

М. Д. САХНЕНКО, Ю. А. ЖЕЛАВСЬКА, С. І. ЗЮБАНОВА, В. О. ПРОСКУРИНА
ЕЛЕКТРОКАТАЛИТИЧНІ ПОКРИТТЯ КОБАЛЬТ-ВАНАДІЙ ДЛЯ РЕАКЦІЇ ВИДІЛЕННЯ
ВОДНЮ

Для сучасної водневої енергетики актуальним є дослідження існуючих та отримання нових енергозберігаючих матеріалів, використання яких дозволить знизити собівартість одержуваного водню. Такі властивості можна прогнозувати для матеріалів, що містять у своєму складі ванадій, молибден і вольфрам та мають каталітичну активність у реакції відновлення іонів водню на катоді. Дані метали з водних розчинів можуть співосаджуватись з металами-каталізаторами підгрупи заліза через утворення кластерних інтерметалевих сполук зі зв'язком Me-V, адсорбованих на поверхні катода. В роботі досліджено індуковане співосадження кобальту з ванадієм з комплексного цитратного електроліту. В результаті проведених досліджень встановлено, що якісне покриття сплавом кобальт-ванадій, світло-сірого кольору, рівномірне, мікрокристалічне можна осадити з цитратного електроліту з вмістом 20 г/дм³ ванадію (в перерахунку на метал) у вигляді цитратного комплексу. Процес проводили при густині струму 5–10 А/дм², температурі 30–40°C, рН = 2,8–3,2. За результати рентгено-флуоресцентного аналізу, вміст ванадію в покритті становить 0,37–0,53 %, а максимальний вміст в покритті відзначається при густині струму 8–9 А/дм². Дослідження каталітичної активності отриманого покриття сплавом кобальт-ванадій в реакції відновлення іонів водню на катоді проводили в розчині 2,5М NaOH + 0,02М NaCl. При збільшенні вмісту ванадію в покритті від 0,37 до 0,53 % перенапряга виділення водню знижується на 0,5 В. Встановлено, що перенапряга реакції виділення іонів водню на катодах зі Ст.20 з покриттям Co-V на 0,08–0,1 В нижче, а величина струму обміну вище, ніж на електродах зі сталі Ст.20, що використовуються в промисловому воднолужному електролізі. Це свідчить про електрокаталітичну активність досліджуваних матеріалів в реакції відновлення іонів водню. Електроди з отриманим покриттям сплавом кобальт-ванадій можливо рекомендувати як катодний матеріал для електрохімічного отримання водню. Зниження перенапряга виділення водню дозволяє зменшити енерговитрати на проведення даного процесу на 15–20 %.

Ключові слова: ванадійвмістні матеріали, електрокаталітична активність, індуковане співосадження, покриття Co-V, перенапряга, економія.

М Д САХНЕНКО, Ю А ЖЕЛАВСКАЯ, С. И. ЗЮБАНОВА, В. О. ПРОСКУРИНА,
ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ КОБАЛЬТ-ВАНАДИЙ ДЛЯ РЕАКЦИИ
ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Для современной водородной энергетики актуальным является исследование имеющихся и получение новых энергосберегающих материалов, использование которых может снизить себестоимость получаемого водорода. Такие свойства возможно прогнозировать для материалов, содержащих в своём составе ванадий, молибден и вольфрам и обладающих каталитической активностью в реакции восстановления ионов водорода на катоде. Данные металлы из водных растворов могут соосаждаться с металлами-катализаторами подгруппы железа через образование кластерных интерметаллических соединений. В работе исследовано индуцированное соосаждение кобальта с ванадием из комплексного электролита. В результате проведенных исследований установлено, что качественное покрытие сплавом кобальт-ванадий, светло-серого цвета, равномерное, микрокристаллическое возможно осадить из цитратного электролита с содержанием в нем 20 г/дм³ ванадия (в пересчете на металл) в виде цитратного комплекса. Процесс проводили при плотности тока 5–10 А/дм², температуре 30–40°C, рН = 2,8–3,2. Содержание ванадия в покрытии 0,37–0,53 %, а максимальное содержание в покрытии отмечается при плотностях тока 8–9 А/дм². Исследование каталитической активности полученного покрытия сплавом кобальт-ванадий в реакции восстановления ионов водорода на катоде проводили в растворе 2,5М NaOH + 0,02М NaCl. При увеличении содержания ванадия в покрытии от 0,37 до 0,53 % перенапряжение выделения водорода снижается на 0,5 В. Установлено, что перенапряжение реакции выделения ионов водорода на катодах из Ст.20 с покрытием Co-V на 0,08–0,1 В ниже, а величина тока обмена выше, чем на электродах из Ст.20, использующимися в промышленном воднощелочном электролизе. Это свидетельствует о электрокаталитической активности исследуемых материалов в реакции выделения водорода. Электроды с полученным покрытием сплавом кобальт-ванадий можно рекомендовать в качестве катодного материала для электрохимического получения водорода. Снижение величины перенапряжения выделения водорода позволяет снизить энергозатраты на проведение данного процесса на 15–20 %.

Ключевые слова: ванадийсодержащие материалы, электрокаталитическая активность, индуцированное соосаждение, покрытие Co-V, перенапряжение, экономия.

M D SAKHNENKO, YU .A ZHELAVSKA, S. I. ZYUBANOVA, V. O. PROSCURINA
ELECTROCATALYTIC COBALT-VANADIUM COATINGS FOR THE HYDROGEN EVOLUTION
REACTION

The study of existing energy-saving materials and obtaining the new ones for reducing the cost of the hydrogen production, is relevant for modern hydrogen energy industry. Such properties can be predicted for materials containing vanadium, molybdenum, tungsten and exhibiting catalytic activity for the hydrogen evolution reaction. Aforementioned metals can be co-deposited from aqueous solutions with iron subgroup metal-catalysts through the formation of cluster intermetallic compounds with Me-V bond adsorbed on the cathode surface. The induced co-deposition of cobalt with vanadium from the complex citrate electrolyte was investigated in the current work. As a result of the research, it was found that the uniform microcrystalline light-gray high-quality cobalt-vanadium alloy coating is possible to precipitate from a citrate electrolyte with content of 20 g/dm³

© М. Д. Сахненко, Ю. А. Желавська, С. І. Зюбанова, В. О. Проскуріна, 2021

vanadium (in terms of metal) as a citrate complex. The process was carried out at a current density of 5–10 A/dm², at a temperature of 30–40°C, pH = 2,8–3,2. The content of vanadium in the coating is 0,37–0,53 % by weight. The maximum vanadium content in the coating is observed at current densities 8–9 A/dm². The catalytic activity study of the coating that was obtained using cobalt-vanadium alloy in the reaction of hydrogen reduction at the cathode was performed in solution of 2,5M NaOH + 0,02 M NaCl. By increasing the vanadium content in the coating from 0,37 to 0,53% the hydrogen evolution overvoltage is reduced by 0,5 V. It was found that the overvoltage of the hydrogen ion evolution reaction on cathodes from steel 20 with cobalt-vanadium coating is 0,08–0,1 V lower, and the exchange current is higher than on electrodes made of steel 20, which are used in industrial water-alkali electrolysis. This indicates the electrocatalytic activity of the investigated materials for the hydrogen evolution reaction. Electrodes with coating, obtained by cobalt-vanadium alloy can be recommended as a cathode material for the hydrogen electrochemical production. Hydrogen evolution overvoltage reduction also decrease the energy consumption for this process by 15–20 %.

Keywords: vanadium-containing materials, electrocatalytic activity, induced co-deposition, Co-V coating, overpotential, economy.

Вступ. При електрохімічному синтезі водню для потреб енергетики актуальним є отримання нових електродних матеріалів [1–3], використання яких дозволить знизити енерговитрати, та собівартість одержуваного водню.

Використання катодних матеріалів, що мають каталітичну активність в реакції електрохімічного відновлення іонів водню, дозволить реалізувати даний процес з меншою перенапругою, в порівнянні з існуючим, на електродах, що використовуються в сучасному водно-лужному електролізі. Такі матеріали також повинні мати тривалий термін експлуатації, хімічну стійкість, стабільний стан поверхні і низьку собівартість. Аналіз літературних даних щодо каталітичної активності матеріалів, які містять молібден, вольфрам і ванадій, в реакції відновлення іонів водню (for the hydrogen evolution reaction (HER)) дозволяє вважати перспективними електродними матеріалами покриття сплавами металів підгрупи заліза з даними металами [4–6].

В роботі було досліджено каталітичну активність покриттів Co–V в реакції катодного відновлення іонів водню.

Методика експерименту. Для дослідження каталітичної активності покриття Co–V в реакції відновлення іонів водню на катоді використовували пластини зі Ст.20 з попередньо електрохімічно нанесеним сплавом Co–V. Робоча площа електродів становила 1 см². Дослідження проводили в лужно-хлоридному електроліті складу 2,5M NaOH+0,02M NaCl при температурі 20–25 °C.

Отримання покриттів сплавом Co–V здійснювали в цитратному електроліті, який містить: 120 г/дм³ Na₃C₆H₅O₇·2H₂O, 60 г/дм³ CoSO₄·7H₂O та ванадій у кількості 20 г/дм³ (в перерахунку на метал) у вигляді цитратного комплексу. Електросадження проводили при температурі 35–40°C та pH = 2,8–3,2. Товщина покриття становила 9–12 мкм. Перед нанесенням покриття поверхню сталевих електродів шліфували, знежирювали і активували в розчині фосфатної кислоти при температурі 80–120°C протягом 2–5 хв. Вміст ванадію в покритті визначали рентгенофлю-

оресцентним методом з використанням портативного спектрометра «СПРУТ».

Поляризаційні залежності катодного виділення водню отримували, використовуючи потенціостат Versastat 4. Допоміжним електродом служила платина. Потенціали вимірювали відносно насиченого хлорідсрібного електрода. Значення потенціалів електродів були перераховані на водневу шкалу.

Електроліз в гальваностатичному режимі проводили, використовуючи джерело живлення Б5-47

Результати та їх обговорення Виділення таких металів як вольфрам, молібден та ванадій електролізом з їх водних розчинів неможливо через високе негативне значення потенціалу даних металів. За відсутності металу-катализатора комплексні іони цих металів відновлюються тільки до іонів проміжної валентності. Однак можливим є осадження сплавів вольфраму, молібдену і ванадію з металами підгрупи заліза. Цей процес відбувається внаслідок індукованого співосадження [7,8] через утворення проміжних кластерних інтерметалевих сполук зі зв'язком Me–V, адсорбованих на поверхні катода.

Всі тугоплавкі метали, що знаходяться в водному розчині в формі аніонів зі ступенями окислення від +4 до +6 (вольфрам, ванадій, титан, молібден тощо), здатні утворювати кластерні сполуки з зв'язком метал-метал, в тому числі, з кратним зв'язком [9].

У табл.1 представлено результати рентгенофлуоресцентного аналізу вмісту ванадію в покритті кобальт-ванадій, осаджених при густинах струму $j_k = 6–10$ А/дм²

Експериментально встановлено, що за густин струму до 5 А/дм² покриття не утворюється, максимальний вміст ванадію в покритті спостерігається при $j_k = 8–9$ А/дм² (табл. 1).

З цитратного електроліту при густині струму 8 А/дм² було отримано світло-сіре рівномірне дрібнокристалічне покриття сплавом кобальт-ванадій (рис. 2).

Рівномірне осадження покриття Co–V пов'язано з утворенням кристалів на включеннях ванадію, які не спостерігаються для металевих сплавів іншого складу.

Незважаючи на незначний вміст ванадію в сплаві (до 0,53 %), він суттєво впливає на структуру покриття, обумовлюючи його більшу дрібнокристалічність.

Таблиця 1 – Залежність вмісту ванадію в покритті Co-V від густини струму

Густина струму, А/дм ²	Вміст ванадію, %	Похибка вимірювання, %
6	0,390	±0,06–0,07
7	0,407	
8	0,525	
9	0,489	
10	0,374	

Електрокаталітичні властивості отриманих покриттів Co-V в реакції відновлення іонів водню визначали в розчині 2,5M NaOH + 0,02M NaCl [11,12].

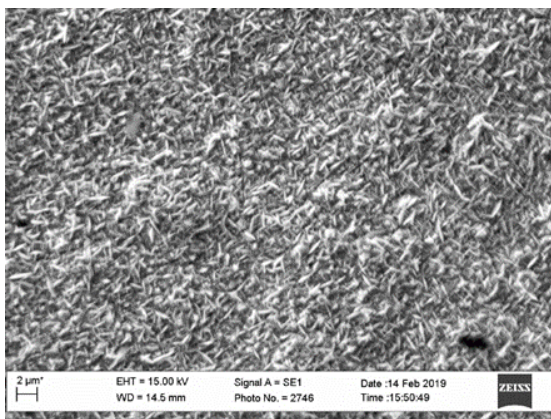


Рисунок 1 – Морфологія поверхні покриття Co-V (x5000)

Катодні поляризаційні залежності виділення водню на електродах зі Ст.20, та Ст.20 з нанесеним електрохімічно покриттям Co-V, показано на рис 2. За величиною електродної поляризації досліджені матеріали можна надати у вигляді ранжованого ряду: покриття Co-V (0,53 %) – покриття Co-V (0,49 %) – покриття Co-V (0,37 %) – Ст.20.

На електроді зі Ст.20 з покриттям Co-V (0,49–0,53 %) виділення водню починається при потенціалі -0,95 В (рис. 2., кр. 1,2), на електроді з покриттям Co-V (0,37%) - при потенціалі -0,1 В (рис. 2., кр. 3), що на 0,05–0,11 В менше, ніж на електроді з Ст.20, на якому відновлення іонів водню починається при E = -1,1 В (рис. 2, кр. 4).

Аналіз поляризаційних залежностей, перебудованих в координатах рівняння Тафеля, (рис. 3) дозволив визначити кінетичні параметри реакції відновлення іонів водню для електродів з досліджених матеріалів (табл. 2).

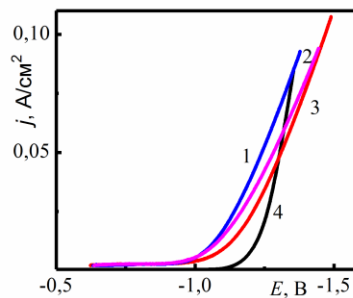


Рисунок 2 – Катодні поляризаційні залежності відновлення іонів водню на електродах:

- 1 – Ст.20 з покриттям Co-V(0,53 %);
- 2 – Ст.20 з покриттям Co-V(0,49 %);
- 3- Ст.20 з покриттям Co-V(0,37 %); 4- Ст.20

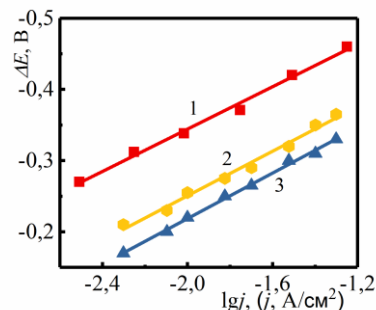


Рисунок 3 – Залежність перенапруги виділення водню від логарифма густини струму для електродів:

- 1 – Ст. 20; 2 – Ст.20 з покриттям Co-V(0,49 %);
- 3 – Ст.20 з покриттям Co-V(0,53 %)

Значення перенапруги виділення іонів водню при $j_k = 0,01 \text{ A/cm}^2$ ($\Delta E_{0,01}$) та $0,05 \text{ A/cm}^2$ ($\Delta E_{0,05}$) для електродів зі Ст.20 з покриттям Co-V нижче, ніж для електрода зі Ст.20 (табл. 2). Зменшення перенапруги виділення водню на електродах з покриттям Co-V пояснюється присутністю ванадію, що має електрокаталітичні властивості.

Таблиця 2 – Кінетичні параметри реакції відновлення іонів водню для електродів з досліджених матеріалів

Матеріал електроду	a, B	b, B	$-lgj_0, \text{ A/cm}^2$	$\Delta E_{0,01}, \text{ B}$	$\Delta E_{0,05}, \text{ B}$	
Ст.20	-0.64	-0.148	4.33	-0.34	-0.46	
Ст.20 з покриттям Co-V (V,%)	0,525	-0,54	-0,160	3,36	-0,22	-0,26
	0,489	-0,56	-0,156	3,61	-0,33	-0,36

Універсальною кінетичною характеристикою процесу вважається густина струму обміну (j_0) в реакції відновлення іонів водню, яка відображає вплив природи електрода на кінетику прямої та

зворотної реакції. На відміну від перенапруги виділення водню, значення j_0 не залежить від густини струму. Тому саме ця величина дозволяє порівнювати каталітичні властивості матеріалів в електродних реакціях та оцінювати їх. Значення j_0 для електродів зі Ст.20 з покриттям Co-V вказує на більш високу активність цих матеріалів в порівнянні зі Ст.20.

При електрохімічному отриманні водню важливим є стабільність значень потенціалів (E) працюючих електродів у часі. У таблиці 3 наведено експериментальні значення потенціалів катодів при проведенні стаціонарного електролізу протягом 10 годин, які свідчать про їх стабільні значення при заданих густинах струму в лужно-хлоридних електролітах.

Таблиця 3 – Значення потенціалів катодів з досліджуваних електродних матеріалів в електроліті 2.5 М NaOH + 0.02 М NaCl

Матеріал електро- ду	Потенціал E, В			
	Густина струму, А/дм ²			
	1	3	5	10
Ст.20	-1.17	-1.23	-1.28	-1.33
Ст.20 з покриттям Co-V(0,53 %)	-1.10	-1.20	-1.24	-1.30

Аналіз хімічних властивостей d-елементів, до яких відносяться ванадій, молібден, залізо, кобальт, нікель, та діаграм Пурбе свідчить, що ці метали в лужному середовищі (рН = 10–16) при температурі 20–25°C виявляють високу хімічну стійкість завдяки оксидній плівці на поверхні.

Висновки.

1. Досліджено особливості електроосадження покриття сплавом кобальт-ванадій з цитратного електроліту. Отримане покриття сплавом Co-V містить 0,37–0,53% ванадію, характеризується дрібнокристалічною структурою і рівномірністю розподілу по поверхні катода.

2. Встановлено, що покриття сплавом кобальт-ванадій володіє електрокаталітичною активністю в реакції катодного виділення водню з лужно-хлоридного електроліту. Перенапруження виділення водню на катоді зі Ст. 20 з покриттям Co-V на 0,08-0,1 В нижче, а значення струму обміну вище, ніж на електроді зі Ст.20. Дані матеріали хімічно стійкі і забезпечують стабільне значення потенціалу електрода при проведенні процесу електролізу.

3. Електроди з Ст.20 з нанесеним покриттям Co-V можуть бути рекомендовані в якості катодів при

електрохімічному отриманні водню з лужних розчинів, що дозволить знизити енерговитрати на проведення даного процесу на 15–20 %.

Список літератури

1. Козин Л. Ф. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – К.: Наукова думка, 2006. – 772 с.
2. Ведь М. В. Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей: монографія / М. В. Ведь, М. Д. Сакхненко – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 272с.
3. Rudenko N. O., Zhelavska Yu. A., Djenuk A. V., Rudneva S. I. Energy-saving electrochem. materials for the electrochemical production of hydrogen. Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXVIII Int. Sci.-Pract. Conf. Part 2 (28–30 October 2020, Kharkov). Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2020, p. 266.
4. Yar-Mukhamedova G., Ved M., Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-circonium coatings for alternative energies // Applied Surface Science. 2017, vol.421, pp. 68–76.
5. Руденко Н. А. Электрохимическое получение никель-ванадиевых покрытий из сульфатных электролитов / Н. А. Руденко, А. М. Финогенов, Ю. А. Желавская, А. И. Пилипенко, Б. И. Байрачный // Экология и промышленность. – 2018. – №3-4. – С.68 – 71
6. Karakurchi A. V., Ved M. V., Sakhnenko N. D., Yermolenko I. Y., Zyubanova S. I., Kolupayeva Z. I. Functional properties of multicomponent galvanic alloys of iron with molybdenum and tungsten // Functional Materials. 2015, vol.22, №2, pp. 181–187.
7. Gamburg Yu. D., Zangari G. Theory and practice of metal electrodeposition. – New York: Springer, 2011. – 378 p
8. Японцева Ю. С., Горобець Ю. О., Мальцева Т. В., Зайченко В. М., Кублановський В. С. Вплив постійного магнітного поля на електроосадження сплавів кобальту з тугоплавкими металами. *Електрохімія сьогодні: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія (21–23 вересня 2021, Київ)*. – Київ: МПБП "Гордон", 2021. –191 с.
9. Popov K. I., Djokic S. S., Nikolic N. D., Jovic V. D. Morphology of electrochemically and chemically deposited metals – New York: Springer, 2016. –368p.
10. Красиков А. В., Красиков В. Л. Механизм электроосаждения сплава никель-вольфрам из пирофосфатного электролита // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2016. – № 36. – С. 12 – 23
11. Rudenko N., Zhelavska Yu., Bairachnyi V. B., Pilipenko A. Using aluminum alloys in the electrochemical hydrogen production // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Vol. 6. – pp.299–304.
12. Манілевіч Ф. Д., Пірський А. В. Куций А. В. Перспективні гідролітичні методи генерування водню для живлення паливних комірок. *Електрохімія сьогодні: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія (21–23 вересня 2021, Київ)*. – Київ: МПБП "Гордон", 2021. –191 с.

References (transliterated)

1. Kozin L. F., Volkov S. V. Sovremennaja jenergetika i jekologija. Problemy i perspektivy – Kiev, Naukova dumka Publ., 2006. – 772 p.
2. Ved M. V., Sakhnenko M. D. Katalitychni ta zaxysni pokryttya splavamy i skladnymy oksydamy: elektroximichnyj syntezy, prognuzuvannya vlastyvostryj: monografiya. – Kharkov, NTU «KhPI», 2010. – 272 p.

3. Rudenko N. O., Zhelavska Yu. A., Djenuk A. V., Rudneva S. I. Energy-saving electrode materials for the electrochemical production of hydrogen. Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXVIII Int. Sci.-Pract. Conf. Part 2 (28–30 October 2020, Kharkov). Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2020, p. 266.
4. Yar-Mukhamedova G, Ved M, Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-circonium coatings for alternative energies // Applied Surface Science. 2017, vol.421, pp. 68–76.
5. Rudenko N. A., Fynogenov A. M., Zhelavskaya Yu. A., Pylypenko A. I., Bajrachnyj B. I. Elektrokhimicheskoe poluchenye nykel-vanadyevykh pokrytyy yz sulfatnykh elektrolitov // Экология и промышленность, 2018. – №3–4. – pp. 68–71.
6. Karakurchi A. V., Ved` M. V., Sakhnenko N. D., Yermolenko I. Y., Zyubanova S. I., Kolupayeva Z. I. Functional properties of multicomponent galvanic alloys of iron with molybdenum and tungsten// Functional Materials. 2015, vol.22, №2, pp. 181– 187.
7. Gamburg Yu. D., Zangari G. Theory and practice of metal electrodeposition. – New York: Springer, 2011. – 378 p.
8. Yaponceva Yu. S., Gorobecz Yu. O., Mal`ceva T. V., Zajchenko V. M., Kublanovskiy V. S. Vplyv postijnogo magnitnogo polya na elektroosazhennya splaviv koba`tu z tugoplavkymy metalamy. Elektrokimiya sгодennya: zdobutky, problemy ta perspektyvy: kolektyvna monografiya (21–23 veresnya 2021, Kyiv). –Kiev: MPBP "Gordon", 2021. –191p.
9. Krasnykov A. V., Krasnykov V. L. Mexanyzm elektroosazhennya splava nykel-volfram yz pyrofosfatnogo elektrolita // Yzvestiya SPbGTU(TU). – 2016. - №36. – s. 12 – 23.
10. Rudenko N, Zhelavska Yu, Bairachnyi V. B, Pilipenko A. Using aluminum alloys in the electrochemical hydrogen production // Materials Today: Proceedings. – 2019.– Vol. 6. – pp.299–304.
11. Sheikhabaev V., Baniyadi E., Natereev G F. Experimental investigation of solar assisted hydrogen production from water and aluminum. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – Vol. 43. – pp. 9181–9191.12.
12. Manilevich F. D., Pirskiy A. V. Kucyj A. V. Perspektivni gidrolitychni metody generuvannya vodnyu dlya zhyvlennya palyvnykh komirok. Elektrokimiya sгодennya: zdobutky, problemy ta perspektyvy: kolektyvna monografiya (21–23 veresnya 2021, Kyiv). –Kiev: MPBP" Gordon", 2021. –191p.

Надійшла (received) 17.09.21

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сахненко Микола Дмитрович (Сахненко Николай Дмитриевич, Sakhnenko Mykola) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії; тел.: (057) 707-63-27, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Желавська Юлія Анатоліївна (Желавская Юлия Анатольевна, Zhelavska Yulia) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри фізичної хімії; тел.: (095) 773-68-50, e-mail: iu-lia@ukr.net.

Зюбанова Світлана Іванівна (Зюбанова Светлана Ивановна, Zyubanova Svitlana) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри фізичної хімії; тел.: (057) 707-63-27, e-mail: Zyubanova@kpi.kharkov.ua.

Проскуріна Валерія Олегівна (Проскурина Валерия Олеговна, Proskurina Valeriia) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії, тел.: (057) 707-63-27, e-mail: Proskurina@kpi.kharkov.ua.