

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА

ПРОГРАМА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**«Водень і паливні комірки в системах
автономного енергозабезпечення»**



Тези за проектами

ГРУДЕНЬ 2020

Київ

Тези за проектами

ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

**«Водень і паливні комірки в системах
автономного енергозабезпечення»**

**Голова наукової ради Програми –
академік НАН України Солонін Ю.М.**

**Голова робочої групи Програми –
чл.-кор. НАН України Стрижак П.Є.**

**Секретар робочої групи Програми –
к.т.н. Єршова О.Г.**

ОТРИМАННЯ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАЛИШКОВИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ФІЛЬТРАТУ, ЩО УТВОРИВСЯ ПІСЛЯ ВОДНЕВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ТВЕРДИХ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ, У СПЕЦІАЛЬНОМУ МОДУЛІ

Говоруха В.М., Гаврилюк О.А., Таширев О.Б.

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143, vira-govorukha@ukr.net

На сьогодні більша частина енергетичних потреб людства базується на використанні викопного карбонвмісного палива, що призводить до швидкого вичерпання його запасів, викидів парникових газів, погіршення екологічної ситуації. Альтернативою є застосування високоенергетичного екологічно чистого палива H_2 [1,2]. Активізація харчових підприємств призводить до зростання об'ємів відходів. Тільки у Європі кількість органічних відходів щороку становить близько 100 млн тон. Вони накопичуються і гниють на звалищах, отруюючи довкілля токсичними газами та фільтратом [2, 3]. Розробка промислових біотехнологій отримання H_2 за утилізації твердих органічних відходів є перспективним напрямком вирішення енергетичної та екологічної проблем. Проте фільтрат, що утворюється при збродженні відходів, є екологічно небезпечним та не має на зараз ефективних методів очищення.

Тому метою роботи була розробка технології очищення фільтрату, що утворився після водневого збродження харчових відходів, за рахунок окиснення розчинних органічних речовин.

За рахунок оптимізації процесу досягнуто ефективне водневе збродження відходів у експериментально-промисловій установці об'ємом 240 л. Так, підтримувались наступні інженерно-технологічні показники, що визначали стабільність функціонування біореактора: рН = 6,0-7,0; редокс-потенціал середовища Eh = -350...-380 мВ; співвідношення твердої фази (відходи) до рідкої (вода) – 1:4; режим масообміну – 1 хв перемішування / 60 хв паузи. Це забезпечило вихід водню $VH_2 = 50$ л/кг відходів, ефективність деструкції відходів $Kd = 85$, час збродження $T = 2,5$ доби.

Утворений фільтрат (жирні кислоти і спирти) піддавався подальшому очищенню. Проведено порівняння ефективності двох способів очищення фільтрату: за рахунок окиснення органічних сполук до CO_2 та H_2O аеробними мікроорганізмами а також за анаеробного метанового збродження сполук фільтрату. Так, аеробне окиснення забезпечувало зниження концентрації органічних сполук у перерахунку на Карбон у 19 разів, з 1071 до 56 мг/л, тоді як метанове збродження – у 10 разів з 1071 до 105 мг/л. За збродження органічних речовин фільтрату вихід метану становив $VCH_4 = 1$ л/дм³ фільтрату. Тривалість процесу складала 115 діб.

Таким чином, показано, що водневе збродження твердих харчових відходів є перспективним для промислового отримання H_2 та деструкції екологічно небезпечних відходів. Отриманий фільтрат може бути очищений двома альтернативними методами (аеробним та анаеробним). Анаеробний метод очищення дозволяє також додатково отримувати газоподібний енергоносіє – метан. Для підвищення ефективності біотехнології необхідною є подальша оптимізація процесу очищення фільтрату.

1. Pagliano G. Integrated systems for biopolymers and bioenergy production from organic waste and by-products: a review of microbial processes / G. Pagliano, V. Ventorino, A. Panico, O. Pepe // *Biotechnology for Biofuels*. – 2017. – 10(1). – P. 113-137.
2. Yasin N. Food waste and food processing waste for biohydrogen production: A review / N. Yasin, T. Mumtaz, M.A. Hassan, N. Abd Rahman // *Journal of Environmental Management*. – 2013. – 130. – P. 375-85.
3. Paritosh K. Food Waste to Energy: An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling / K. Paritosh [et al.] // *BioMed Research International*. – 2017. – 2. – P. 1-19.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ СИСТЕМ ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ГЕЛІОВОДНЕВИХ АВТОНОМНИХ УСТАНОВОК ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Воробйова І.О., Семикін В.М.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
61046, м. Харків, вул. Пожарського, 2/10, solovey@ipmach.kharkov.ua,
zipunnikov_n@ukr.net, vorobjova_i@ukr.net, semikin_vm@ukr.net

Проектом передбачено дослідження процесів отримання водню і кисню та удосконалення конструктивних і технологічних параметрів водневих безмембранних електролізних систем високого тиску в комплексі з фотоелектричними перетворювачами (ФЕП) для екологічно чистих автономних геліоводневих установок.

На другому етапі проекту проведено експериментальні дослідження щодо отримання водню (кисню) методом електролізу при електроживленні від ФЕП в реальних природно-кліматичних умовах. Визначено шляхи підвищення продуктивності роботи електролізера з ФЕП. Систематизовано результати експериментальних досліджень щодо впливу густини струму та відстані між електродами на електрохімічну активність електродної збірки.

Для дослідження процесів електролізу при електроживленні генератора водню від сонячного ФЕП розроблено схеми його підключення до електролізної комірки та визначено технічні характеристики основних базових елементів лабораторного сонячно-енергетичного комплексу. Розглянуто характер зміни напруги для різних рівнів сонячної радіації в поєднанні з типовими кривими поляризації лужного водного електролізера. Проаналізовано середньомісячну кількість водню, що виділяється з електролізної комірки, з урахуванням сонячної інсоляції при електроживленні від лабораторної сонячної панелі з площею робочої поверхні $S = 0,288 \text{ м}^2$. Для підвищення продуктивності роботи електролізера з ФЕП слід виконати заходи з оптимізації обох систем щодо забезпечення роботи електролізера в межах максимальної вихідної потужності.

Для відпрацювання компоновки електродних з'єднань проведено дослідження з уточнення впливу відстані між електродами на процес генерації водню з використанням електродної пари Pt - Fe_p. Виділення водню відбувається без перенапруження на платиновому електроді при виділенні водню і при виділенні кисню з перенапруженням 0,25 В. Оптимальна відстань між електродами знаходиться в інтервалі від 3 мм до 4 мм, що відповідає мінімальній початковій напрузі виділення водню 0,1 В і кисню – 0,8 В. Встановлено, що для обраної конструкції електродного пакету при відстані між активним і пасивним електродами до 2 мм відбувається іонне збіднення міжелектродного простору та підвищення поляризаційного ефекту між електродами, внаслідок чого підвищуються початкові напруги виділення водню до 0,3 В і кисню до -1,2 В. Опір проходженню струму в електроліті істотно зростає. Газонаповнення електролітів зростає зі збільшенням густини струму, висоти електродів, в'язкості електроліту і при зменшенні відстані між електродами, тобто зменшенні об'єму електроліту в міжелектродному просторі. Зі збільшенням відстані між активним і пасивними електродами до 6 мм відбувається підвищення початкової напруги виділення водню до 0,25 В і кисню до -1,1 В. Від'ємні значення зміни енергії Гіббса вказують на високу ймовірність виникнення початкового процесу виділення газів (H₂ і O₂).

В подальшому заплановано експериментально дослідити процеси електролізу при використанні макетного зразка електролізера високого тиску в широкому діапазоні зміни продуктивності від ФЕП як первинного джерела живлення, що забезпечить найбільш ефективне виділення водню та кисню.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ АВТОНОМНОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ВОДНЕВОЇ УСТАНОВКИ. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ У ГАРЯЧИЙ ЗБАГАЧЕНИЙ ВОДНЕМ СИНТЕЗ-ГАЗ ДЛЯ РОБОТИ В АВТОНОМНІЙ КОМБІНОВАНІЙ КОГЕНЕРАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ З ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ НА ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Дудник О.М., Соколовська І.С.

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, вул. Андріївська 19, м.
Київ, aldudnyk2018@gmail.com

Роботу газифікатора-трансформера (ГТР) ІВЕ НАНУ перевірено на різних видах твердих органічних відходах (ТОВ). Встановлено оптимальні параметри газифікації різних ТОВ в залежності від їх складу та витрат окислювачів (повітря та водяної пари) з метою використання одержаного газу для роботи когенераційних та тригенераційних енергоустановок (ЕУ). Оптимальний вибір конструкції зони парціального окиснення (ЗПО) дозволив досягнути підвищеного хімічного та термічного ККД газифікації. В ГТР, в якому відбувається обернена газифікація ТОВ, для збільшення ефективності використано тангенційну подачу повітря в ЗПО для створення всередині ГТР вихрового потоку газів та в зону карбонізації (від 5 до 20 % від витрати всього повітря в залежності від виду ТОВ). Визначено закономірності збільшення мольного співвідношення сполук H_2/CO в одержаному після газифікації газі завдяки використанню високотемпературної водяної пари. Визначено, що температура газів на виході з зони карбонізації ГТР залежить від типу ТОВ і для ефективної їхньої конверсії повинна становити від 300 до 500 °С, а температура газів на виході з газифікатора – вище 600-650 °С. Встановлено, що використання реактора з відновленим Ni-каталізатором є найкращим варіантом для використання в когенераційних установках з метою зниження вмісту високомолекулярних сполук в газі перед електричними генераторами.

Для роботи ГТР під тиском запропоновано застосування газотурбінної установки (ГТУ) 9П120, яку можна випробувати в складі гібридної енергоустановки (ГЕУ) з електрохімічним генератором на твердооксидних паливних елементах (ЕХГ на ТОПЕ) зі застосуванням збагаченого воднем синтез-газу. В результаті проведених розрахунків конструкції установки конверсії ТОВ у гарячий збагачений воднем синтез-газ для роботи в автономній комбінованій когенераційній установці з ЕХГ на ТОПЕ встановлено, що завдяки надбудові над камерою згоряння ГТУ – ЕХГ на ТОПЕ – можна збільшити електричну потужність ГЕУ з 40 до 250 кВт зі збільшенням електричного ККД з 11 до 43 %.

Для забезпечення автономної роботи, зменшення навантаження на основне обладнання (газифікатор, плазмотрони, котел, електрогенератори, паливні елементи) та збільшення ресурсу роботи в схемах когенераційних ЕУ використано як періодично діюче обладнання, так і акумулятори з безперервним постачанням з акумуляторів споживачу електроенергії та тепла.

Встановлено, що для забезпечення повного клімат-контролю в приміщеннях, які одержують енергію з енергоустановок, для збільшення ефективності використання енергії ТОВ необхідно використовувати принцип тригенерації (з виробництвом електрики, тепла та холоду). Використання принципу тригенерації забезпечує найбільший коефіцієнт використання палива в різні пори року. Використання ТОВ як палива в когенераційних та тригенераційних енергоустановках зменшує вартість одержаних продуктів у порівнянні зі застосуванням традиційних видів палива в 1,5-2,0 рази.

Спільно зі співробітниками Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАНУ проведено аналіз та підготовлено пропозиції щодо можливості використання побічного продукту конверсії ТОВ – вуглекислого газу для роботи полігенераційних когенераційних водневих енергоустановок з метою виробництва електроенергії, добрив, пластику, біопалив третього покоління, будівельних матеріалів, нановуглецю та ін.

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Морозов Ю.П., Кудря С.О., Кузнецов М.П.

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України,
02068, м.Київ-68, вул. Драгоманова, 17, тел.: +38 044 206 28 09, renewable@ukr.net

Визначено місце знаходження, потужність і виробництво електроенергії існуючих сонячних і вітрових електростанцій. На підставі узагальнення фактичних даних виробництва електроенергії встановлено, що коефіцієнт використання встановленої потужності сонячних електростанцій становить - 0,13, а вітрових електростанцій - 0,3. Коефіцієнт використання встановленої потужності геотермальних електростанцій за літературними даними дорівнює 0,8 – 0,9.

Отримання водню шляхом електролізу води за рахунок відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) передбачає використання отриманого водню в якості енергоносія з метою акумулювання енергії для стабільного її використання. Довгострокове зберігання водню особливо у великих об'ємах є ключовою проблемою в технологіях ВДЕ. Підземне зберігання водню є найменш дорогим способом його зберігання в великих об'ємах. Серед варіантів такого зберігання для гідрогеологічних умов України є варіант зберігання в соляних покладах та водоносних підземних шарах. Зберігання водню не призводить до принципових відмінностей від зберігання природнього газу, за винятком того, що ефект розтікання газу по покрівлі пласта буде більш вираженим через малу щільність водню.

Аналіз гідрогеологічних даних в районах розташування сонячних та вітрових електростанцій показує, що на цих територіях розміщені підземні водоносні горизонти. Ці водоносні горизонти можуть бути використані для спорудження підземних сховищ водню. Існуючі підземні сховища газу залягають в місцях розташування магістральних газових трубопроводів, які знаходяться на великій відстані від спорудження сонячних і вітрових електростанцій. Тому їх використання проблематичне. Крім того, існуючі підземні газові сховища використовуються для зберігання природнього газу, в якому основна складова є газ метан. Закачування водню з метою зберігання в ті самі горизонти проблематичне через можливе його забруднення. Першочерговим об'єктом спорудження дослідно промислових установок ВДЕ з використанням підземних сховищ газу є райони, з соляними покладами.

РОЗРОБЛЕННЯ ШЛЯХІВ І ЕТАПІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ, НА ТРАНСПОРТІ, В ПРОМИСЛОВІСТІ ТА КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Кудря С.О., Кузнецов М.П., Морозов Ю.П.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
м. Київ, вул. Г.Хоткевича, 20А. renewable@ukr.net

Потенціал водню як розповсюдженого енергоносія, який не супроводжується шкідливими викидами, є предметом ряду урядових програм та дорожніх карт в різних країнах. Аналіз цих програм свідчить про наявність як спільних рис, так і регіональних особливостей. Неодмінною складовою є можливість отримання водню з електричної енергії від відновлюваних джерел («зеленого» водню). Водень та електроенергія здатні забезпечити стабільність енергетичній системі та здатні доповнювати один одного. Також водень дозволяє транспортування енергії на великі відстані та економічно ефективно зберігання великих обсягів енергії. Перехід на водень частково вирішує проблему інтеграції великої кількості відновлюваної енергії, без потреби масових оновлень мережі. На початковому етапі становлення водневої енергетики стратегічною метою є впровадження електролізу на відновлюваній енергії для декарбонізації існуючого виробництва водню, наприклад у хімічній промисловості, та сприяння споживанню водню в нових цільових сферах – промислових процесах, вантажному транспорті. На другому етапі (2025-2030 рр.) водень повинен стати частиною інтегрованої енергетичної системи. Відновлюваний водень стане конкурентоспроможним з іншими формами отримання водню, промисловість включатиме водень до виробництва сталі, залізничних перевезень, морського та авіаційного транспорту. На третьому етапі технології відновлюваного водню повинні охопити всі складні для декарбонізації сектори. До 2050 року чверть відновлюваної електроенергії може бути використана для виробництва водню. Зокрема, синтетичне паливо, отримане з водню та його похідних, може застосовуватись від авіації та судноплавства до теплової енергетики та будівництва. Вже зараз використання водню як палива для транспортних засобів присутнє в усіх стратегічних планах.

Необхідною умовою є розвинена газова інфраструктура, пов'язана з регіонами видобутку та споживання газу. Потужність передачі енергії в газовій інфраструктурі за оцінками в рази більша, ніж потужність електромережі. Існуючу газову інфраструктуру можна трансформувати для розміщення водню за невеликих витрат. Важливою складовою є також наявність сховищ для зберігання водню у великих масштабах, оскільки попит демонструє сезонну мінливість. Україна має розвинену мережу газових сховищ, які наразі не використовуються повністю і можуть бути залучені до потреб водневої економіки. Діюча мережа газопроводів має 13 підземних сховищ загальною місткістю 31 млрд. куб.м. Потребує вивчення можливість створення нових сховищ як в соляних, так і у водоносних пластах, з використанням спрацьованих газових свердловин. Крім газових сховищ, Україна також долучається до практичного використання ГТС для транспортування водню, прикладом є тестове транспортування суміші водню і природного газу «Регіональною газовою компанією».

Створюваний ринок водневої продукції матиме дві характерні тенденції – видобуток водню поблизу місць попиту та поблизу енергоресурсу. При цьому відновлювана електроенергія може постачатись електромережею або вироблятися на місцевому рівні за допомогою сонячних чи вітрових установок. Гібридне поєднання електричної та водневої мереж здатне послабити обмеження потужності в електромережі та зберігати надлишкову енергію. Структура такого ринку водню повинна мати можливість для перетворення електроенергії на водень і навпаки. «Зелений» водень у довгостроковій перспективі може стати виходом із потрійної кризи, спричиненої слабким постпандемічним попитом, проблемами енергетичного сектора і зміною клімату.

АВТОНОМНИЙ КАТАЛІТИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ВОДНЮ З БІОСИРОВИНИ

Трипольський А.І., Долгіх Л.Ю., Пятницький Ю.І., Столярчук І.Л., Старая Л.О.,
Стрижак П.Є.

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України,
проспект Науки, 31, Київ, 03028 Україна, atripolski@gmail.com

З метою оптимізації хімічного складу каталізатора парового риформінгу біоетанолу (ПРЕ) та способу його приготування досліджено каталітичні властивості залізовмісних каталізаторів як масивних, так і нанесених на оксидний (ZrO_2) та вуглецевий (CNT) носії. Залізний каталізатор на вуглецевих нанотрубках дозволяє досягнути вищої продуктивності за воднем у низькотемпературному інтервалі 350-400°C (селективність за H_2 50%). Нанесений на ZrO_2 каталізатор та масивні зразки демонструють близьку продуктивність за 450-550°C при селективності за H_2 до 75%. За цих умов каталізатор Fe/CNT проявляє схильність до агломерації та газифікації воднем, який утворюється в ході ПРЕ. На підставі аналізу методів приготування каталізаторів шпінельного типу та одержаних результатів визначено, що до оптимальних способів приготування каталізаторів ПРЕ можуть бути віднесені методи сольвотермічного розкладу та співосадження. Показано, що $MnFe_2O_4$, одержаний методом співосадження, демонструє більший вихід водню в інтервалі 450-550°C, на відміну від нього зразок, одержаний методом сольвотермічного розкладання, забезпечує вищий вихід водню за температур $> 600^\circ C$.

З метою оптимізації складу вихідних сумішей проведено оцінку рівноважного виходу водню у процесі парового риформінгу ряду вищих спиртів, які містяться у сирому біоетанолі. Встановлено особливості парового риформінгу індивідуальних спиртів та їх суміші на залізовмісних каталізаторах. Для суміші спиртів за температури 500°C спостерігається вища продуктивність за воднем порівняно з водно-етанольною сумішшю, що обумовлено ефективним перебігом парового риформінгу вищих спиртів. Проведення риформінгу за температури 600°C приводить до зниження селективності за воднем та появи CO у продуктах, що пов'язано з особливостями парового риформінгу бутан-1-олу. Підвищення вмісту спирту від мольного співвідношення $H_2O/C_2H_5OH = 19$ до $H_2O/C_2H_5OH = 3$ приводить до зменшення конверсії етанолу від 90% до 79% та селективності по водню від 56% до 32% ($T=400^\circ C$); для ректифікованого етанолу ($H_2O/C_2H_5OH = 0,11$) показники конверсії та селективності складають 60-65% та 27-30%, відповідно; при цьому має місце збільшення продуктивності по водню.

На основі аналізу існуючих технологічних схем запропоновано одностадійний процес виробництва водню з біоетанолу. Базуючись на проведених раніше розрахунках, для створення діючого макету автономного каталітичного генератора водню вибрано принципову технологічну одностадійну схему автономного каталітичного генератора водню середньою продуктивністю 4,5 л H_2 /год. Особливістю такої схеми є відсутність блоку очистки технічного водню та використання теплообмінника-економайзера для утилізації тепла відхідного газу, яке використовується для випаровування водно-спиртової суміші. Отримані нами експериментальні дані дозволили провести розрахунки енергетичних параметрів запропонованої моделі генератора водню та визначити основні конструктивні характеристики реактора та теплообмінника-економайзера. Показано, що для отримання заданої продуктивності за воднем необхідно використати проточний трубчатий реактор ($D=12$, $L=120$); кількість каталізатора 10 г. Основні параметри теплообмінника-економайзера (pinch point) розраховано за умови охолодження відхідних газів до робочої температури паливної комірки ($60^\circ C$), нагрівання до $92^\circ C$ і випаровування вихідної водно-спиртової суміші.

ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ КОМПОЗИТНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ КОМІРКИ З АКУМУЛЮВАННЯМ ВОДНЮ

Русецький І.А., Данилов М.О., Фоманюк С.С., Щербакова Л.Г.⁽¹⁾, Колбасов Г.Я., Солонін Ю.М.⁽¹⁾

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, 03680 Київ-142, пр. Палладіна 32/34, Україна, e-mail: r2_igor71@ukr.net

⁽¹⁾Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, 03142 м. Київ, вул. Кржижановського 3, Україна, e-mail: larisa_c@ukr.net

Розроблені та вдосконалені електрохімічні та хімічні методи синтезу fotocутливих електродів для фотоелектрохімічних комірок з анодним та катодним просторами, розділеними іонообмінною мембраною, для отримання водню. Синтезовано fotocутливі нанокласти $\text{TiO}_2 / \text{C}_3\text{N}_4$ та $\text{SnO}_2 / \text{C}_3\text{N}_4$ з емульсії метилового спирту і C_3N_4 . Пористий нітрид вуглецю отримано піролізом сечовини і меламінової губки. Зразки відпалені при 300°C на повітрі і в аргоні. Синтезовано також нанокласти, гетероструктури на основі напівпровідникових оксидів, сульфідів та селенідів металів (Ti, Zn, Cd), частково розкритих вуглецевих нанотрубок, ванадатів вісмуту і міді та багатошарових гетероструктур на їх основі. Частково розкриті вуглецеві нанотрубки одержували електрохімічним методом [1]. Досліджені їх фотоелектрохімічні та фотоелектрокаталітичні властивості. Розроблено термохімічний синтез гібридного нанокласти з частково розкритих вуглецевих нанотрубок та C_3N_4 . Досліджені його фізикохімічні властивості та електрокаталітичні характеристики в реакції виділення водню.

Встановлено, що на гетероструктурах на основі нанотрубок TiO_2 , SnO_2 , частково розкритих вуглецевих нанотрубок та C_3N_4 збільшується поглинання світла, що пов'язане з покращеним розділенням зарядів і зменшенням процесів рекомбінації, що, в результаті, приводить до росту фотопотенціалу фотоелектрохімічної комірки. Встановлено, що отримані фотоанооди забезпечують накопичення водню на МН катоді.

Досліджено структуру отриманих fotocутливих нанокластів, кінетику фотоелектрохімічних процесів, та визначено напрями досягнення високої ефективності цих систем у фотоелектрохімічних комірках з акумулюванням водню.

Вдосконалено макет фотоелектрохімічної комірки, в якій МН електрод розряджається на повітряний електрод, розміщений у катодній частині комірки. У якості катоду фотоелектрохімічної комірки використані водень сорбуючі матеріали (МН сплави) на основі інтерметалічних сполук типу AB_5 (на базі LaNi_5). Досліджено параметри фотоелектрохімічної комірки з використанням різних типів мембран (LaLiTiO_3 і МФ4-СК) [2].

1. M.O. Danilov, I.A. Rusetskii, G.I. Dovbeshko, S.S. Fomanyuk, G.Ya. Kolbasov. Electrochemical Synthesis Partially Unzipped Multi-Walled Carbon Nanotubes as Electrode Materials for Fuel Cells. ECS Trans. 2019, 95(1): 273-282. doi:10.1149/09501.0273ecst
2. I.A. Rusetskyi, L.L. Kovalenko, I.A. Slobodyanyuk, M.O. Danilov, S.S. Fomanyuk, V.O. Smilyk, A.G. Belous, G.Ya. Kolbasov. Photoelectrochemical systems for hydrogen evolution using ion-conducting membranes. In Advanced Batteries Accumulators and Fuel Cells – 21st ABAF. Ed. by M. Sedlářková, V. Novák, T. Kazda and P. Bača. Brno University of Technology Faculty of Electrical Engineering and Communication Department of Electrical and Electronic Technology. 2020, P. 66-68.

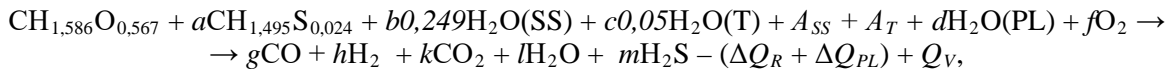
ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУМІСНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ДОННИХ МУЛІВ І ГУМОВОГО КРИШИВА ЗНОШЕНИХ ШИН І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ТАКОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ В УМОВАХ, НАБЛИЖЕНИХ ДО РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄМНОГО ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ В ПРОМИСЛОВОМУ РЕАКТОРІ

Жовтянський В.А., Назаренко В.Г., Остапчук М.В.

Інститут газу НАНУ, 03113, м. Київ-113, вул. Дегтярівська, 39, zhovt@ukr.net

Робота розглядається як супутня для виконуваних Інститутом газу НАН України циклу науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт щодо переробки небезпечних відходів з використанням плазових технологій. Зокрема, у 2016-17 рр. і 2018-19 рр. проведені дослідження та виконані практичні розробки з цієї тематики у рамках державного замовлення з фінансуванням через МОН України. У результаті їхнього виконання створений пілотний зразок технологічної лінії для переробки небезпечних відходів з реактором продуктивністю до 400 кг сировини за годину. У рамках проекту, другим етапом якого є ця робота, досліджуються нові можливості підвищення енергетичної ефективності технологічного процесу, закладеного в основу функціонування цієї лінії, які не можуть бути досліджені на великомасштабній установці.

В основу термодинамічного моделювання процесів сумісної газифікації донних мулів і гумового кришива зношених шин покладене раніше отримане авторами проекту основне термохімічне рівняння для плазово-парокисневої конверсії вуглецевмісних відходів у варіанті переробки сумішевої сировини:



де 1-й і 2-й члени відповідають бруто-формулам донних мулів і гумового кришива, 3-й і 4-й – їхній вологості, а 5-й і 6-й – зольності, відповідно; 7-й – кількості пари, яка вводиться в процес плазмотроном, 8-й – кількості кисню, який додатково вводиться в реактор; ΔQ_R – теплова енергія, яка виділяється в реакторі за рахунок цієї хімічної реакції, а ΔQ_{PL} – додаткова енергія, яка вводиться в реактор з плазовим струменем для досягнення заданої температури процесу газифікації. Ураховані також енерговитрати на вітрифікацію зольного залишку, які можна оцінити на основі феноменологічного співвідношення Q_V (кВт·год) = $0,35m_A$ (кг), де m_A – зольна маса.

У процесі досліджень варіювався вміст окремих складових у термохімічному рівнянні як для стехіометричних процесів газифікації, так і нестехіометричних – аж до переходу до простого спалювання сировини. Показано, що для плазово-кисневої газифікації кінцеві залежності для теплової енергії, яка виділяється в реакторі за рахунок хімічної реакції газифікації сировини ΔQ_R , та для хімічної енергії отриманого синтез-газу мають місце універсальні лінійні залежності від кількості кисню f , який вводиться в процес.

Кількісно визначений позитивний ефект з точки зору поліпшення показника енергетичної ефективності процесу газифікації $\eta = (P_{\text{PL}}^J + P_{\text{O}_2}) / \eta_{\text{EE}} W_{\text{CF}}$, у якому враховані витрати електричної енергії P_{PL}^J на продукування плазового струменя з ККД плазмотрона на рівні $\sim 0,8$, тобто: $P_{\text{PL}}^J = \Delta Q_{\text{PL}} / 0,8$, P_{O_2} – енерговитрати на виробництво кисню, $\eta_{\text{EE}} \sim 0,3$ – ККД виробництва електроенергії, W_{CF} – енергія отриманого в процесі синтез-газу, при зростанні вмісту в суміші гумової крихти як сировини для газифікації та кисню в якості окиснювача.

Перевагою процесу газифікації в нестехіометричному режимі є можливість вводити додаткову теплову енергію в процес за рахунок часткового спалювання сировини для компенсації, наприклад, значних енерговитрат на рідке шлаковидалення та вітрифікацію зольного залишку, ураховуючи, що зольність донного мулу може досягати 60%.

Проведені термічні випробування лабораторної установки для експериментальних досліджень процесу газифікації сумішевої сировини з використанням плазмотрона «Мультиплаз-3500» та високотемпературного реактора газифікації твердого палива на основі кварцового циліндра, які засвідчили її придатність для подальших експериментальних досліджень, які будуть проведені після пом'якшення обмежень, пов'язаних з коронавірусною пандемією.

ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ВОДНЮ У МОТОТРАНСПОРТІ (ПІДГОТОВКА СПЛАВУ ДО РОБОТИ ТА АКТИВАЦІЯ)

Щур Д.В., Золотаренко Ан. Д., Золотаренко Ал. Д., Гаврилюк Н.А., Копилова Л.І., Шапошнікова Т.І., ⁽²⁾Сагдієв М. С.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
03142, г. Київ-142, вул. Кржижановського, 3; тел. (044) 424 20 71, 424 22 71;

факс: 424 21 31; e-mail: dir@ipms.kiev.ua,

⁽²⁾ ООО "АРГУС СЕРВИС", e-mail sagdiev@ukr.net

Результати першого року досліджень по випробуванню спільного використання накопичувача водню з робочим тілом на основі сплавів AB_5 і двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) мотоциклу показали, що накопичувачі водню добре поведуться при подачі водню в двигуни внутрішнього згоряння мотоциклу. Однак в ході експлуатації виявилось, що при роботі ДВЗ також є можливість використовувати тепло відхідних газів. Це, в свою чергу, дозволяє використовувати в накопичувачах водню робоче тіло з високою температурою десорбції, а саме магній та його сплави. Крім утилізації тепла відхідних газів їх використання дозволить збільшити ємність накопичувача водню в 3-4 рази при незмінній місткості посудини високого тиску.

З цієї причини на другому етапі виконання проекту на базі молекулярно-кінетичних уявлень розроблена теорія магнієвих кристалів зі складною кубічною структурою $C15b$ типу $MgSnCu_4$ складу $MgRT_4H_x$ ($R= Ce, La, Nd, Pr, Y, T=Co, Ni, 0 \leq x \leq 6$). Вивчено водневосорбційні властивості інтерметаліду $MgCeCo_4H_x$, в якому при наводненні під тиском формуються дві α та β фази з $0 \leq x \leq 4$ і $4 \leq x \leq 6$ відповідно, імовірно за рахунок упорядкування в розподілі атомів водню по їх позиціях. Було розраховано вільну енергію, встановлено її залежність від температури, тиску, концентрації водню, параметру порядку та енергетичних констант. Отримано рівняння термодинамічної рівноваги, що визначає параметр порядку в залежності від концентрації водню, температури, тиску, побудовані графіки цих залежностей.

Отримані результати розрахунків дозволять підібрати температуру, тиск, склад сплаву, атомний порядок (за допомогою вибору режиму термообробки) та розробити оптимальні умови розчинності та десорбції водню з системи.

За результатами роботи подана стаття "Hydrogen sorption properties of new magnesium intermetallic compounds with $MgSnCu_4$ type structure» Matysina Z.A., Gavrylyuk N.A., Veziroglu A., Veziroglu T.N., Pomytkin A.P., Schur D.V., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Zolonarenko An.D., Zolonarenko Al.D. в журнал International Journal of Hydrogen Energy

МАКЕТУВАННЯ ТА ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛІВ І МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ, РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЬОГО, ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ

Савицький М.М., Савицький О.М., Вашенко В.М., Шкрабалюк Ю.М.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України; 03150,
м. Київ-5, вул. Казимира Малевича, 11; sam@paton.kiev.ua

За результатами попередніх досліджень прийнято доцільним виготовлення тонкостінного герметичного корпусу балону із аустенітних сталей типу 08X18H10, 12X18H9, а силової оболонки із високоміцних волоконних матеріалів типу склоровінг, базальтровінг, вуглеровінг. Ці матеріали, забезпечують якісні працездатні силові оболонки, які відрізняються лише товщиною і вартістю. Максимальну товщину і мінімальну вартість мають оболонки із склоровінгу. Мінімальну товщину і максимальну вартість оболонки забезпечує вуглеровінг. Базальтровінг забезпечує проміжні показники.

Однак для якісного формування силових оболонок необхідне спеціалізоване обладнання. Тому етап 2020 року передбачав розроблення технічних вимог до нього; тримірне комп'ютерне моделювання основних його вузлів і механізмів; доопрацювання проекту технічного завдання та коригування технічних пропозицій до обладнання; розроблення і випробування алгоритмів формування силової оболонки.

У відповідності до цього плану виконано тримірне комп'ютерне моделювання основних робочих механізмів. Результати моделювання показали, що для якісного формування силових оболонок обладнання повинно мати трикоординатну компоновочну схему. Перша координата повинна забезпечувати обертальний рух корпусу балону з регульованою швидкістю. Друга координата повинна забезпечувати позовжнє переміщення каретки з усіма необхідними вузлами і механізмами вздовж корпусу балону із регульованою швидкістю та можливістю короткочасної зупинки в точках фіксації високоміцного волоконного матеріалу на його поверхні. Третя координата повинна забезпечувати переміщення механізму укладання високоміцного волоконного матеріалу в напрямі поперечному до центральної осі корпусу балону в крайніх положення каретки під час її зупинки.

Макетування та випробування механізмів, що забезпечують узгоджене функціонування вказаної компоновочної схеми показало, що в якості електроприводів цих вузлів доцільно використовувати крокові двигуни з програмним керуванням. На основі результатів моделювання та макетування вузлів і механізмів, їх випробування було доопрацьовано проект технічного завдання та відкориговано технічні пропозиції до обладнання для формування зовнішньої силової оболонки.

Алгоритми формування силових оболонок передбачали формування силової оболонки типу «кокон» за схемою вісімки та спіралі. Схема вісімки передбачає перехрещування волокон в центральній частині обичайко корпусу балону. Після того як силова частина оболонки досягає необхідної товщини, на циліндричній частині балону виконується рядна кільцева намотка волокна в кілька проходів, яка фіксує основний шар волокна і обтягує його, ущільнюючи та притискаючи до поверхні корпусу балону.

Схема спіралі передбачає спіральне укладання волокна з різним кроком. Після формування проміжного шару певної товщини виконується кільцева рядна фіксуюча намотка волокна. Вказана послідовність укладання волокна повторюється до забезпечення необхідної товщини силової оболонки. Після цього на циліндричній частині балону виконується рядна кільцева намотка волокна в кілька проходів, аналогічно до попереднього випадку.

Передбачена також і можливість підмотування циліндричної частини корпусу балону для вирівнювання її по всій дожині. Для забезпечення виконання вказаних алгоритмів укладання високоміцного волокна на корпусі балону і функціонування обладнання без перерв на переналаштування передбачене програмне керування виконавчими механізмами по усіх трьох координатах.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ МН ТА ПОВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОДІВ, ПІДБОР ПАРАМЕТРІВ ЇХ СУМІСНОЇ РОБОТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗРЯДУ В ФЕХ КОМІРЦІ

Щербакова Л.Г., Грайворонська К.А., Крапивка М.О., Солонін Ю.М.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України,
03142, м.Київ, вул. Кржижановського 3, e-mail: larisa_c@ukr.net

Об'єктами дослідження були гідридоутворюючі МН) сплави на базі LaNi_x ($x=4,8-5,1$) та електроди на їх основі; повітряні електроди на вуглеродній основі (сажи, углі) з доданням доступних та ефективних каталізаторів реакції відновлення кисню.

Було досліджено вплив окремих компонентів в електродах зі сплавів $\text{LaNi}_{4,5}\text{M}_{0,5}$ (где М: Со, Мп, АІ) на здатність до високошвидкісного заряду та розряду. Встановлено, що сплави типу $\text{LaNi}_{5-x}\text{M}_{0,5}$, які вміщують АІ і Мп, мають гарну кинетику оборотного поглинання водню, володіють високою ємністю по водню (около 300 $\text{mA}\cdot\text{час}/\text{г}$), створюють стійкі гідриди, ефективно поглинають водень при токах заряду 1,5-2,0 $\text{C}_{\text{макс}}$. та здатні віддавати до 90% водню при розряді струмами до 6 С. Вперше показано, що здатність сплавів до високошвидкісного розряду в значній мірі визначається вмістом в ньому кобальту. Збільшення вмісту кобальту з 6,4 мас.% ($\text{LaNi}_{4,5}\text{Co}_{0,5}$) до 13,6 мас. % (LaNi_4Co) призводить до різкого зниження ефективності розряду токами ≥ 1000 $\text{mA}/\text{г}$ с 88 % до 10 % відповідно.

З використанням технології газового розпилення в аргоні одержано та досліджено 3 сплави типу $\text{AB}_{4,8}-\text{AB}_{5,1}$ зі структурою CaCu_5 : (1); $\text{La}_{0,7}\text{Nd}_{0,3}\text{Ni}_{2,3}\text{Co}_{2,4}\text{Al}_{0,1}$ ($\text{AB}_{4,8}$) (1); $(\text{Mm}+\text{La})\text{Ni}_{3,70}\text{Co}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{Mn}_{0,4}$ ($\text{AB}_{5,1}$) (2) та $\text{MmNi}_{3,7}\text{Fe}_{0,7}\text{Al}_{0,5}\text{Cu}_{0,1}$ (AB_5) (3). Встановлено, що процес поглинання водню на всіх досліджених сплавах лімітується одно електронною стадією переносу заряду, а розряд контролюється процесом дифузії водню в електроді. Сплави легко активуються (3-7 циклів) та створюють стійкі гідриди ($P_{\text{рівн.}} < 1$ бар). Електроди зі сплаву (2), показали найбільшу розрядну ємність ($\text{C}_{\text{макс}} = 290$ $\text{mA}\cdot\text{год}/\text{г}$), у той час як повна заміна Со на Fe (сплав 3) призводить до зниження розрядної ємності на 25 %.

Встановлено, що в сплавах типу $\text{MmNi}_{5-x-y-z}\text{Co}_x\text{Al}_y\text{Mn}_z$, у яких оптимальний вміст Со складає 0,7 атома (біля 10 мас.% Со) ефективність розряду струмами 4-5 С (≥ 1000 $\text{mA}/\text{г}$) складає 20-25 % від $\text{C}_{\text{макс}}$. для даного сплаву. Електроди зі сплаву $\text{La}_{0,7}\text{Nd}_{0,3}\text{Ni}_{2,3}\text{Co}_{2,4}\text{Al}_{0,1}$ з більш високим вмістом Со (30 мас.%) не розряджаються такими струмами. Встановлено, що активація сплавів шляхом циклування значно покращує здатність Со-вмісних сплавів до високошвидкісного розряду. Показано, що зміна типу (та кількості) струмопровідного компоненту у складі катоду, та технологія одержання сплавів впливають на всі електрохімічні характеристики електродів у меншій мірі, ніж природа металів, що заміщують никель, та їх кількосне співвідношення у водень сорбуючому сплаві.

Досліджено вплив складу гідрофільного слою повітряних електродів на ефективність протікання катодного процесу в області потенціалів відновлення кисню. Виготовлено електроди на основі сажи KS-5 та політетрафторетилена (ПТФЕ) в якості звязуючого при оптимальному співвідношенні цих компонентів (4:1). Встановлено, що повітряні електроди на основі сажі KS-5 з вмістом каталізаторів сполук срібла (5-20 ваг% Ag_2O або нікеліду срібла) та суміші (10% MnO_2 + 10 Co_3O_4) найбільш ефективно прискорюють реакцію відновлення кисню, та становлять практичний інтерес для виготовлення повітряних електродів.

МЕХАНОСИНТЕЗ ГІДРОУТВОРЮЮЧОГО СПЛАВУ Mg + 10 % ваг. Ni РЕАКТИВНИМ ПОМЕЛОМ СУМІШІ ПОРОШКІВ MgH₂ і Ni ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВОДЕНЬСОРБУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ТЕМПЕРАТУРИ І КІНЕТИКИ РОЗКЛАДУ

Єршова О.Г., Солонін Ю.М.

Інститут проблем матеріалознавства НАН України, вул. Кржижанівського 3,
Київ, 03142 Україна E-mail: dobersh2017@ukr.net

Даний проект спрямовано на створення технологій виготовлення високоємних воденьсорбуючих матеріалів на основі магнію з комплексом характеристик, що забезпечують практичне використання цих матеріалів в стаціонарних системах зберігання водню.

Метою досліджень на данному етапі робіт за проектом було: встановити ефект каталітичної добавки Ni у зниженні термічної стійкості та покращенні кінетики десорбції водню з гідридної фази MgH₂ механічного сплаву MC (MgH₂ + 10 % ваг. Ni), що отримано реактивним (в середовищі водню) механічним помелом в високоенергетичному планетарному млині суміші порошоків MgH₂ і Ni; встановлений ефект порівняти з таким у випадку механічного сплаву MC (Mg + 10 % ваг. Ni), отриманого на попередньому етапі робіт, і визначити який із двох застосованих способів отримання MC забезпечує його найкращі воденьсорбційні та кінетичні характеристики.

Методом реактивного механічного сплавлення синтезовано механічний наносплав - композит MC (MgH₂ + 10ваг. % Ni); з застосуванням термодесорбційної спектроскопії *при постійному тиску водню 0,1МПа в реакторі* досліджено воденьсорбційні характеристики, термічну стійкість та кінетику десорбції водню з гідридної фази MgH₂ отриманого MC як зразу після його синтезу, так і після перших циклів гідрування-дегідрування із газової фази.

З аналізу ізобаричних кривих десорбції водню з гідридної фази MgH₂ синтезованого механічного сплаву встановлено, що в результаті реактивного помелу суміші порошоків MgH₂ + 10 % ваг. Ni на протязі 20 год. досягнуто водневої ємності 5,82 % ваг., в результаті гідрування із газової фази - 5,5 % ваг. після 1-го та 5,1 % ваг. після 5-го циклу гідрування/дегідрування. Помітної деградації воденьсорбційних властивостей в результаті перших 5 циклів гідрування / дегідрування MC1 не встановлено. Температура початку десорбції водню з гідридної фази MgH₂ MC після її утворення методом РМС виявилась рівною 290 °С, а після прямого гідрування із газової фази - 288 °С в 1-му і в 5-му циклі гідрування / дегідрування. Встановлено, що з двох застосованих способів отримання MC його найкращі воденьсорбційні та кінетичні характеристики забезпечує спосіб отримання механічного сплаву-нанокомпозиту шляхом реактивного помелу суміші порошоків Mg +10%ваг. Ni: при тиску водню в реакторі 0,1МПа час виділення всього водню при постійній температурі 330°С скорочується завдяки легуванню Ni в 16 разів, а із зразку MC(MgH₂ + 10ваг.% Ni) тільки в 11 раз.

Досліджено роль легуючого елементу Ni в покращенні кінетики розкладу гідридної фази MgH₂ механічних сплавів-композитів MC(Mg + 10 % ваг. Ni) і MC(MgH₂ + 10 % ваг. Ni). Показано, що найбільше покращення кінетики і збільшення швидкості десорбції водню з гідридної фази у випадку її легування Ni в порівнянні з легуванням Ti і Fe корелює з найбільшою спроможністю у атомів Ni (в порівнянні з атомами Ti і Fe) перешкоджати забрудненню поверхні часток гідридної фази MgH₂ кисень-та вуглецьвмісними структурами, які є каталітичними ядами, що здатні блокувати активні центри і перешкоджати дисоціативній хемосорбції молекулярного водню при гідруванні і його рекомбінації при дегідруванні сплаву.

СИНТЕЗ ГІДРИДНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ МАГНІЮ ТА АПРОБАЦІЯ ЇХ В ПРИСТРОЯХ АКУМУЛЮВАННЯ І ГЕНЕРУВАННЯ ВОДНЮ

Березовець В.В., Вербовицький Ю.В., Завалій І.Ю.

Фізико-механічний інститут НАН України, 79060,
м. Львів, вул. Наукова, 5 ihor.zavaliy@gmail.com

Як відомо гідрид магнію (MgH_2) має високу теоретичну воденьсорбційну ємність (7,6 ваг. %), а сам магній є дуже поширеним у земній корі. MgH_2 гідролізує наступним чином: $Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + 2H_2$. Вихід водню становить 6.4 ваг.% за умови врахування у розрахунках стехіометричної кількості води. Теоретичний вихід водню за реакцією гідролізу MgH_2 може зростати до 15,2 мас.%, при умові, що вода, яка утворюється в результаті роботи паливної комірки, буде відновлена та знову використана в реакції гідролізу. Важливим практичним завданням є швидкий та енергоефективний синтез гідриду магнію. Наноконкомпозитні матеріали на основі гідриду магнію мають великий потенціал в якості воденьзберігаючих матеріалів. Такі матеріали характеризуються зменшенням необхідного шляху його дифузії, а завдяки каталітичним додаткам сильно відрізняються за енергією його дисоціації на поверхні та кінетикою поглинання та виділення в цілому. Поряд з простими металами досліджена велика кількість оксидів, нітридів, сульфідів та інших сполук, які під час кульового помелу диспергуються, однорідно розподіляються по матриці MgH_2 і каталізують процеси сорбції-десорбції водню [1].

При тому, що проведено багато досліджень механічного помелу магнію з різними додатками вплив нанопорошків складних оксидів вивчений недостатньо. Нами методом реактивного кульового помелу було синтезовано наноконкомпозити на основі MgH_2 з використанням 0,5-5 мол.% різних каталітичних добавок (порошки нано-Ti, нано- TiO_2 та $Nd_{0.5}Ho_{0.5}FeO_3$). Вихідними компонентами для приготування гідридних наноконкомпозитів були порошок магнію, нанопорошки Ti (30-50 nm, 99.9%), TiO_2 (<50 nm, 98%) та $Nd_{0.5}Ho_{0.5}FeO_3$ отриманий соль-гель методом [2]. Після десорбції водню з гідридних композитів проводили їх повторне наводнювання при тиску H_2 1-2 МПа та температурах від 150 до 300°C. Для визначення енергії активації десорбції водню досліджували ТДС. Показано, що добавки полегшують гідрування магнію під час проведення помелу та значно покращують його кінетику поглинання-десорбції водню. Синтезовані наноконкомпозити були також протестовані як матеріали для пристроїв генерування водню шляхом гідролізу у чистій воді та з додаванням хлоридів перехідних металів та лимонної кислоти.

Показано, що метод кульового помелу може поліпшувати швидкість реакції і вихід водню в реакціях гідролізу матеріалів на основі MgH_2 . Однак ця реакція у чистій воді швидко переривається через утворення шару гідроксиду магнію (пасивацію). Ступінь конверсії суттєво покращується при додаванні $MgCl_2$. Ефективність застосування цього та інших каталізаторів буде предметом подальшого дослідження.

1. Zavaliy, I.Y., Berezovets' V.V., Denys R.V. Nanocomposites Based on Magnesium for Hydrogen Storage: Achievements and Prospects (A Survey). *Materials Science* – 2019. – Vol. 54, – P. 611–626.
2. Pavlovska O., Lutsyuk I., Kondyr A., Zhydachevskyy Ya., Vakhula Ya., Pieniazek A., Vasylechko L. Synthesis and structure characterisation of micro- and nanocrystalline powders of $Dy_{1-x}R_xFeO_3$ (R = La, Pr, Nd, Sm, Gd). *Acta Physica Polonica A*. – 2018. – Vol. 133. – P. 802–805.

МЕТАЛОГІДРИДНІ АКУМУЛЯТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДАЧІ ВОДНЮ ДО ПАЛИВНИХ КОМІРОК

Мацевитий Ю.М., Авраменко А.М., Чорна Н.А.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046, Україна, e-mail: nataliyachernaya7@gmail.com

Даний проект спрямований на розробку науково-технічних засад по адаптації металогідридних систем енергозабезпечення для використання водню в паливних комірках.

Показано, що першочерговим завданням є зменшення обсягів споживання природного газу та зміщення акцентів у бік використання поновлюваних джерел енергії, зокрема, в системах автономного енергозабезпечення. Показано, що для автономних споживачів винятковий інтерес представляють системи електроживлення на основі низькотемпературних лужних паливних комірок потужністю до 20 кВт, а використання металогідридної системи зберігання водню в складі вітроенергетичного комплексу відповідає вимогам розміщення автономних систем енергозабезпечення.

Проаналізовано графіки споживання електричної енергії автономним котеджом. Встановлено, що для будинку площею 100 м² річні витрати електроенергії складають 9651 кВт/рік, а саме, витрати на освітлення та побутові прилади – 1648,3 кВт/рік, витрати на опалення – 8002,7 кВт/рік. Максимальні електричне навантаження на протязі доби на освітлення, побутові прилади і опалення в грудні припадає на 18 год. та становлять 4,5 кВт/год.

Проведено аналіз роботи паливних комірок з металогідридною системою акумулювання водню по параметрах акумуляторів водню та схемах їхньої спільної роботи для автономного котеджу. В результаті розрахунково-теоретичного дослідження визначені оптимальні режими роботи металогідридної системи зберігання водню у відповідності з заданими характеристиками. Розроблена конструкція металогідридного акумулятора, синхронізовано його динамічні характеристики з режимом роботи паливної комірки та проведено ексергетичний аналіз акумулювання й використання водню в системі «паливна комірка – металогідридний акумулятор». Обрана конструкція металогідридного акумулятора водню довжиною $L=0,15$ м з внутрішнім діаметром 0,04 м продуктивністю до 0,035 г/с.

На основі розрахунків обрано електролізер ЕВТ 1,0 – 150 продуктивністю 1 м³ Н₂ і 0,5 м³ О₂, що забезпечує отримання водню і кисню високого тиску 15,0 МПа без використання компресора та повністю задовольняє технічні потреби газобалонної системи зберігання водню і кисню. Обрана паливна комірка DBX5000 потужністю 5,0 кВт, що забезпечує максимальні потреби електроенергії споживача автономного будинку.

На основі проведених досліджень розроблені пропозиції щодо впровадження перспективних металогідридних систем енергозабезпечення на базі паливних комірок підвищеної потужності.

Показано, що спільне використання сучасних технологій генерування, зберігання та використання водню дозволяють підвищити ефективність перетворення енергії та значно розширити сфери його застосування, особливо для автономних систем енергозабезпечення з вітроенергетичною установкою і водневим накопичувачем енергії.

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТІВ ПРОГРАМИ «РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД ОТРИМАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ» В WEB- СЕРЕДОВИЩІ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ В НАЦІОНАЛЬНИХ ТА МІЖНАРОДНИХ ПРОГРАМАХ

Білан І.І., Левіна Д.А., Гудименко Т.В. Рудий Р.Б., Ковальова Л.О.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
03680, м. Київ, вул. Кржижановського, 3, e-mail: belanira2014@gmail.com

Результатом моніторингу виконання проектів програми «Розвиток наукових засад отримання, зберігання та використання водню в системах автономного енергозабезпечення» стало створення оновлених профілів проектів та їх розміщення англійською та українською мовами на відповідних сторінках веб-сайту програми на домені materials.kiev.ua з метою розповсюдження інформації про цілі, задачі, зміст, очікувані та отримані результати та їх конкурентоспроможність.

Детальний аналіз останніх конкурсів програми Горизонт 2020 – конкурсів Green Deal (так званої Зеленої Угоди), в рамках яких надається підтримка в проведенні досліджень і впровадженні інновацій, пов'язаних із Зеленою угодою, на суму близько 1 млрд євро, дозволив оцінити потенціал участі в проектах такого роду та створити відповідні профілі українських учасників. Це надасть можливість використання інструменту пошуку партнерів для участі в проектах програми Горизонт 2020 (Partner search, розміщений на сайті відповідного конкурсу).

Проведено моніторинг програмних документів та наукових результатів, пов'язаних з значними перспективами України як європейського партнера з отримання та транспортування водню до Європи.

В роботі наведені результати наукометричного аналізу найбільш актуальних та перспективних аспектів водневого матеріалознавства та водневих технологій програми «Розвиток наукових засад отримання, зберігання та використання водню в системах автономного енергозабезпечення» з використанням можливостей бази даних “Scopus”: матеріали та технології створення потужних електролізерів, короткостроковий та довгостроковий вплив водневих сумішей на матеріали газотранспортних систем та методи їх неруйнівного контролю, використання металогідридів для зберігання та транспортування водню.

Аналіз конкурсів та профінансованих проектів спільної ініціативи “Паливні комірки та водень” (Fuel Cells and H₂ Joint Undertaking), а також її програмних документів дозволив розпочати роботу з формування пропозицій щодо участі у наступній програмі Європейського міжнародного співробітництва Горизонт Європа.

Центром «Водень Інфо» організовано звітну наукову сесію за результатами виконання проектів програми, підготовлено електронна версія збірки тез, тези та матеріали презентацій розміщено на сайті програми.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ОДНОКРАТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ У ВОДНІ ТА СУМІШАХ (95%Ar+5%H₂), (85%N₂+10%H₂+5%CO₂) і (40%CH₄+60%CO₂) НА МІЦНІСТЬ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ КЕРАМІК СИСТЕМ ZrO₂-Y₂O₃-NiO ТА ZrO₂-Y₂O₃-NiO-CuO-Al₂O₃ РІЗНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТОПК НА ЖАРОМІЦНІСТЬ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ МАХ-ФАЗ ТИТАНУ СТРУКТУРНИХ МОДИФІКАЦІЙ
312 І 211

**Осташ О.П.(1), Василів Б.Д.(1), Подгурська В.Я.(1), Васильєв О.Д.(2) ,
Бродніковський Є.М.(2), Полішко І.О.(2) , Даніленко І.А.(3), Шило А.В.(3) Пріхна Т.О.(4),
Свердун В.Б.(4)**

⁽¹⁾ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, fmidep17@gmail.com

⁽²⁾ Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
03680, м. Київ, вул. Кржижанівського, 3, oleksa.vasylyev@gmail.com

⁽³⁾ Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України,
03028, м. Київ, проспект Науки, 46, igord69@ukr.net

⁽⁴⁾ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2, prikhna@ukr.net

Досліджено механічну поведінку матеріалу системи ZrO₂-Y₂O₃-NiO для анода-підкладки твердооксидної паливної комірки (ТОПК), виготовленого методом стрічкового лиття за технологією, розробленою в ПІМ НАН України. Встановлено, що кераміка цієї системи, отримана за цією технологією, є перспективнішою для виготовлення анодів-підкладок ТОПК, ніж одержана спіканням порошків. Вона має дрібніше зерно і одноріднішу структуру, що зумовлює підвищення її міцності на 63%. Після однократного відновлення такої кераміки за наявності двоокису вуглецю у воденьвмісному середовищі (N₂-10%H₂-5%CO₂) міцність кермету 8YSZ-Ni знижується на 15% порівняно з відновленим у суміші Ar-5%H₂. Це пов'язано з осадженням вуглецю на міжфазних межах ZrO₂-Ni. При цьому електропровідність кермету зростає на 30%.

Також досліджували матеріал системи ZrO₂-Y₂O₃-NiO-CuO-Al₂O₃ для анода-підкладки ТОПК, отриманий порошковою металургією за технологією, розробленою в ДФТІ НАНУ. Оптимізовано технологічні режими одержання кераміки складу 50%(ZrO₂ – 8 мол.% Y₂O₃ – 2 ваг.% Al₂O₃) + 50%(NiO – 5 ваг.% CuO) за температурою прожарювання порошків (700 °С) та їх спікання (1400 °С), що дозволило отримати дрібнозернисту структуру та підвищену міцність і електропровідність відповідного кермету. Після відновлення у газовій суміші N₂-10%H₂-5%CO₂ він не втрачає свої фізико-механічні властивості порівняно з вихідним станом, проте потребує подальшого підвищення міцності та електропровідності для застосування в якості анодного матеріалу ТОПК, які працюють, наприклад, на синтез-газі.

Для створення облежених з'єднувальних елементів ТОПК запропоновано технологію їх виготовлення, яка полягає в напиленні плазмово-дуговим способом покриття на основі МАХ-фази титану на тонку титанову пластину.

ПРИГОТУВАННЯ ЗРАЗКІВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВОВАНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ АЛЮМОВОДНЕВОГО ГЕНЕРАТОРА ВОДНЮ. РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ НЕОБХІДНИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ ВОДНЕВО-ПОВІТРЯНИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК

Пірський Ю.К., Манілевич Ф.Д., Панчишин Т.М., Данильцев Б.І., Богданова А.К.,
Куций А.В.

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України
03680, Київ-142, пр. Палладіна 32/34, e-mail: pirsky@ionc.kiev.ua

Проект, що виконується авторами, направлений на створення автономного джерела електроживлення, яке буде складатися з воднево-повітряних паливних комірок, об'єднаних в батарею, та під'єданого до них генератора водню гідролізного типу. Протягом другого етапу даного проекту приготувані зразки енергоакуюлюючих речовин на основі алюмінію та досліджені закономірності генерування водню з води шляхом їхнього гідролізу, а також розроблені та виготовлені комплектуючі та компоненти експериментальної батареї воднево-повітряних паливних комірок.

Розроблювані енергоакуюлюючі речовини на основі алюмінію мають забезпечити виділення водню з води при кімнатній температурі і в кількості, достатній для живлення паливних комірок потрібної потужності. Для досягнення високої швидкості гідролізу алюмінію запропоновано використовувати алюмінієві порошки, механо-хімічно активовані легкоплавкими металами. Випробували порошки марок РА-4 та АСД-1, які активували евтектичним сплавом Ga-In-Sn ($t_{\text{пл.}} = 10.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$) в кількості 5 мас.% шляхом розтирання у кульовому планетарному млині Fritsch Pulverisette P6 зі сталевими кульками протягом 1 години (РА-4) та протягом 4 годин (АСД-1) при швидкості обертання 400 об./хв. або в керамічній ступці вручну. Встановили, що частина порошоків, активованих у млині, утворювала грудки, які згідно даних, отриманих за допомогою скануючого електронного мікроскопа EVO 40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy, збагачені евтектикою Ga-In-Sn ($\gg 5$ мас.%), локалізованою на поверхні зерен алюмінію. Зерна порошоків, які не увійшли до складу грудок, на своїй поверхні мали незначну кількість евтектичного сплаву ($\ll 5$ мас.%). При розтиранні в ступці грудки активованих алюмінієвих порошоків не утворювались. В результаті активації на поверхні зерен порошоків алюмінію утворювались його сплави з легуючими елементами, що зробило можливим взаємодію алюмінію з водою. Закономірності гідролізу отриманих порошоків при 25°C вивчали шляхом періодичного визначення об'єму водню, що виділявся під час гідролізу у волюмометричній установці. Встановили, що механо-хімічна активація алюмінієвих порошоків евтектикою GaInSn (5 мас.%) у планетарному кульовому млині та в керамічній ступці дозволяє отримувати матеріали, здатні виділяти водень з води з високою швидкістю при температурі 25°C . Однак, розподіл евтектичного сплаву в матеріалах, отриманих у млині, був дуже нерівномірним, тому активність активованих порошоків, які входили до складу грудок, значно перевищувала активність порошоків, які до складу грудок не увійшли.

Батарея воднево-повітряних паливних комірок буде складатись, як мінімум із двох мембранно-електродних блоків із спільною паливною камерою. Для створення зразків низькотемпературних воднево-повітряних паливних комірок на основі високоефективних мембранно-електродних блоків нового покоління виготовлені деталі корпусу комбінованої паливної комірки, герметизуючі прокладки мембранно-електродного блоку, струмовідводи та інші. Проведені випробування показали достатню герметичність та працездатність виготовлених паливних комірок.

Поєднання алюмоводневого генератора та паливних комірок в одному пристрої дасть можливість одержати автономне джерело електроживлення для забезпечення електричним струмом портативних та мобільних електронних та електричних приладів та апаратів.

СТРУКТУРНІ, ІМПЕДАНСНІ ТА ЕЛЕКТРОННОМІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ СИСТЕМ КЕРАМІЧНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ ТА АНОДНОГО МАТЕРІАЛУ

В'юнов О.І.⁽¹⁾, Коваленко Л.Л.⁽¹⁾, Янчевський О. З.⁽¹⁾, Білоус А.Г.⁽¹⁾, Полішко І.О.⁽²⁾, Бродніковський Є.М.⁽²⁾, Лисуненко Н.О.⁽²⁾, Бродніковський Д.М.⁽²⁾, Бродніковська І.В.⁽²⁾, Бричевський М.М.⁽²⁾, Васильєв О.Д.⁽²⁾

⁽¹⁾ Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України
03680, Київ-142, пр. Паладіна 32/34, belous@ionc.kiev.ua

⁽²⁾ Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
03680, Київ, вул. Кржижановського 3, bregor@ukr.net

Перспективність створення керамічних оксидних паливних комірок на основі багатошарових систем обумовлена високою ефективністю, компактністю та екологічністю. Застосування електроліту, який має високу провідність по кисню, зменшує омичні втрати, що дозволяє суттєво збільшити питому потужність оксидних паливних комірок. Тому в якості твердого електроліту перспективно використовувати цирконієву матрицю ZrO_2 , стабілізовану складними оксидами скандію (III) і церію (IV), яка характеризується високою провідністю по кисню. В той час, метод синтезу порошків стабілізованого діоксиду цирконію впливає на електрофізичні властивості одержаного електроліту.

З цією метою, на даному етапі роботи, нами була розроблена методологія одержання порошків $(ZrO_2)_{0.80}(Y_2O_3)_{0.02}(Ce_2O_3)_{0.08}$ ($8Ce2YSZ$) різними методами (гідротермальний методом і методом осадження) та дослідження електрофізичних властивостей керамічних зразків на їх основі.

Синтез системи $8Ce2YSZ$ проводили осаджуванням з водних розчинів. За вихідні реагенти використовували $ZrCl_4$, $Y(NO_3)_3$, $Ce(NO_3)_3$ і NH_4OH . Встановлено, що при використанні послідовного осадження за оптимальних значень рН, формуються слабкоагломеровані нанопорошки (Кфільтр = $(0.8 \div 1.5) \times 10^{-5}$ см/с), які легко фільтруються, на відміну від осадів такого ж складу, які отримуються методом сумісного осадження (Кфільтр = $(2 \div 5) \times 10^{-7}$ см/с). З одержаних слабкоагломерованих нанопорошків методом послідовного осадження, одержували керамічні зразки. Спикання зразків $8Ce2YSZ$ при температурах 1400-1450 °С/2-3 год дозволило отримати щільну ($5,45-5,67$ г/см³) кераміку з однофазною $t-ZrO_2$ структурою. Проведені імпедансні дослідження керамічних зразків в широкому частотному (1 Гц - 32 МГц) та температурному (20-800°С) діапазонах показали, що кераміка складу $8Ce2YSZ$ характеризується високою провідністю по кисню, а саме: $1.1 \cdot 10^{-3}$ См/см (при 600°С); $4 \cdot 10^{-3}$ См/см (при 700 °С); $1,2 \cdot 10^{-2}$ См/см (при 800 °С) енергія активації – 1.015еВ, в той час електронна провідність нижче на два порядки.

Синтез системи $8Ce2YSZ$ також проводили гідротермальним методом. Автоклав нагрівали до 250°С, час витримки 24 години, тиск 20МПа. За вихідні реагенти використовували, що і при методі осаджування з розчинів. З одержаних гідротермальним методом порошків одержували керамічні зразки. При спиканні при температурах 1390-1400 °С/10-12 год одержувалися однофазна кераміка з кубичною структурою діоксиду цирконію. Проведені імпедансні дослідження керамічних зразків в широкому частотному (1 Гц - 32 МГц) та температурному (20-800°С) діапазонах показали, що кераміка складу $8Ce2YSZ$ має характеристики провідності по кисню, а саме: $9 \cdot 10^{-4}$ См/см (при 600°С); $3,4 \cdot 10^{-3}$ См/см (при 700 °С),); $1,2 \cdot 10^{-2}$ См/см (при 800 °С) енергія активації – 1.07еВ, при цьому електронна провідність на 2 порядки нижча, порівняно з провідністю по кисню.

Таким чином, синтезовані порошки різними методами (гідротермальний методом і методом осадження) на основі діоксиду цирконію, стабілізованого комплексними стабілізуючими добавками характеризуються в області температур (600-700°С) високою іонною провідністю і можуть бути використані як тверді електроліти для низькотемпературних паливних комірок.

МІЦНІСТЬ ТА ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ ЦИРКОНІЄВО-ОКСИДНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ СПІЛЬНОСТАБІЛІЗОВАНОГО ОКСИДАМИ ЦЕРІЮ ТА ІТРИЮ

Полішко І.О.⁽¹⁾, Лисуненко Н.О.⁽¹⁾, Марек І.О.⁽¹⁾, Смирнова-Замкова М.Ю.⁽¹⁾,
Бродніковський Д.М.⁽¹⁾, Чедрик В.І.⁽²⁾, Бричевський М.М.⁽¹⁾, Бродніковська І.В.⁽¹⁾,
Іванченко С.Е.⁽¹⁾, Барановський Д.І.⁽¹⁾, В'юнов О.І.⁽³⁾, Коваленко Л.Л.⁽³⁾, Янчевський О.
З.⁽³⁾, Васильєв О.Д.⁽¹⁾, Рагуля А.В.⁽¹⁾, Білоус А.Г.⁽³⁾, Бродніковський Є.М.⁽¹⁾

⁽¹⁾Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
03142, вул. Кржижановського, 3, м. Київ, bregor@ukr.net

⁽²⁾Інститут Фізичної Хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, 03028, пр-т Науки, 31, Київ.

⁽³⁾Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, 03680, пр.
Паладіна 32/34, Київ-142, belous@ionc.kiev.ua

Високі робочі температури керамічних паливних комірок (КПК) накладають жорсткі вимоги на вибір матеріалів складових енергосистеми. Зниження робочої температури КПК дозволяє збільшити номенклатуру матеріалів, які можуть бути використані при виготовленні енергосистеми на основі КПК, та підвищити її надійність при довготривалій роботі, що, відповідно, зробить їх комерційно привабливішими. Відомо, що зниження робочої температури призводить до зниження іонної провідності традиційного цирконій-оксидного електроліту і, як наслідок, ефективності роботи всієї комірки. Вирішення цієї проблеми можливе через використання альтернативного електролітного матеріалу з вищою іонною провідністю або через зменшення товщини електроліту.

Другий етап Проекту, результати якого зараз і обговорюються, присвячений пошукові можливості підвищити електричні властивості цирконієво-оксидної кераміки через вдосконалення складу стабілізуючих добавок та дослідженню впливу методу синтезу порошку на властивості кераміки, а також дослідженню електричних властивостей керамічної паливної комірки (КПК) в залежності від складу синтетичного газу в модельному паливі (5 % сингаз + 95 % аргон).

За результатами роботи встановлено, що виготовлені за одним методом керамічні зразки 8Ce2YSZ (діоксиду цирконію, стабілізований 8-мол.% оксиду церію та 2-мол.% оксиду ітрію), але на основі порошоків, синтезованих різними методами, продемонстрували на порядок вищі значення електричної провідності у порівнянні з традиційним електролітним матеріалом КПК (8YSZ) в усьому температурному інтервалі досліджень (200-800 °С). Найбільша різниця значень електропровідності спостерігалась при температурі дослідження 600 °С – 8Ce2YSZ (гідротермальний) $0,9 \cdot 10^{-3}$ См/см; 8Ce2YSZ (співосаження) $1,1 \cdot 10^{-3}$ См/см; 8YSZ (співосаження) $0,8 \cdot 10^{-4}$ См/см. Важливо відмітити, що метод синтезу порошку 8Ce2YSZ впливає на властивості кераміки, виготовленої з нього. Так, 8Ce2YSZ зразки, виготовлені на основі гідротермального та співосаженого порошоків, продемонстрували відносно високу різницю в значеннях міцності – 542 МПа та 486 МПа, відповідно. Ймовірно, наявність такої різниці у фізичних та механічних властивостях керамічних зразків обумовлена різницею властивостей вхідних порошоків та будовою виготовленої з них кераміки, що потребує подальшого вивчення.

При проведенні досліджень електричних властивостей КПК в залежності від складу синтетичного газу у модельному паливі встановлено, що збільшення вмісту моновуглецю в модельному паливі є чутливим для роботи КПК і відображається у зменшенні її електричних показників.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КИСНЮ НА ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРАХ НА ОСНОВІ КАРБОНІЗОВАНИХ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ АЗОТВІСНИХ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІМЕРІВ

Курись Я.І., Парійська О.О., Мазур Д.О., Кошечко В.Г., Походенко В.Д.

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України
03028, Київ-28, пр. Науки 31, e-mail: kurys@inphyschem-nas.kiev.ua

Карбонізацією допованого фосфорною кислотою поліаніліну (ПАНі) разом з сіллю Со (II) одержано одночасно доповані азотом та фосфором вуглецеві наноккомпозити з частинками CoP_x – $\text{CoP}_x/\text{Co-N,P-C}$, які здатні проявляти високу електрокаталітичну активність у РВК в кислому та лужному електролітах. Показано, що H_3PO_4 в структурі полімеру-попередника може відігравати роль не тільки джерела фосфору, але й пороутворюючого агенту, що забезпечує зростання електрохімічно активної площі поверхні електрокаталізатору. Розглянуто відмінності в електрокаталітичних властивостях у РВК для $\text{CoP}_x/\text{Co-N,P-C}$ наноккомпозитів одержаних карбонізацією ПАНі, допованого зазначеною кислотою *in situ* та допованої H_3PO_4 попередньо синтезованої основи емеральдіну (недовованої форми ПАНі).

З метою з'ясування вкладу Co_9S_8 на електрокаталітичну активність у РВК одержаних на першому етапі гібридних каталізаторів $\text{Co}_9\text{S}_8/\text{Co-N-C}$ синтезовано та охарактеризовано нанорозмірний октасульфід кобальта як в індивідуальному стані, так і нанесений на нанорозмірну сажу Vulcan XC72 ($\text{Co}_9\text{S}_8/\text{C}$), а також досліджено їх електрохімічні властивості у зазначеному процесі. Встановлено, що на відміну від кислого електроліту, в 1,0 М КОН $\text{Co}_9\text{S}_8/\text{C}$ має достатньо високу активність у РВК, що не виключає внесок сульфід кобальту як активного компоненту $\text{Co}_9\text{S}_8/\text{Co-N-C}$ електрокаталізаторів при їхньому функціонуванні в електролітах з високим рН. Для перевірки даного припущення із використанням полі-5-аміноіндолу синтезовано та досліджено електрокаталітичні властивості у РВК каталізаторів $\text{Co}_9\text{S}_8/\text{Co-N-C}$ з високим та низьким вмістом октасульфід кобальта.

Показана можливість використання глибоко евтектичного розчинника (DES) на основі *1-бутил-3-метилімідазолій хлориду* ($[\text{Bmim}]\text{Cl}$) та гідратованого нітрату Со (II) як джерела азоту та кобальту для створення високоефективних карбонізованих Co-N-C електрокаталізаторів реакції відновлення кисню (РВК) у лужних електролітах, які характеризуються у зазначеному процесі високою величиною потенціалу напівхвилі ($E_{1/2} \sim 0,86-0,89$ В, відн. RHE), що майже не поступається такій для Pt/C каталізатору. Встановлено, що РВК на одержаних наноккомпозиційних електрокаталізаторах проходить переважно за 4-х електронним механізмом – кількість електронів, що приймають участь у відновленні 1 молекули кисню (n) становить $\sim 3,7-3,9$, а вихід перекису водню, який є небажаним інтермедіатом, не перевищує 15%. Однією з причин виявлених високих електрокаталітичних характеристик синтезованих наноккомпозитів може бути ефективне утворення в них каталітично активних Co-N_x центрів, чому сприяє те, що кобальт, утворюючи міцний водневий зв'язок з лігандом, є рівномірно розподіленим у DES.

Запропоновано зручний підхід до одержання Co-N-C електрокаталізаторів на основі ПАНі, що базується на використанні для формування полімерного композиту-попередника, який піддається подальшій карбонізації, відповідного мономеру, перекису водню, солі кобальту (II) та каталітичної кількості солі заліза (III). Такий підхід, з одного боку, виключає стадію попереднього одержання ПАНі, а з іншого – дозволяє уникнути формування в процесі карбонізації наночастинок Co_9S_8 у складі Co-N-C електрокаталізаторів, що може бути перспективним за їх застосування у кислому електроліті.

СТВОРЕННЯ ПРОТОНООБМІННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАЛИВНИХ КОМІРОК НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН І ОЛІГОМЕРНИХ ЙОННИХ РІДИН

Стрюцький О.В., Клименко Н.С., Гуменна М.А., Клепко В.В., Шевченко В.В.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
02160, Київ, Харківське шосе, 48, e-mail: valpshevchenko@gmail.com

Одним з перспективних способів підвищення ефективності полімерелектролітних паливних комірок є збільшення температур їх функціонування понад 100°C шляхом використання олігомерних іонних рідин (ОІР) як полімерних електролітів. Напрямок створення ОІР як катіонпровідних середовищ вперше запропонований нами. Він активно розвивається в аспекті молекулярного дизайну, сприятливого для реалізації ефективного протонного переносу, в тому числі за рахунок формування впорядкованих протонопровідних каналів в структурі ППМ. Здатність даних сполук існувати в рідкому агрегатному стані за температур нижче 100°C відкриває можливість використання їх як допантів для просочування промислових пористих мембран при отриманні термостабільних ППМ.

На даному етапі виконання проекту нами розроблено способи синтезу протонних катіонних ОІР лінійної та розгалуженої будови нейтралізацією відповідно лінійних та силсесквіоксанових основних олігомерів низькомолекулярними органічними сульфокислотами. Як вихідний основний олігомер лінійної будови використовували продукт реакції α,ω -дигліцидилового етеру олігооксиетиленгліколю (ММ 1000) з 2-амінопіридином або 2-аміно-3-метилпіридином. Як олігомер розгалуженої будови було використано олігомерний силсесквіоксан, що містить третинні аміногрупи у поєднанні з гідроксильними групами в органічному обрамленні силсесквіоксанового ядра. Повною або частковою нейтралізацією основних центрів запропонованих основних олігомерів етан- та *n*-толуолсульфокислотою синтезовано реакційноздатні протонні катіонні ОІР.

Будову отриманих ОІР доведено методами ІЧ- та ^1H ЯМР спектроскопії.

Встановлено, що серед лінійних ОІР наявні як повністю аморфні сполуки з переходом склування (T_g) в області температур від -54.6 °C до -31.0 °C, так і сполуки, що містять низькоплавку кристалічну фазу з температурою плавлення (18-29) °C. Синтезовані сполуки термічно стабільні до (203-220) °C. Максимальну йонну провідність в безводних умовах досягнуто для 3-метилпіридиній етансульфонатної ОІР, значення якої складає $1.36 \cdot 10^{-3}$ См/см при 120 °C.

Встановлено, що кремнійорганічні розгалужені ОІР мають аморфну структуру, а значення їх T_g складає -29.5 °C та -8.7 °C відповідно для етан- та *n*-толуол сульфонатної сполуки. Показано, що дані сполуки термічно стабільні до 259-274°C. Провідність ОІР з етансульфонат аніоном в своєму складі є вищою порівняно з *n*-толуолсульфонатним аналогом і становить $2.4 \cdot 10^{-4}$ См/см при 80 °C в безводних умовах.

Розроблено методи отримання полімерних протоннообмінних мембран на основі промислових термостійких полімерів та синтезованих катіонних протонних кремнійорганічних ОІР розгалуженої будови як допантів, які базуються на просочуванні пористих поліетилентерефталатних трекових мембран з різним розміром пор (0.1 мкм та 1.0 мкм) синтезованими ОІР. Встановлено, що отримані мембрани термічно стабільні до (250-290) °C та характеризуються протонною провідністю (10^{-6} - 10^{-5}) См/см при 100 °C в безводних умовах.

Отримані результати дозволяють розглядати розроблені ОІР як перспективні допанти для ППМ з безводним механізмом провідності для полімерелектролітних водневих паливних комірок.

РОЗРОБЛЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ТА НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БІОГАЗУ З ОТРИМАННЯМ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ДЛЯ МОДУЛЯ КОНВЕРСІЇ МЕТАНУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Соловйов С.О., Кирієнко П.І., Капран А.Ю.

Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України,
03028, Київ-28, проспект Науки, 31, soloviev@inphyschem-nas.kiev.ua

З використанням методів РФА та СЕМ показано, що введення оксидів рідкісноземельних елементів (ОРЗЕ: La_2O_3 , CeO_2) до складу каталізаторів $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ /кордієрит сприяє повному відновленню нікелю, що забезпечує підвищення їх активності у процесах окиснювального (парового, вуглекислотного) риформінгу метану.

Модифікування $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ -композицій оксидами рідкісноземельних елементів підвищує їх стійкість до завуглецювання у зазначених процесах риформінгу за рахунок досягнення необхідного балансу між швидкостями дисоціації метану та активації окисника (H_2O , CO_2).

Тривале експонування каталізаторів $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ /кордієрит у SO_2 -вмісному середовищі призводить до їх дезактивації в процесах окиснювальної конверсії метану. Модифікування цих каталізаторів оксидами рідкісноземельних та лужних металів підвищує їх стійкість до завуглецювання, а також до дії SO_2 . Найвищою стійкістю до дії SO_2 характеризуються каталізатори, модифіковані ОРЗЕ (La_2O_3 , CeO_2), а також добавками сполук калію.

Встановлено, що отруєння сполуками сірки обумовлено присутністю нікелю в складі каталізатора у стані Ni^0 . Відновлення каталітичної активності можливе при обробленні воднем за високих температур попередньо окисненого каталізатора. Відновлення активності відбувається за рахунок вилучення переважної кількості сірковмісних сполук з поверхні окисненого каталізатора.

Виявлено, що при збільшенні ступеню деалюмінвання цеолітів Ni-BEA підвищується їх каталітична активність стосовно конверсії суміші $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ та стійкість до завуглецювання в процесах вуглекислотного риформінгу метану. Модифікування цеолітів Ni-BEA добавками CeO_2 також сприяє підвищенню їх каталітичної активності.

Каталізатор Ni-Ce-BEA виявив високу стабільність роботи впродовж кількох каталітичних циклів. Присутність сполук сірки у реакційній суміші призводить до часткової дезактивації каталізатора.

Активація реагентів (CH_4 та CO_2) плазмою бар'єрного розряду сприяє зниженню температури досягнення високих конверсій на $300\text{-}400^\circ\text{C}$.

Здатність структурованих $\text{Ni/Al}_2\text{O}_3$ /кордієрит та цеолітних Ni-BEA каталізаторів до регенерації знижується при повторенні циклів отруєння–регенерація.

Оглавление

ОТРИМАННЯ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАЛИШКОВИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ФІЛЬТРАТУ, ЩО УТВОРИВСЯ ПІСЛЯ ВОДНЕВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ТВЕРДИХ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ, У СПЕЦІАЛЬНОМУ МОДУЛІ.....	2
Говоруха В.М., Гаврилюк О.А., Таширеві О.Б.	2
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ СИСТЕМ ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ГЕЛІОВОДНЕВИХ АВТОНОМНИХ УСТАНОВОК ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	3
Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Воробйова І.О., Семикін В.М.	3
ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ АВТОНОМНОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ВОДНЕВОЇ УСТАНОВКИ. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ У ГАРЯЧИЙ ЗБАГАЧЕНИЙ ВОДНЕМ СИНТЕЗ-ГАЗ ДЛЯ РОБОТИ В АВТОНОМНІЙ КОМБІНОВАНІЙ КОГЕНЕРАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ З ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ НА ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ.....	4
Дудник О.М., Соколовська І.С.	4
РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ..	5
Морозов Ю.П., Кудря С.О., Кузнецов М.П.	5
РОЗРОБЛЕННЯ ШЛЯХІВ І ЕТАПІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ, НА ТРАНСПОРТІ, В ПРОМИСЛОВІСТІ ТА КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ	6
Кудря С.О., Кузнецов М.П., Морозов Ю.П.	6
ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ КОМПОЗИТНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ КОМІРКИ З АКУМУЛЮВАННЯМ ВОДНЮ	8
Русецький І.А., Данилов М.О., Фоманюк С.С., Щербакова Л.Г. ⁽¹⁾ , Колбасов Г.Я., Солонін Ю.М. ⁽¹⁾	8
ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУМІСНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ДОННИХ МУЛІВ І ГУМОВОГО КРИШИВА ЗНОШЕНИХ ШИН І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ТАКОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ В УМОВАХ, НАБЛИЖЕНИХ ДО РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄМНОГО ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ В ПРОМИСЛОВОМУ РЕАКТОРІ.....	9
Жовтянський В.А., Назаренко В.Г., Остапчук М.В.	9
ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ВОДНЮ У МОТОТРАНСПОРТІ (ПІДГОТОВКА СПЛАВУ ДО РОБОТИ ТА АКТИВАЦІЯ).....	10
Щур Д.В., Золотаренко Ан. Д., Золотаренко Ал. Д., Гаврилюк Н.А., Копилова Л.І., Шапошнікова Т.І., ⁽²⁾ Сагдієв М. С.	10
МАКЕТУВАННЯ ТА ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛІВ І МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ, РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЬОГО, ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ	11
Савицький М.М., Савицький О.М., Ващенко В.М., Шкрабалюк Ю.М.	11
ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ МН ТА ПОВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОДІВ, ПІДБОР ПАРАМЕТРІВ ЇХ СУМІСНОЇ РОБОТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗРЯДУ В ФЕХ КОМІРЦІ	12

Щербакова Л.Г., Грайворонська К.А., Крапивка М.О., Солонін Ю.М.....	12
МЕХАНОСИНТЕЗ ГІДРОУТВОРЮЮЧОГО СПЛАВУ Mg + 10 % ваг. Ni РЕАКТИВНИМ ПОМЕЛОМ СУМІШІ ПОРОШКІВ MgH ₂ і Ni ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВОДЕНЬСОРБУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ТЕМПЕРАТУРИ І КІНЕТИКИ РОЗКЛАДУ	13
Єршова О.Г., Солонін Ю.М.....	13
СИНТЕЗ ГІДРИДНИХ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ МАГНІЮ ТА АПРОБАЦІЯ ЇХ В ПРИСТРОЯХ АКУМУЛЮВАННЯ І ГЕНЕРУВАННЯ ВОДНЮ	14
Березовець В.В., Вербовицький Ю.В., Завалій І.Ю.	14
МЕТАЛОГІДРИДНІ АКУМУЛЯТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДАЧІ ВОДНЮ ДО ПАЛИВНИХ КОМПОК 15	
Мацевитий Ю.М., Авраменко А.М., Чорна Н.А.....	15
РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТІВ ПРОГРАМИ «РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД ОТРИМАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ» В WEB-СЕРЕДОВИЩІ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ В НАЦІОНАЛЬНИХ ТА МІЖНАРОДНИХ ПРОГРАМАХ	16
Білан І.І., Левіна Д.А., Гудименко Т.В. Рудий Р.Б., Ковальова Л.О.....	16
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ОДНОКРАТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ У ВОДНІ ТА СУМІШАХ (95%ar+5%H ₂), (85%N ₂ +10%H ₂ +5%CO ₂) і (40%CH ₄ +60%CO ₂) НА МІЦНІСТЬ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ КЕРАМІК СИСТЕМ ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ -NiO ТА ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ -NiO-CuO-Al ₂ O ₃ РІЗНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТОПК НА ЖАРОМІЦНІСТЬ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ МАХ-ФАЗ ТИТАНУ СТРУКТУРНИХ МОДИФІКАЦІЙ 312 І 211.....	17
Осташ О.П.(1), Василів Б.Д.(1), Подгурська В.Я.(1), Васильєв О.Д.(2) , Бродніковський С.М.(2), Полішко І.О.(2) , Даніленко І.А.(3), Шило А.В.(3) Пріхна Т.О.(4), Свердун В.Б.(4).....	17
ПРИГОТУВАННЯ ЗРАЗКІВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВОВАНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ АЛЮМОВОДНЕВОГО ГЕНЕРАТОРА ВОДНЮ. РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ НЕОБХІДНИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ ВОДНЕВО-ПОВІТРЯНИХ ПАЛИВНИХ КОМПОК.....	18
Пірський Ю.К., Манілевич Ф.Д., Панчишин Т.М., Данильцев Б.І., Богданова А.К., Куций А.В.....	18
СТРУКТУРНІ, ІМПЕДАНСНІ ТА ЕЛЕКТРОННОМІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ СИСТЕМ КЕРАМІЧНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ ТА АНОДНОГО МАТЕРІАЛУ	19
В'юнов О.І. ⁽¹⁾ , Коваленко Л.Л. ⁽¹⁾ , Янчевський О. З. ⁽¹⁾ , Білоус А.Г. ⁽¹⁾ , Полішко І.О. ⁽²⁾ , Бродніковський С.М. ⁽²⁾ , Лисуненко Н.О. ⁽²⁾ , Бродніковський Д.М. ⁽²⁾ , Бродніковська І.В. ⁽²⁾ , Бричевський М.М. ⁽²⁾ , Васильєв О.Д. ⁽²⁾	19
МІЦНІСТЬ ТА ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ ЦИРКОНІЄВО-ОКСИДНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ СПІЛЬНОСТАБІЛІЗОВАНОГО ОКСИДАМИ ЦЕРІЮ ТА ІТРІЮ.....	20
Полішко І.О. ⁽¹⁾ , Лисуненко Н.О. ⁽¹⁾ , Марек І.О. ⁽¹⁾ , Смирнова-Замкова М.Ю. ⁽¹⁾ , Бродніковський Д.М. ⁽¹⁾ , Чедрик В.І. ⁽²⁾ , Бричевський М.М. ⁽¹⁾ , Бродніковська І.В. ⁽¹⁾ , Іванченко С.Е. ⁽¹⁾ , Барановський Д.І. ⁽¹⁾ , В'юнов О.І. ⁽³⁾ , Коваленко Л.Л. ⁽³⁾ , Янчевський О. З. ⁽³⁾ , Васильєв О.Д. ⁽¹⁾ , Рагуля А.В. ⁽¹⁾ , Білоус А.Г. ⁽³⁾ , Бродніковський С.М. ⁽¹⁾	20
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КИСНЮ НА ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРАХ НА ОСНОВІ КАРБОНІЗОВАНИХ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ АЗОТВІСНИХ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІМЕРІВ	21

Курись Я.І., Парійська О.О., Мазур Д.О., Кошечко В.Г., Походенко В.Д.	21
СТВОРЕННЯ ПРОТОНООБМІННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАЛИВНИХ КОМІРОК НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН І ОЛІГОМЕРНИХ ЙОННИХ РІДИН	22
Стрюцький О.В., Клименко Н.С., Гуменна М.А., Клепко В.В., Шевченко В.В.	22
РОЗРОБЛЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ТА НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БІОГАЗУ З ОТРИМАННЯМ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ДЛЯ МОДУЛЯ КОНВЕРСІЇ МЕТАНУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	23
Соловйов С.О., Кирієнко П.І., Капран А.Ю.	23

Авторський показчик

Авраменко А.М.	15	Коваленко Л.Л.	19, 20
Барановський Д.І.	20	Ковальова Л.О.	16
Березовець В.В.	14	Колбасов Г.Я.	8
Білан І.І.	16	Копилова Л.І.	10
Білоус А.Г.	19, 20	Кошечко В.Г.	21
Богданова А.К.	18	Крапивка М.О.	12
Бричевський М.М.	19, 20	Кудря С.О.	5, 6
Бродніковська І.В.	19, 20	Кузнецов М.П.	5, 6
Бродніковський Д.М.	19, 20	Курись Я.І.	21
Бродніковський Є.М.	17, 19, 20	Куций А.В.	18
В'юнов О.І.	19, 20	Левіна Д.А.	16
Василів Б.Д.	17	Лисуненко Н.О.	19, 20
Васильєв О.Д.	17, 19, 20	Мазур Д.О.	21
Ващенко В.М.	11	Манілевич Ф.Д.	18
Вербовицький Ю.В.	14	Марек І.О.	20
Воробйова І.О.	3	Мацевитий Ю.М.	15
Гаврилук Н.А.	10	Морозов Ю.П.	5, 6
Гаврилук О.А.	2	Назаренко В.Г.	9
Говоруха В.М.	2	Остапчук М.В.	9
Грайворонська К.А.	12	Осташ О.П.	17
Гудименко Т.В.	16	Панчишин Т.М.	18
Гуменна М.А.	22	Парійська О.О.	21
Данилов М.О.	8	Пірський Ю.К.	18
Данильцев Б.І.	18	Подгурська В.Я.	17
Даніленко І.А.	17	Полішко І.О.	17, 19, 20
Долгіх Л.Ю.	7	Походенко В.Д.	21
Дудник О.М.	4	Пріхна Т.О.	17
Єршова О.Г.	13	Пятницький Ю.І.	7
Жовтянський В.А.	9	Рагуля А.В.	20
Завалій І.Ю.	14	Рудий Р.Б.	16
Зіпунніков М.М.	3	Русецький І.А.	8
Золотаренко Ал. Д.	10	Савицький М.М.	11
Золотаренко Ан. Д.	10	Савицький О.М.	11
Іванченко С.Е.	20	Сагдієв М. С.	10
Капран А.Ю.	23	Свердун В.Б.	17
Кирієнко П.І.	23	Семикін В.М.	3
Клепко В.В.	22	Смирнова-Замкова М.Ю.	20
Клименко Н.С.	22	Соколовська І.С.	4

Соловей В.В.	3	Чедрик В.І.	20
Соловійов С.О.	23	Чорна Н.А.	15
Солонін Ю.М.	8, 12, 13	Шапошнікова Т.І.	10
Старая Л.О.	7	Шевченко В.В.	22
Столярчук І.Л.	7	Шило А.В.	17
Стрижак П.Є.	7	Шкрабальюк Ю.М.	11
Стрюцький О.В.	22	Щербакова Л.Г.	8, 12
Таширев О.Б.	2	Щур Д.В.	10
Трипольський А.І.	7	Янчевський О. З.	19, 20
Фоманюк С.С.	8		