

Н. О. РУДЕНКО, Б. І. БАЙРАЧНИЙ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДНОЛУЖНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРРОЗИОННОГО ТА АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ АЛЮМИНИЮ

В роботі представлені особливості синтезу водню, що виділяється в результаті розчинення сплаву алюмінію АМг. Для більш повного визначення технологічних характеристик синтезу водню були проведені дослідження об'ємів водню, що виділяється в реакторі в результаті розчинення алюмінієвого сплаву АМг. Встановлений механізм розчинення сплаву з урахуванням впливу домішок в сплаві на процес анодного розчинення. Визначені умови прискорення анодного розчинення сплаву АМг в присутності іонів хлору за умов дії «негативного диференц ефекту». Розчинення сплаву АМг в лужно-хлоридному розчині має електрохімічну природу в основі якої реалізується електрохімічний механізм відновлення водню з послідовним процесом його дифузії в газову фазу. Хлоридні іони прискорюють активне розчинення алюмінію при густинах струму до 5 А/дм² замість 3 А/дм² при кімнатних температурах та шорсткості поверхні 3-5 класу (≈5 мкм). Найбільший вплив на швидкість розчинення сплаву має концентрація NaOH, температура розчинення та клас чистоти поверхні. Головним технологічним показником удосконалення електросинтезу водню є використання анодної деполізації алюмінію, його негативних значень і як наслідок виділення водню на обох електродах. Ефект деполізації досягається шляхом розчинення сплаву алюмінію замість реакції виділення кисню на аноді. Напруга на електролізері при цьому в 2 рази нижче в порівнянні з промисловим воднолужним електролізом. Це дає можливість економити до 50 % електроенергії. Відсутність виділення кисню робить даний процес більш безпечним.

Ключові слова: водень; деполізація; сплав алюмінію; напруга електролізу; синтез.

Н. О. РУДЕНКО, Б. І. БАЙРАЧНИЙ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДНОЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРРОЗИОННОГО И АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

В работе представлены особенности синтеза водорода, выделяющегося в результате растворения сплава алюминия АМг. Для более полного определения технологических характеристик синтеза водорода были проведены исследования объемов водорода, выделяющегося в реакторе в результате растворения алюминиевого сплава АМг. Установлен механизм растворения сплава с учетом влияния примесей в сплаве на процесс анодного растворения. Определены условия ускорения анодного растворения сплава АМг в присутствии ионов хлора в условиях действия «негативного дифференц эффекта». Растворения сплава АМг в щелочно-хлоридном растворе имеет электрохимическую природу в основе которой реализуется электрохимический механизм восстановления водорода с последующим процессом его диффузии в газовую фазу. Хлоридные ионы ускоряют активное растворение алюминия при плотностях тока до 5 А дм² вместо 3 А/дм² при комнатных температурах и шероховатости поверхности 3-5 класса (≈5 мкм). Наибольшее влияние на скорость растворения сплава имеет концентрация NaOH, температура растворения и класс чистоты поверхности. Главным технологическим показателем усовершенствования электросинтеза водорода является использование анодной деполаризации алюминия, его отрицательных значений и как следствие выделения водорода на обоих электродах. Эффект деполаризации достигается путем растворения сплава алюминия вместо реакции выделения кислорода на аноде. Напряжение на электролизере при этом в 2 раза ниже по сравнению с промышленным воднощелочным электролизом. Это дает возможность экономить до 50% электроэнергии. Отсутствие выделения кислорода делает данный процесс более безопасным.

Ключевые слова: водород; деполізація; сплав алюмінію; напруга електроліза; синтез.

N. O. RUDENKO, B. I. BAIRACHNIY

EFFICIENCY OF WATER-BASED ELECTROLYSIS DEPENDING ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CORROSIVE AND ANODE DISSOLUTION OF ALUMINUM

The paper presents the features of the synthesis of hydrogen released as a result of dissolution of the aluminum alloy АМg. To more fully determine the technological characteristics of hydrogen synthesis, we studied the volumes of hydrogen released in the reactor as a result of dissolution of the aluminum alloy АМg. The mechanism of alloy dissolution is established taking into account the effect of impurities in the alloy on the anodic dissolution process. The conditions for accelerating the anodic dissolution of the АМg alloy in the presence of chlorine ions under the conditions of the “negative differential effect” are determined. The dissolution of the АМg alloy in an alkaline chloride solution has an electrochemical nature, which is based on the electrochemical mechanism of hydrogen reduction with the subsequent process of its diffusion into the gas phase. Chloride ions accelerate the active dissolution of aluminum at current densities of 5 A/dm² instead of 3 A/dm² at room temperature and surface roughness of class 3-5 (≈5 μm). The greatest influence on the dissolution rate of the alloy has the concentration of NaOH, the dissolution temperature and the surface

© Н.О. Руденко, Б.І. Байрачний, 2020

cleanliness class. The main technological indicator of the improvement of hydrogen electrosynthesis is the use of anodic depolarization of aluminum, its negative values and, as a consequence, the evolution of hydrogen on both electrodes. The depolarization effect is achieved by dissolving the aluminum alloy instead of the oxygen evolution reaction at the anode. The voltage on the cell is 2 times lower compared to industrial alkaline water electrolysis. This makes it possible to save up to 50% of electricity. The absence of oxygen evolution makes this process safer.

Keywords: hydrogen; depolarization; aluminum alloy; electrolysis voltage; synthesis.

Вступ. В сучасних умовах синтез використання водню для промисловості розвивається швидкими темпами. Промислове виробництво водню являється невід'ємною частиною в галузі водневої енергетики, адже водень майже не зустрічається в природі в чистій формі та повинен вилучатись з інших сполук за допомогою різних хімічних методів.

Недостатня кількість енергоактивних джерел в даний час викликає необхідність пошуку нових, недорогих, доступних, екологічно чистих і безпечних енергоносіїв. В даний час водень розглядається як найбільш ефективний енергоносіє. Перевагою водню є наявність екологічно чистих способів його отримання і можливість прямого перетворення окислення водню в електричну і теплову енергію. Широко обговорюються проблеми накопичення і зберігання водню з метою застосування його в якості палива [1-3].

Для ряду країн (США, Канада, Росія) актуальним є алюмоводнева енергетика. Вміст алюмінію в земній поверхні дуже великий (8,8 % мас.), За поширеністю він займає перше місце серед металів і третє серед хімічних елементів. У нормальних умовах алюміній інертний, так як покритий тонкою оксидною плівкою. Застосування енергоустановок, що використовують як паливо водень, отриманий при взаємодії алюмінію та його сплавів з водою, дозволяє енергетично ефективно вирішити проблему утилізації вторинного алюмінію [4-6].

Висока вартість водню, незадовільні електродні матеріали, створення інфраструктури для його транспортування і розподілу стримують розвиток водневих енергоносіїв. Для зменшення енергетичних та матеріальних витрат запропоновані нові електродні матеріали з сплавів заліза та нікелю, які мають більш високу хімічну стійкість та каталітичну активність при проведенні та тривалій експлуатації електролізерів виробництва водню [7-9].

Використання анодів з сплавів алюмінію в алюмодеполяризаційних циклах (АДЦ) електросинтезу водню шляхом їх електрохімічної корозії та анодного розчинення дозволяє радикально вирішити вказані вище проблеми. Крім того, реалізація електросинтезу водню шляхом розчинення алюмінієвих сплавів в лужних розчинах не потребує складних конструктивних рішень електрохімічних реакторів, пов'язаних з використанням мембранних електролізерів тому, що при ви-

користанні АДЦ відсутні розділові пристрої електролізерів, а водень виділяється на аноді і катоді електрохімічного генератора. Конструктивні особливості генераторів АДЦ та синтез тепла з водню суттєво змінює й спрощує технологію його отримання і реалізації в технологічних процесах та виробництвах невеликої потужності. Водень при спаленні утворює тільки воду в системах виробництва теплової енергії [10-12].

Метою даної роботи є дослідження впливу основних технологічних параметрів на електрохімічне отримання водню, зокрема концентрації компонентів, природи електроліту, температури в досліджуваних розчинах, складу та стану поверхні сплаву алюмінію.

Методи досліджень. Для досліджень використовували лужно-хлоридний розчин. Електроліти готували з NaOH та NaCl. Реактиви використані марки ЧДА, а для промислово-дослідницьких випробувань марки «ч». В табл.1 наведено електродні матеріали та електроліти, які були використані в досліді.

Поляризаційні залежності отримували за допомогою потенціостату П 45-Х з подачею даних на комп'ютер. В якості катодних матеріалів використовувались вуглецеві сталі Сталь 20-Ni, Сталь 20-Ni-V, 12X1МФ. З цих матеріалів виготовляли електроди у вигляді пластин або циліндричних кілець розмірами від 2–5 до 5–6 см, поверхнею від 10 до 60 см². Склад основних компонентів та домішок цих матеріалів наведено в табл.2. Анодні матеріали в свою чергу були використані зі сплаву алюмінію АМг, склад якого також приведений в табл. 2. Це найбільш доступний деформаційний сплав марки АМг. Його використовували у вигляді пластин шорсткістю ∇ 3 – 5 класу, з розмірами поверхневого рельєфу 5 – 3 мкм. Ці сплави використовують в машинобудуванні, побуті та будівельній індустрії.

Вимірювання електрорушійних сил та потенціалів в лужних електролітах проводили із застосуванням хлорид срібного та ніобій оксидного електродів, порівняння за допомогою високоомного цифрового вольтметра. Значення потенціалів перераховували на нормальну водневу шкалу. Електроліз проводили в гальваностатичному режимі, використовуючи джерело живлення типу Power Supply 15V-15A.

Результати експериментів та їх обговорення. Для більш повного визначення технологічних характеристик проведені дослідження об'ємів водню, що

виділяється в реакторі в результаті розчинення алюмінієвого сплаву АМг табл.3. Для визначення практичних об'ємів водню процес розчинення сплаву проводили в електролітах $2,5 \div 5$ моль/дм³ NaOH та NaCl $0,017 \div 0,17$ моль/дм³.

При температурах до 25 °С на електродах поверхнею 23 см² за 12,57 хв виділилося 42 см³ водню при розчиненні 0,035 г сплаву. За 1 хв відповідно об'єм водню має величину 3,36 см³. Теоретичні розрахунки об'єму водню, який виділяється за реакцією взаємодії алюмінію з NaOH свідчать, що при розчиненні 1г Al виділяється 1240 см³ H₂, а 0,035 г відповідно 43,5 см³ H₂. Враховуючи вплив домішок в реальному сплаві (АМг) на розчинення, практичний коефіцієнт розчинення алюмінію складає $K = 42/43,5 \cdot 100 \% = 96,5 \%$ Але він в дійсності зменшується за рахунок витрат водню від нещільної герметизації та блокування по-

верхні електрода нерозчинними сполуками реакцій їх взаємодії з NaOH.

Найбільший вплив на реакцію анодного розчинення мають густина струму та температура. На рис. 1 показані залежності напруги електролізу від густини струму в розчині NaOH 2,5 моль/дм³ NaCl 0,017 моль/дм³ при температурі (20-25) °С. Ці залежності відтворюють дві електродні реакції – перша це при високій густині струму напруга на електролізері підвищується від величин $0,5 \div 0,6$ до 1,5 В така густина струму є критичною для проведення електролізу, а друга це менші густини струму (рис. 1, кр. 2, 3, 4) які дозволяють проводити електроліз в електроліті без пасивації поляризованого аноду. Аналогічні залежності зміни напруги електролізу від густини струму показані на (рис.2), де крива 1 є критичною, а криві 2, 3, 4 стаціонарними Уст для заданого режиму електролізу.

Таблиця 1 – Електродні матеріали та електроліти

№	Склад електроліту	Концентрація, С г/дм ³	рН	Матеріали		Використання
				катодні	анодні	
1	NaOH	100÷200	□16	Сталь 20-Ni, Сталь 20-Ni-V, 12Х1МФ	АМг, АМц	Мембранний електроліз
2	NaOH NaCl	100÷200 1÷10	15,5	Сталь 20-Ni, Сталь 20-Ni-V, 12Х1МФ	АМг, АМц	Безкисневий електросинтез H ₂

Таблиця 2 – Склад основних компонентів та домішок електродних матеріалів

№	Склад ел-го. матеріалу	Al, %	Домішки, %						
			C	Fe	Si	Mn	Mg	Cu	Ni, Mo, V, Cr
1	АМг	97	–	0,2	0,4	–	3-2	0,15	–
2	Сталь 20	–98	0,05-0,1	–	0,17-0,37	0,35-0,65	–	–	Cr-0,25, Ni-0,25, S/P 0,04/0,035
3	12Х1МФ	–	0,9-1,2	85	0,07-0,34	0,4-0,7	–	–	Cr-12,Mo-0,25-0,35, V -0,15-0,3
4	Сталь 20-Ni	–	–	–	–	–	–	–	Покриття Ni 99,7
5	Сталь 20-Ni-V	–	–	–	–	–	–	–	Покриття Ni 99,7; V- 0,3

Таблиця 3 – Залежність кількості водню від площі електроду

№ з.п.	Поверхня зразка S, см ²	Електроліт	Час розчинення τ хв,	Вага розчиненого ΔР, г	Об'єм отриманого H ₂ см ³	Питомі величини			
						V, см ³ /хв	Uкр., В	jкр, А/дм ²	jп, А/дм ²
1	23	NaOH 2,5М NaCl 0,17М	12,57	0,035	42	3,4	0,461	5	1
2	38,5	NaOH 2,5М NaCl 0,17М	7,72	0,035	42	5,44	0,472	5	1
3	55	NaOH 2,5М NaCl 0,17М	6,12	0,043	45,6	7,45	0,477	5	1

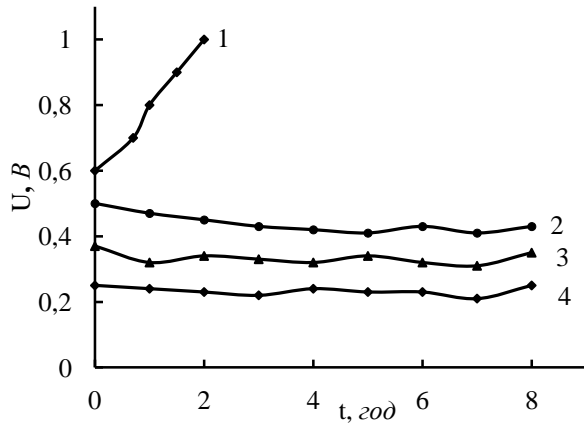


Рисунок 1 – Залежність напруги розчинення сплаву АМг в $\text{NaOH } 2,5 \text{ моль/дм}^3 + \text{NaCl } 0,017 \text{ моль/дм}^3$ від густини струму А/дм^2 : 1-5; 2-4; 3-3; 4-2

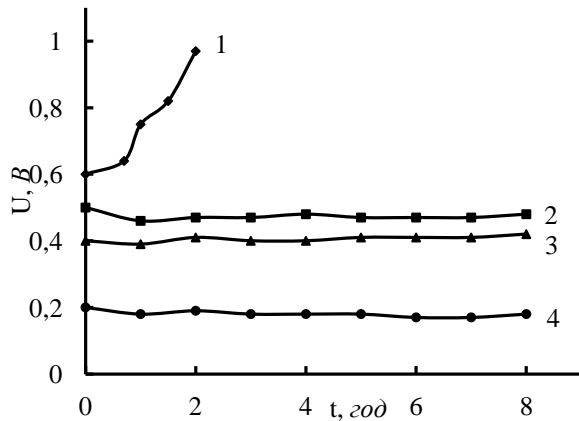


Рисунок 2 – Залежність напруги розчинення сплаву АМг в $\text{NaOH } 5 \text{ моль/дм}^3 + \text{NaCl } 0,17 \text{ моль/дм}^3$ від густини струму А/дм^2 : 1-7; 2-6; 3-5; 4-4

Для більш достовірного вивчення залежності виділення водню при розчиненні сплаву АМг в розчині $\text{NaOH } 2,5 \text{ моль/дм}^3 + \text{NaCl } 0,17 \text{ моль/дм}^3$ отримані залежності напруги на електролізері від кількості електрики або ємності які показані на (рис.3 та 4). З (рис.3) видно, що електроліз густиною струму 1 А/дм^2 забезпечує отримання $84 \text{ см}^3 \text{ H}_2$ при витратах $0,2 \text{ А}\cdot\text{год}$. Напруга електролізу при такій густині струму складає $0,05 - 0,1 \text{ В}$ при збільшенні густини струму до 2 А/дм^2 ємність $0,3 \text{ А}\cdot\text{год}$ забезпечує отримання $126 \text{ см}^3 \text{ H}_2$, при цьому напруга електролізу на початку має величину $0,3 \text{ В}$ і поступово зменшується до $0,15 \text{ В}$. Збільшення напруги електролізу при підвищенні густини струму в 2 рази викликано зміною поверхні аноду.

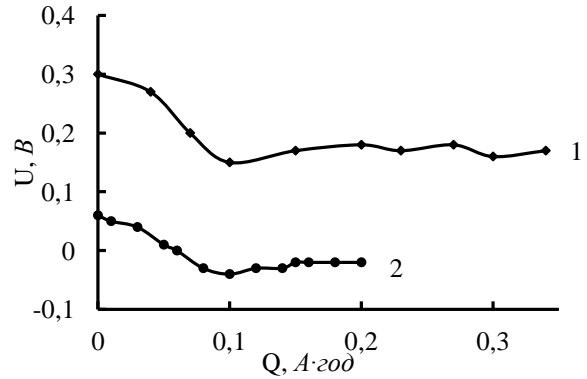


Рисунок 3 – Залежність напруги від отриманого водню (ϵ стала 42 см^3) та кількості електрики, від густини струму А/дм^2 : 1-2;2-1.

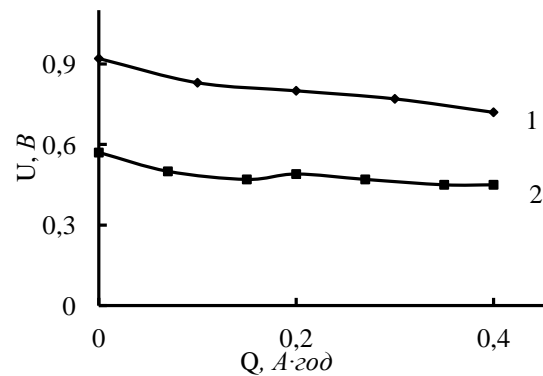


Рисунок 4 – Залежність напруги від отриманого водню (ϵ стала 42 см^3) та кількості електрики, від густини струму А/дм^2 : 1-6;2-4

Причиною такого збільшення може бути зміна рельєфу поверхні та утворення продуктів реакції розчинення домішок сплаву. Слід відзначити, що в процесі розчинення напруга електролізу мало змінюється і розчинення протікає стабільно. При подальшому підвищенні густини струму до $4-6 \text{ А/дм}^2$ напруга на електролізері збільшується в три рази в порівнянні з 2 А/дм^2 . Алюмінієвий анод інтенсивно розчинюється і на електроді виділяється $168-262 \text{ см}^3 \text{ H}_2$. При збільшенні ємності, напруга поступово зменшується від $0,9$ до $0,7 \text{ В}$. Така залежність показує, що при розчиненні анод не переходить в пасивний стан, розчинення протікає стабільно, а такий режим забезпечує виділення водню при температурах електролізу ($20-25$) $^\circ\text{C}$ і густинах струму $4-6 \text{ А/дм}^2$. Приведені залежності мають прикладне значення, яке вказує на можливість тривалого електролізу та синтезу водню на алюмінієвих анодах.

Головними технологічними характеристиками безкисневого електросинтезу водню є заміна потенціалів алюмінієвих анодів під час електролізу, напруга на електролізері, величина якої зменшується на 1 – 1,3 В в порівнянні зі звичайним електролізом, на виділення заданого питомого об'єму водню по відношенню до поверхні аноду, її шорсткості, концентрації компонентів електроліту, температури, густини струму та швидкості його зміни в електрохімічному генераторі. Концентрація NaOH змінювалась від 1 до 5 моль/дм³, але головним чином використовувалась 1 моль/дм³.

Корозійна поведінка та анодне розчинення сплавів алюмінію в лужних розчинах з домішками активаторів має велике значення в теоретичних дослідженнях кінетичних характеристик та їх використанні в електрохімічному отриманні водню.

На основі експериментальних даних зміни потенціалів алюмінієвих сплавів в лужних розчинах визначені густини струму, при яких анодне розчинення сплаву АМг протікає при негативних потенціалах і супроводжується переходом алюмінію в розчин і відновленням водню за механізмом водневої деполаризації. За допомогою цих даних було визначено моделі процесів розчинення анодів та виділення водню в залежності від природи сплаву, концентрації електроліту, температури.

Висновки.

1. Досліджено вплив кінетичних параметрів розчинення сплаву алюмінію марки АМг на швидкість виділення водню при заданих величинах температур, терміну розчинення та стану поверхні сплаву.

2. Визначені основні параметри розчинення сплаву з отриманням безкисневого виділення водню за рахунок алюмодеполяризуючого циклу.

3. Встановлені основні закономірності зміни швидкості розчинення сплаву АМг та утворення водню в умовах його взаємодії з лужно-хлоридними розчинами та вплив на цей процес стану поверхні і продуктів реакцій.

Список літератури

1. Piyukhina A. V., Piyukhin A. S., Shkolnikov E. I. Hydrogen generation from water by means of activated aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37, pp. 16382–16387.
2. Anthony Newell, Ravindranathan Thampi K. Novel amorphous aluminum hydroxide catalysts for aluminum–water reactions to produce H₂ in demand. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42, pp. 23446–23454.
3. Козин Л. Ф., Волков С. В. Современная энергетика и экология: проблемы и перспективы. Київ: Наукова думка, 2006. 773 с.

4. Шейдлин А. Е., Жук А. З. Концепция алюмоводородной энергетики. *Российский химический журнал*. 2006. Т. 1, № 6. С. 105–108.
5. Лукашук Т. С., Ларин В. И. Коррозионное поведение алюминия и его сплавов в растворах гидроксида натрия. *Вісник Харківського національного університету*. Сер.: Хімія. 2009. Вип. 17(40), № 870. С. 253–258.
6. Григорьева И. О., Дресвянников А. Ф., Масник О. Ю., Закиров Р. А. Электрохимическое поведение алюминия в растворах гидроксида аммония и гидроксида натрия. *Вестник Казанского технологического университета*. Сер.: Химия. 2011. № 6. С. 72–78.
7. Korosh Mahmoodi, Babak Alinejad. Enhancement of hydrogen generation rate in reaction of aluminum with water. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010. Vol. 35, pp. 5227–5232.
8. Porciunkula C. B., Marcilio N. R., Tessaro I. C., Gerchmann M. Production of hydrogen in the reaction between aluminum and water in the presence of NaOH and KOH. *Brasilian Journal of Chemical Engineering*. 2012. Vol. 29, pp. 337–348.
9. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М., Иванов С. В. Загальна та неорганічна хімія: у 2-х ч. Ч. 2: підручник для студ. ВНЗ. Київ: Педагогічна преса, 2000. 783 с.
10. ДСТУ 2839–94. Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 1996. 55 с.
11. Xiani Huang, Tong Gao, Xiaole Pan, Dong Wei, Chunju Lv, Laishun Qin, Yuexiang Huang. Feasibility of hydrogen generation from the reaction between aluminum and water for fuel cell applications. *Journal of Power Sources*. 2013. Vol. 229, pp. 133–140.
12. Sheikhabahaei V., Baniyadi E., Natere G. F. Experimental investigation of solar assisted hydrogen production from water and aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43, pp. 9181–9191.

References (transliterated)

1. Piyukhina A. V., Piyukhin A. S., Shkolnikov E. I. Hydrogen generation from water by means of activated aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37, pp. 16382–16387.
2. Anthony Newell, Ravindranathan Thampi K. Novel amorphous aluminum hydroxide catalysts for aluminum–water reactions to produce H₂ in demand. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42, pp. 23446–23454.
3. Kozin L. F., Volkov S. V. *Sovremennaya ehnergetika i ehkologiya: problemy i perspektivy* [Modern energy and ecology: problems and prospects]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2006. 773 p.
4. Shejdlin A. E., Zhuk A. Z. *Kontseptsiya alyumovodorodnoj ehnergetiki* [The concept of aluminum hydrogen energy]. *Rossijskij khimicheskij zhurnal*. 2006, vol. 1, no. 6, pp. 105–108.
5. Lukashhuk T. S., Larin V. I. *Korrozionnoe povedenie alyuminiya i ego splavov v rastvorakh gidroksida natriya* [Corrosion behavior of aluminum and its alloys in sodium hydroxide solutions]. *Visnik Kharkivskogo natsional'nogo universitetu*. Seriya: Khimiya. 2009, vol. 17(40), no. 870, pp. 253–258.
6. Grigor'eva I. O., Dresvyannikov A. F., Masnik O. Yu., Zakirov R. A. *Ehlektrokhimicheskoe povedenie alyuminiya v rastvorakh gidroksida ammoniya i gidroksida natriya* [Electrochemical behavior of aluminum in ammonium hydroxide and sodium hydroxide solutions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. Seriya: Khimiya. 2011, no. 6, pp. 72–78.

7. Korosh Mahmoodi, Babak Alinejad. Enhancement of hydrogen generation rate in reaction of aluminum with water. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010. Vol. 35, pp. 5227–5232.
8. Porciunkula C. B., Marcilio N. R., Tessaro I. C., Gerchmann M. Production of hydrogen in the reaction between aluminum and water in the presence of NaOH and KOH. *Brasilian Journal of Chemical Engineering*. 2012. Vol. 29, pp. 337–348.
9. DSTU 2839–94. Splavi alyuminievi livarni. Tekhnichni umovi [State Standard 2893–94 Aluminum casting alloys. Specifications]. Kyiv: State Standard of Ukraine Publ., 1996. 55 p.
10. Xiani Huang, Tong Gao, Xiaole Pan, Dong Wei, Chunju Lv, Laishun Qin, Yuexiang Huang. Feasibility of hydrogen generation from the reaction between aluminum and water for fuel cell applications. *Journal of Power Sources*. 2013. Vol. 229, pp. 133–140.
11. Stepanenko O. M., Rejter L. G., Ledovs'kikh V. M., Ivanov S. V. Zagal'na ta neorganichna khimiya: u 2-kh ch. CH. 2: pidruchnik dlya stud. VNZ [General and inorganic chemistry: in 2 p. Part 2: textbook for stud. High schools]. Kyiv, Pedagogichna presa Publ., 2000. 783 p.
12. Sheikhbahaei V., Baniyadi E., Nateree G. F. Experimental investigation of solar assisted hydrogen production from water and aluminum. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43, pp. 9181–9191.

Надійшла (received) 05.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Руденко Наталія Олександрівна (Руденко Наталия Александровна, Rudenko Nataliia Oleksandrivna) – аспірант кафедри технічної електрохімії Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, тел.: +38(050)92-08-528; e-mail: rudenko231@ukr.net

Байрачний Борис Іванович (Байрачный Борис Иванович, Bairachniy Boris Ivanovych) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технічної електрохімії Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, тел.: (057) 707-63-95, e-mail: bbi@ukr.net.