначному діапазоні потенціалів $\Delta E_a = 0,3$ В, з величиною нахилу $b = 0,12$ В. Таку залежність на платині можливо виразити емпіричним рівнянням: $\eta_{\text{O}_2} = 1,9 + 0,12 \lg j$.

Ці дані свідчать про порівняно невелику перена-

пругу катодного виділення водню на сплаві ВТ6 і значною перенапругою виділення кисню на платині.

На рисунку 4 (кр. 1) показані залежності напруги на комірці від густини струму при використанні Pt аноду та катода зі сплаву ВТ6. Ця залежність відтворює зміну напруги, яка відбувається в практичному електросинтезі водню. Така залежність свідчить про можливість використання сплаву ВТ6 як катодного мате-

ріалу. Враховуючи високу хімічну стійкість цього сплаву його можливо використовувати в практичному електролізі в широкому інтервалі густин струму та рН.

На рисунку 3 також приведені вольтамперні залежності в 3 % розчині NH_4Cl з катодом Ті (ВТ6) (кр. 3) та анодом ОРТА (кр. 4), катодом Ті (ВТ6) (кр. 5) та анодом зі сталі 12Х1МФ (кр. 6), катодом Ті (ВТ6) (кр. 7) та анодом з цинку (кр. 8). Зміна потенціалів на катодному електроді практично аналогічна. Лінійна ділянка спостерігається в інтервалі густин струму ($10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3}$) A/cm^2 . За винятком – залежності з цинковим анодом, де коефіцієнт b має величину 0,12, а не 0,07, як для інших анодних матеріалів.

Анодні залежності для ОРТА електрода (рис. 3, кр. 4) не мають лінійних ділянок з коефіцієнтом b майже одиницю. Таке значення коефіцієнта b свідчить про складність механізму окиснення, яке супроводжується розкладенням води та виділенням кисню через утворення очищених сполук, електрокаталітичні ефекти перенапруги виділення кисню. На сталі 12Х1МФ також анодні криві не мають лінійних ділянок

(рис. 3, кр. 6), що свідчить про наявність в сумарній анодній реакції стадій розчинення заліза, хрому, ванадію та молібдену, пасивації аноду та виділення кисню. На цинковому аноді (рис. 3, кр. 8) як і на кривій з нікелевим катодом (рис. 1, кр. 5) протікає анодне розчинення та утворення комплексних цинкатних іонів. Виділення кисню відсутнє в інтервалі густин струму ($10^{-4} - 10^{-1}$) A/cm^2 .

На рисунку 4 показані залежності зміни напруги на комірці з використанням електродних пар: катоду зі сплаву титану ВТ6 та аноду з ОРТА (рис. 4, кр. 2), катоду зі сплаву титану ВТ6 та аноду зі сталі 12Х1МФ (кр. 3), а також катоду зі сплаву титану ВТ6 та аноду з Zn (кр. 4).

При використанні анода з ОРТА та катоду з ВТ6 напруга на електролізері в дослідженому інтервалі густин струму змінюється від 2 до 3,5 В. Така зміна визначається анодною поведінкою оксидно-рутенієвого аноду. Величина напруги при використанні електродів з ОРТА та сплаву ВТ6 аналогічна зміні напруги в водно-лужному електролізі [7].

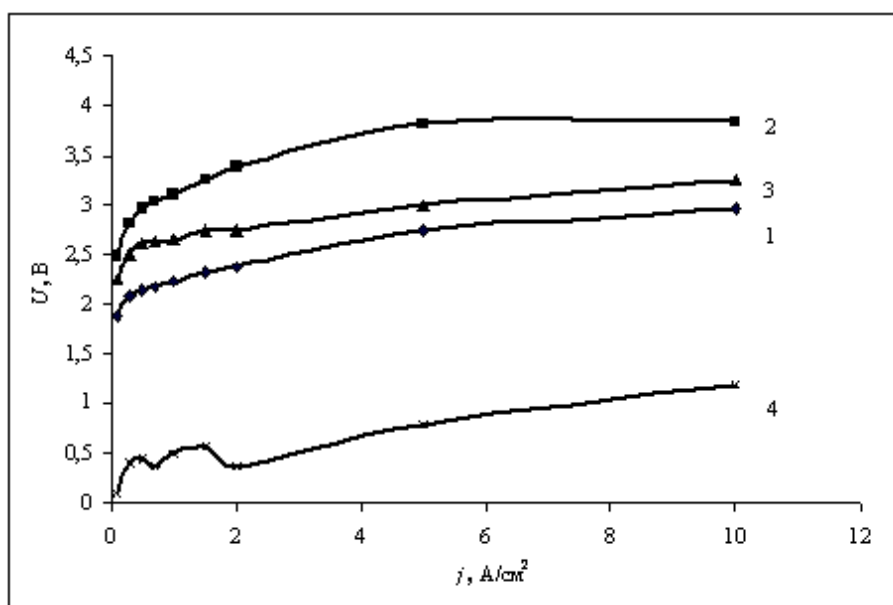


Рис. 4 – Зміна напруги електролізу в 3 % розчині NH_4Cl з катодом Ті (ВТ6) та анодом: 1 – Pt; 2 – ОРТА; 3 – Ст. 12Х1МФ; 4 – Zn.

Враховуючи цю залежність використання такої електродної пари для практичного електролізу небажане. На аноді з ванадієвої сталі напруга на комірці також має значення 2 – 3 В.

Висока напруга забезпечується головним чином анодним процесом, який протікає на ванадієвій сталі.

В зв'язку з величиною напруги використання такої електродної пари небажано.

Зміна напруги електролізу з використанням цинкового аноду та катоду ВТ6 має величини від 0,2 до

1 В, як і при використанні цинкового аноду та нікелевого катоду, відзначається значне зменшення напруги електролізу, що забезпечується еполяризацією.

При електролізі він в першу чергу розчиняється, при потенціалах значно негативніших за потенціал виділення цинку, який має величину +1,3 – (+1,5) В.

Така електродна пара має суттєве практичне значення і забезпечує менші витрати електроенергії на електроліз, а тому її використання слід вважати перспективним.

Аналіз приведених залежностей показує, що використання електродних пар з Zn аноду та катодів з Ni та сплаву ВТ6 забезпечує менші енергетичні витрати на електроліз і робить значно вигідними для практичного використання. Крім позитивного впливу на зменшення енерговитрат, негативним при використанні є розчинення Zn і накопичення сполук у розчині електроліту. Такі сполуки можливо в процесі електролізу та після його проведення утилізувати у вигляді нерозчинних сполук (ZnO) або осадити електрохімічно у вигляді цинкового порошку. Ці продукти можуть знайти себе при повторному використанні Zn в гальванотехніці або медицині. Проведені дослідження вказують на можливе практичне використання електродних пар з Zn анодів та катодів з Ni або титанового сплаву ВТ6 для практичної розробки електросинтезу водню.

Висновки.

Використання сталі 12Х1МФ як анодного матеріалу не ефективно в практичному електролізі.

Перенапряга виділення водню на ванадієвмісних електродах менша в порівнянні з нікелевими, що вказує на електрокаталітичну активність цих сплавів при електросинтезі водню.

При використанні цинкового аноду проявляється ефект деполаризації анодної реакції, що супроводжується анодним розчиненням цинку замість виділення кисню, зміщенням анодного потенціалу на 1 – 1,2 В у негативну область, що дозволяє суттєво зменшити напругу на електролізері.

Список літератури

1. Козин Л. Ф. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы / Л. В. Козин, С. В. Волков. – К.: Наукова думка, 2006. – 772 с.
2. Байрачний Б. І. Перспективи використання сонячних батарей у водневій енергетиці для автономного забезпечення тепловою енергією / [Б. І. Байрачний, Г. Г. Тульський, Ю. А. Желавська та інші] // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 1. – С. 11 – 14.
3. Тульская А. Г. Выбор материала анода при электролизе растворов сульфатов с деполаризацией SO₂ / [А. Г. Тульская, Б. И. Байрачный, И. В. Сенкевич, С. Г. Желавский] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 27. – С. 102 – 106.

4. Коваленко Ю. И. Электродные процессы на каталитических сплавах – железа с никелем, кобальтом, ванадием и титана с никелем / [Ю. И. Коваленко, Б. И. Байрачный, Е. Б. Мишина, А. Г. Тульская] // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4. – С. 44 – 46.
5. Коваленко Ю. И. Электрокаталитические свойства сплавов железа / Ю. И. Коваленко, Е. В. Воронина, Б. И. Байрачный // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 32. – С. 170 – 174.
6. Антропов Л. І. Теоретична електрохімія: підручник / Л. І. Антропов. – К.: Либідь, 1993. – 544 С.
7. Байрачний В. І. Перенапряга виділення кисню з лужних розчинів при високій густині струму / Б. І. Байрачний, А. Г. Тульська, А. А. Міхно // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 47. – С. 153 – 158.

References (transliterated)

1. Kozin L. F., Volkov S. V. *Sovremennaja jenergetika i jekologija. Problemy i perspektivy* [Modern energy and ecology. Problems and prospects]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2006. – 772 p.
2. Bajrachnyy B. I., Tul's'kyj H. H., Zhelav's'ka Yu. A., Bajrachnyy V. B., Oliynyk O. A. *Perspektivy vykorystannya sonyachnykh batarey u vodnevij enerhetyci dlya lavtonomnoho zabezpechenya teplovoju enerhiyeyu* [Prospects for the use of solar batteries in hydrogen energy for autonomous heat supply]. *Vidnovlyuvana enerhetyka*, 2015, No 1, pp. 11 – 14.
3. Tul's'kaja A. G., Bajrachnyj B. I., Senkevich I. V., Zhelavskij S. G. *Vybor materiala anoda pri jelektrolize rastvorov sul'fatov s depolarizaciej SO₂*. [Choosing of material in electrolysis of sulphate solutions with SO₂ depolarization]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2014, No 27, pp. 102 – 106.
4. Bajrachnyj B. I., Mishina E. B., Kovalenko Ju. I., Tul's'kaja A. G. *Eelektrodnye processy na kataliticheskikh splavah – zheleza s nikelom, kobal'tom, vanadiem i titana s nikelom* [Electrode processes on catalytic alloys – iron with nickel, cobalt, vanadium and titanium with nickel]. *Voprosy himii i himicheskoi tehnologii*, 2011, No 4, pp. 44 – 46.
5. Kovalenko Ju. I., Voronina E. V., Bajrachnyj B. I. *Eelektrokataliticheskie svoystva splavov zheleza* [Electrocatalytic properties of iron alloys]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2012, No 32, pp. 170 – 174.
6. Antropov L. I. *Teoretychna elektrokimiya: pidruchnyk* [Theoretical electrochemistry: textbook]. Kyiv, Lybid' Publ., 1993, 544 p.
7. Bajrachnyy B. I., Tul's'ka A. H., Mykhno A. A.. *Perenapruha vydilennya kysnyu z luzhnykh rozchyniv pry vysokyykh hustynakh strumu* [Overvoltage oxygen evolution from alkaline solutions at high densities]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2013, No 47, pp. 153 – 158.

Надійшла (received) 30.11.16

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження впливу природи електродного матеріалу на параметри електросинтезу водню / Б. І. Байрачний, Ю. А. Желавська, О. В. Вороніна, Г. А. Ковальова, Н. О. Руденко // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 35 (1207). – С. 64 – 69. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

Исследование влияния природы электродного материала на параметры электролиза водорода / Б. И. Байрачный, Ю. А. Желавская, Е. В. Воронина, А. А. Ковалева, Н. А. Руденко // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – С. 65 – 69. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

Study of the influence of electrode material nature on the parameters of the hydrogen electrosynthesis / B. I. Bairachnyi, Y. A. Zhelavska, E. V. Voronina, G. A. Kovaleva, N. A. Rudenko // Bulletin of NTU "KhPI". – Series: Chemistry, chemistry technology and ecology. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2016. – No. 35 (1207). – P. 65 – 69. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Байрачний Борис Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри Технічної електрохімії; тел.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.

Байрачный Борис Иванович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковских политехнический институт», профессор кафедры Технической электрохимии, тел.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.

Bairachnyi Boris Ivanovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Technical electrochemistry, tel.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.

Желавська Юлія Анатоліївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри Технічної електрохімії; тел.: (057) 707-66-61, e-mail: bb-i@ukr.net.

Желавская Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковских политехнический институт», научный сотрудник кафедры Технической электрохимии, тел.: (057) 707-66-61 e-mail: bb-i@ukr.net.

Zhelavska Yulia Anatolyivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", scientific researcher at the Department of Technical electrochemistry; tel.: (057) 707-66-61, e-mail: bb-i@ukr.net.

Вороніна Олена Володимирівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (057) 707-66-61; e-mail: bb-i@ukr.net.

Воронина Елена Владимировна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (057) 707-66-61; e-mail: bb-i@ukr.net.

Voronina Olena Volodymyrivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; tel.: (057) 707-66-61, e-mail: bb-i@ukr.net.

Ковальова Ганна Андріївна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (057) 707-66-61; e-mail: bb-i@ukr.net.

Ковалева Анна Андреевна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (057) 707-66-61; e-mail: bb-i@ukr.net.

Kovaleva Ganna Andriyivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; tel.: (057) 707-66-61, e-mail: bb-i@ukr.net.

Руденко Наталія Олександрівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.

Руденко Наталья Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.

Rudenko Nataliya Oleksandrivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (057) 707-63-95, e-mail: bb-i@ukr.net.