

# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

## ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



*«Фундаментальні аспекти  
відновлювано-водневої енергетики і  
паливно-комірчаних технологій»*

## НАУКОВА ЗВІТНА СЕСІЯ



**Тези доповідей та програма сесії**

**7 ГРУДНЯ 2016 року**

**Київ**

**ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА  
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ  
«Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої  
енергетики і паливно-комірчаних технологій»**

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

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

***ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ ЗВІТНОЇ СЕСІЇ ЦКП***

***«Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої  
енергетики і паливно-комірчаних технологій»***

***ГОЛОВА КОМІТЕТУ —  
академік НАН України– Солонін Ю.М.***

**Секретар робочої групи - к.т.н. Єршова О.Г.,**

***ЧЛЕНИ КОМІТЕТУ***

**І.І. Білан, к.ф.-м.н.;**

**Л.І. Чернишев, к.т.н.;**

**Т.В.Гудименко, г.програм.;**

**Л.О. Ковальова інж. I кат;**

**В.І. Семенцов, зав.від.**

# ПРОГРАМА

## РЕГЛАМЕНТ РОБОТИ

СЕРЕДА, 7 ГРУДНЯ 2016 р.

**10.00–10.15**

### ***Відкриття сесії.***

Вступне слово віце-президента НАН України,  
академіка НАН України В.Г.Кошечко

Вступне слово голови наукової ради Програми  
академіка НАН України Ю.М. Солоніна

**10.15–11.35**

Засідання секції . **Отримання водню.** Дискусія.

**11.35–12.00**

**Кофе-брейк**

**12.00–13.20**

Засідання секції. **Зберігання водню.** Дискусія.

**13.20–14.05**

**Обід**

**14.05–15.20**

Засідання секції. **Паливні комірки.** Дискусія.

**15.20-16.00**

### ***Підведення підсумків сесії.***

Заключне слово голови наукової ради Програми  
академіка НАН України Ю.М. Солоніна

Заключне слово голови робочої групи Програми  
чл.-кор НАН України П.Є. Стрижака

# СЕРЕДА, 7 ГРУДНЯ 2016 р.

10.00–10.15

## *Відкриття сесії.*

Вступне слово віце-президента НАН України, акад. НАН України В.Г. Кошечко  
Вступне слово голови наукової ради Програми акад. НАН України Ю.М. Солоніна

## **10.15–11.35 ЗАСІДАННЯ СЕКЦІЇ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ**

### ***Головуючі:***

**Ю.М. Солонін** (*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України*)

**П.Є. Стрижак** (*Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України*)

### **РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ МАСООБМІНУ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ФЕРМЕНТЕРУ**

**Таширев О.Б., Говоруха В.М.**<sup>(1)</sup>

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,

*15 хвилин*

### **АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В ГАЗИФІКАТОРІ З РУХОМИМ ЩІЛЬНИМ ШАРОМ**

**Дудник О.М., Соколовська І.С.**

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України

*15 хвилин*

### **АКТИВНІСТЬ І СЕЛЕКТИВНІСТЬ СКЛАДНИХ ОКСИДІВ $MFe_2O_4$ ( $M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg$ ) В ПРОЦЕСІ ПАРОВОГО РИФОРМІНГУ КИСЕНЬ-ВМІСНИХ СПОЛУК БІОСИРОВИНИ**

**Л.Ю. Долгіх, І.Л. Столярчук, Ю.І. Пятницький, П.Є. Стрижак**

Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України

*15 хвилин*

### **ФОТОКАТАЛІТИЧНЕ ТА ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОДЕРЖАННЯ ВОДНЮ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОХІДНИХ ГІДРАЗИНУ ЗА УЧАСТЮ ШАРУВАТИХ НІОБАТІВ ТА ГЕТЕРОСТРУКТУР ОКСИДІВ ТИТАНУ І ЦИНКУ З МЕТАЛХАЛЬКОГЕНІДАМИ**

**Кучмій С.Я., Коржак Г.В., Строюк О.Л., Раєвська О.Є., Андришина Н.С., Гроздюк Г.Я., Швалагін В.В., Козицький А.В., Єрмохіна Н.П., Манорик П.А., Корсунська Н.Є.**<sup>(1)</sup>

Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України,

<sup>(1)</sup>Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

*15 хвилин*

### **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМО-ПАРОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ДОННИХ МУЛІВ СТАНЦІЙ АЕРАЦІЇ**

**Жовтянський В.А., Якимович М.В.**

Інститут газу НАН України

*15 хвилин*

## *Дискусія*

## **12.00–13.20 ЗАСІДАННЯ СЕКЦІЇ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ.**

### **Головуючі:**

**Завалій І.Ю.** (Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України)

**Єршова О.Г.** (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України)

**ТЕОРЕТИЧНИЙ ПОШУК ОПТИМІЗОВАНИХ СТРУКТУР НАНОВУГЛЕЦЕВИХ СИСТЕМ, ЯКИМ ПРИТАМАННА ПІДВИЩЕНА АДСОРБЦІЙНА ЄМНІСТЬ ЩОДО МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДНЮ**

**Лобанов В.В.,** Демяненко Е.Н., Карпенко О.С., Картель М.Т.

Інститут хімії поверхні ім. О.О.Чуйка НАН України

*15 хвилин*

**СИНТЕЗ НОВИХ ІНТЕРМЕТАЛІЧНИХ СПОЛУК, СПЛАВІВ ТА КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АКУМУЛЮВАННЯ ВОДНЮ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАЗОВОГО ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА ВОДЕНЬСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ**

**Завалій І.Ю.,** Березовець В.В., Штендер В.В., Рябов О.Б.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

*15 хвилин*

**АНАЛІЗ ТА ВИБІР ВІТЧИЗНЯНИХ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ВИСОКОМІЦНОГО КОМПОЗИТУ І РОЗРОБКА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ**

**Савицький М.М.,** Савицький О.М.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

*15 хвилин*

**МЕХАНОСИНТЕЗ ГІДРОУТВОРЮЮЧОГО СПЛАВУ Mg+5 % ваг. Ti+5 % ваг Si + 2%ваг. Fe ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВОДЕНЬСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ТЕМПЕРАТУРИ І КІНЕТИКИ РОЗКЛАДУ**

**Єршова О.Г.,** Солонін Ю.М., Добровольський В.Д.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

*15 хвилин*

**ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТІВ ПРОГРАМИ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ УЧАСТІ В КОНКУРСАХ ПРОГРАМИ ГОРИЗОНТ 2020 І СПІЛЬНОЇ ІНІЦІАТИВИ «ПАЛИВНІ КОМІРКИ І ВОДЕНЬ»**

**І.І.Білан,** Д.А.Левіна, Л.І.Чернишев, Т.В.Гудименко

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України

*15 хвилин*

## **Дискусія**

## **14-05–15.20            ЗАСІДАННЯ СЕКЦІЇ ПАЛИВНИ КОМІРКИ**

### **Головуючі:**

**Васильєв О.Д.** (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України)

**Пірський Ю.К.**(Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України)

### **РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПОЛЕГШЕНОГО МЕТАЛЕВОГО НОСІЯ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ.**

**Бродніковський Д.М., Васильєв О.Д., Гадзира М.П., Галямін В.Б., Бродніковський Є.М.,Бричевський М.М., Бродніковська І.В., Полішко І.О., Лисуненко Н.О., Василів Б.Д.(1), Подгурська В.Я.(1), Осташ О.П.(1), Самелюк А.В., Коваль О.Ю., Котко А.В., Даниленко М.І., Головкова М.Є.**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

*15 хвилин*

### **ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ТА ЖАРОМЦНОСТІ, ВОДНЕВОТРИВКОСТІ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ КПК НА ОСНОВІ ТИТАНОВИХ КОМПОЗИТІВ ЗА ДІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО І ОКИСНЮВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩ**

**Осташ О.П.<sup>(1)</sup>, Пріхна Т.О.<sup>(2)</sup>, Івасишин А.Д.<sup>(1)</sup>, Подгурська В.Я.<sup>(1)</sup>, Свердун В.Б.<sup>(2)</sup>, Василів Б.Д.<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,

<sup>(2)</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

*15 хвилин*

### **СИНТЕЗ СКЛАДНИХ ОКСИДНИХ ТА МЕТАЛО-ОКСИДНИХ ВОДЕНЬ ПРОНИКНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК**

**Скороход В. В., Морозов І. А., Бездорожев О. В., Гетьман О. І.**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

*15 хвилин*

### **ПРИГОТУВАННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КАТОДНИХ І АНОДНИХ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ВОДНЕВО-ПОВІТРЯНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**Пірський Ю.К., Омельчук А.О., Стезярянський Е.А., Панчишин Т.М., Тупчієнко О.С., Крупеннікова О.С.**

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України

*15 хвилин*

### **РОЗРОБКА ЙОНООБМІННИХ КОМПОЗИТНИХ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ПОЛІМЕРЕЛЕКТРОЛІТНИХ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК**

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

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

*15 хвилин*

## **15.20-16.00**

### **Підведення підсумків сесії.**

Заключне слово голови наукової ради Програми

академіка НАН України Ю.М. Солоніна

Заключне слово голови робочої групи Програми

чл.-кор НАН України Стрижака П.Є.

## **Закриття сесії.**

# ПОСТЕРНА СЕСІЯ

(Доповіді експонуються 10<sup>00</sup>-16<sup>00</sup>)

**ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ ВОДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ І СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ТА ВАРІАНТНІ РОЗРАХУНКИ ЗА РІЗНИХ УМОВ РОЗМІЩЕННЯ ТАКИХ СИСТЕМ**

**Кудря С.О., Морозов Ю.П., Кузнєцов М.П.**

Інститут відновлюваної енергетики НАНУ країни

**РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОАКУМУЛЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ З ДОДАВАННЯМ МЕТАЛІВ-АКТИВАТОРІВ ТА НАПРАЦЮВАННЯ ЗРАЗКІВ АКТИВОВАНИХ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ**

**Козін Л.Х., Манілевич Ф.Д., Святогор А.В., Данильцев Б.І., Пірський Ю.К.**

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України

**РОЗРОБКА СВІТЛОЧУТЛИВОГО АНОДА ТА РЕВЕРСИВНОЇ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ІЗ ВОДИ**

**Бортишевський В.А., Корж Р.В., Трепядько Д.О.**

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України

**СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОБОРОТНОЇ СОНЯЧНОЇ КОМІРКИ З НАКОПИЧЕННЯМ ВОДНЮ ТА ЇЇ КОНСТРУКЦІЯ**

**Русецький І.А., Слободянюк І.О., Колбасов Г.Я., Данилов М.О., Щербакова, Л.Г.<sup>(1)</sup>, Солонін Ю.М.<sup>(1)</sup>**

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України

<sup>(1)</sup>Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРІВ ВОДНЮ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Соловей В.В., Шевченко А.А., Зіпунніков М.М.**

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЄМНОСТІ ТА МЕТОДІВ ОДЕРЖАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ; ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ЗРАЗКІВ**

**Вавриш А.С., Марчук Ю.В., Праженнік Ю.Г., Бондаренко Б.І.**

Інститут газу НАН України

**ВИБІР МАТЕРІАЛУ-СОРБЕНТУ ВОДНЮ, ВИПЛАВКА ТА АТЕСТАЦІЯ**

**Щур Д.В., Матусина З.А., Золотаренко Ол.Д., Золотаренко Ан.Д., Копілова Л.І., Золотаренко О.Д., Шапошнікова Т.І.**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**УДОСКОНАЛЕННЯ МАСОГАБАРИТНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ**

**Мацевитий Ю.М., Соловей В.В., Чорна Н.А.**

Інститут проблем машинобудування ім.А.М. Підгорного НАН України

**РОЗРОБКА СПОСОБІВ ОДЕРЖАННЯ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТИПУ  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{-Ni}_3$  ( $\text{AB}_3$ ) ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТРУКТУРИ, ФАЗОВОГО СКЛАДУ І ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Щербакова Л.Г., Грайворонська К.А., Криницький А.В., Солонін Ю.М.**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**ГЕТЕРОГЕННІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ МАГНІЮ ТА ТИТАНУ З РІЗНИМ ФАЗОВО-СТРУКТУРНИМ СТАНОМ І ЇХ ВЗАЄМОДІЯ З ВОДНЕМ**

**Рудь О.Д., Прядко Т.В., Саввакін Д.Г., Лахник А.М., Дехтяренко В.А.**

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

**РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ СИСТЕМИ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ПОРИСТОЇ ТОВСТОЇ ПЛІВКИ АНОДНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ЩІЛЬНОЇ ПЛІВКИ ЕЛЕКТРОЛІТУ**

**Коваленко Л.Л., Бродніковський<sup>(1)</sup> Є. М., Білоус А.Г., В'юнов О.І., Янчевський О.З.**

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України

<sup>(1)</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ  $\text{CeO}_2$  ТА ПРОМОТОРІВ (Pd, Pt) В СКЛАДІ АНОДНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ НІКЕЛЮ ТА СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ ( $12\text{YSZ}$ ,  $10\text{Sc1CeSZ}$ ) НА ЇХ КАТАЛІТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ В ПРОЦЕСАХ ПАРОВОГО ТА ТРИ-РИФОРМІНГУ МЕТАНУ**

**Канцєрова М.Р., Чедрик В.І., Орлик С.М.,**

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України

**ОДЕРЖАННЯ НОВИХ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ Me-N-C ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ВІДНОВЛЕННЯ КИСНЮ ДЛЯ ПАЛИВНИХ КОМІРОК**

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

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України



# **Тези за проектами**

ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНОЇ ПРОГРАМИ  
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

**«Фундаментальні аспекти відновлювано-  
водневої енергетики і паливно-  
комерційних технологій»**

# ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ ВОДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ І СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ТА ВАРІАНТНІ РОЗРАХУНКИ ЗА РІЗНИХ УМОВ РОЗМІЩЕННЯ ТАКИХ СИСТЕМ

**Кудря С.О., Морозов Ю.П., Кузнєцов М.П.**  
Інститут відновлюваної енергетики НАНУ України,  
м. Київ-94, вул. Г.Хоткевича, 20А, [geotherm@ukr.net](mailto:geotherm@ukr.net)

Застосування електролізерів для виробництва водню вимагає забезпечення певних технічних умов, адже на їх продуктивність впливають різні фактори. Зазвичай має бути забезпечений певний компроміс між встановленою потужністю генеруючого обладнання, продуктивністю виробництва водню, капітальними та поточними витратами. Оптимізація цих параметрів розпочинається ще на етапі проектування, при виборі обладнання та конфігурації енергосистеми. Надалі здійснюється оптимальне керування виробничим процесом. При цьому метою оптимізації можуть бути: забезпечення надійного живлення для створення належних умов експлуатації електролізного обладнання; ефективне використання всієї виробленої енергії, тобто мінімізація її втрат; максимальна комерційна привабливість, або мінімізація собівартості водню. Як правило, має вирішуватися багатокритеріальна задача оптимізації.

Наявність вітрової та сонячної енергоустановок, залежних від стану погоди, вносить невизначеність у роботу енергосистеми, тому в якості додаткових умов вимагається певна надійність енергозабезпечення. Оскільки умова балансу потужності може виконуватися не в кожен момент часу, показники (індекси) надійності мають визначатися як імовірні величини. До найбільш уживаних відносять, наприклад, індекс імовірної втрати живлення (або дефіцит потужності), індекс невикористаної енергії. Відхилення генерованої потужності від потреб споживання може призвести до коливань напруги; показником якості енергії може бути величина відносного відхилення поточної напруги від нормальної.

Розрахункові моделі, що описують сумісну роботу електролізера та електричних установок на базі відновлюваних і інших джерел енергії, мають враховувати природні особливості надходження енергії, що має бути перетворена в електричну енергію вітроустановками чи фотобатарейми, а саме їх випадкову природу. Моделювання цих факторів можливе за наявності достатнього обсягу статистичних даних та застосування адекватних математичних моделей. До моделювання випадкових факторів застосовують різні підходи: в основному це аналітичний підхід або імітаційне моделювання. Аналітичні методи базуються на прямих чисельних розрахунках. Визначення функцій розподілу випадкових величин базується на параметричному підході, коли розраховують середні значення, дисперсію або середньоквадратичне відхилення, можливо асиметрію та ексцес. Імітаційний підхід дозволяє отримати більш інформативний набір показників роботи енергосистеми. Найчастіше, імітаційний підхід базується на моделюванні методом Монте-Карло, шляхом імітації реального поведіння енергосистеми за допомогою випадкових процесів. Моделювання роботи енергосистеми протягом тривалого періоду часу дозволяє отримати майже повне уявлення про можливі випадкові події та недоліки енергосистеми через несприятливий збіг різних обставин та факторів.

Таким чином, при проектуванні гібридних енергосистем на базі ВДЕ необхідно використовувати методи стохастичного моделювання та оптимізації, вибір яких залежить від поставлених задач та вимог до роботи енергосистеми. Оптимізація має стосуватися не лише економічних результатів, але й показників надійності та якості енергозабезпечення.

## РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ МАСООБМІНУ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ФЕРМЕНТЕРУ

Таширев О.Б., Говоруха В.М.<sup>(1)</sup>

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,  
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143, [tach2007@ukr.net](mailto:tach2007@ukr.net)

<sup>(1)</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України  
[vera\\_govor@mail.ru](mailto:vera_govor@mail.ru).

Водень є високоенергетичним, екологічно чистим та найбільш перспективним енергоносієм серед досліджуваних джерел альтернативної енергії. Найбільш рентабельним напрямком промислового отримання молекулярного водню є біологічні методи, зокрема зброджування органічних речовин мікроорганізмами.

Екологічно небезпечні змішані харчові відходи (ЗХВ), які у великих кількостях накопичуються у мегаполісах, є перспективним субстратом для мікробного зброджування з отриманням молекулярного водню. Застосування мікроорганізмів для їх водневого зброджування дозволяє одночасно вирішувати проблему знешкодження харчових відходів та зменшує собівартість отримання водню.

Ефективність синтезу водню та деструкції відходів може бути підвищена за рахунок оптимізації основних параметрів водневого зброджування відходів, зокрема частоти і швидкості їх перемішування.

З огляду на це метою роботи була розробка оптимального режиму масообміну при деструкції твердих харчових відходів за використання гранульованого мікробного препарату водень-синтезуючих бактерій для горизонтального ферментеру, що полягає в оптимізації частоти і швидкості перемішування.

В результаті проведення експериментальної роботи показано, що масообмін культурального середовища є необхідною умовою для забезпечення ефективного водневого зброджування змішаних харчових відходів гранульованим мікробним препаратом (ГМП) з одночасною максимальною деструкцією відходів. Встановлено, що перемішування попереджає розшарування компонентів культурального середовища, забезпечує рівномірний розподіл часток відходів, мікроорганізмів та регуляторів мікробного метаболізму у товщі середовища. Це збільшує ефективність синтезу водню та деструкції відходів, покращує вимивання мікробних екзометаболітів-інгібіторів з поверхні часток відходів, а також підвищує ефективність функціонування регуляторів мікробного метаболізму.

Показано, що для забезпечення високої ефективності синтезу водню і максимальної деструкції відходів за їх зброджування гранульованим мікробним препаратом оптимальна швидкість перемішування ЗХВ складає 24 оберти/хв., оптимальний режим перемішування становить: 10 хвилин перемішування - 20 хвилин паузи.

Встановлений оптимальний режим масообміну змішаних харчових відходів дозволив отримати інженерно-технологічні показники зброджування відходів, що свідчать про високу ефективність процесу. Так, час деструкції відходів ( $T$ ) становив 4 доби, мас-баланс синтезу водню складав 123 л з 1 кг абсолютно сухих відходів, а коефіцієнт деструкції відходів ( $Kd$ ), що визначався як співвідношення початкової та кінцевої маси відходів, дорівнював 94.

Отримані результати є перспективними для розробки промислових біотехнологій синтезу молекулярного водню з максимальною деструкцією екологічно небезпечних змішаних харчових відходів.

## РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОАКУМУЛЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ З ДОДАВАННЯМ МЕТАЛІВ-АКТИВАТОРІВ ТА НАПРАЦЮВАННЯ ЗРАЗКІВ АКТИВОВАНИХ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ

Козін Л.Х., Манілевич Ф.Д., Святогор А.В., Данильцев Б.І., Пірський Ю.К.  
Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України  
03680, Київ-142, пр. Палладіна 32/34, e-mail: kozin@ionc.kiev.ua

Водень широко використовується в багатьох галузях господарства, однак особливо велике значення він набуває як енергоємний і екологічно чистий енергоносіє, на одержанні і використанні якого базується енергетика майбутнього – воднева енергетика. Серед відомих методів одержання водню виділення водню з води за допомогою, так званих, енергоакуюлюючих речовин (ЕАР) має ряд безсумнівних переваг. Зокрема, використання таких речовин дає можливість одержувати водень з води безпосередньо у місцях його використання. При цьому усуваються значні проблеми, пов'язані з транспортуванням та накопиченням водню.

Дана робота направлена на створення методу отримання ЕАР, здатних реагувати з водою з виділенням водню вже при кімнатній температурі. За основу таких ЕАР взятий алюміній, який активували галієм та модифікували магнієм і оловом. При розробці методології активації алюмінію було враховано фізико-хімічні властивості основного металу (алюмінію) та метала-активатора і металів-модифікаторів, а також діаграми станів бінарних та потрійних систем даних металів.

Для отримання сплавів були використані метали високої чистоти (99.999–99.9999 %). Отримували сплави в атмосфері аргону, який подавали за допомогою кварцової трубки в алундовий тигель. Останній був накритий кварцовою кришкою зі спеціальними отворами для підведення аргону та встановлення алундової мішалки. В тигель поміщали розраховану кількість алюмінію і розплавляли його в печі при температурі 700 °С. Далі температуру підвищували до 800 °С і в розплавленій алюмінії додавали розраховану кількість метала-активатора і металів-модифікаторів. Після цього для більш рівномірного розподілу добавок в розплавленій суміші протягом 3 хв. проводили інтенсивне її механічне перемішування алундовою мішалкою за допомогою електродвигуна. Після завершення перемішування сплав швидко виливали в спеціально сконструйовану металеву водоохолоджувану форму, яка забезпечувала його швидке охолодження.

За допомогою описаного методу були отримані сплави Al-Ga (97/3 мас. %), Al-Ga-Mg (94/3/3 мас.% та 92/3/5 мас. %) і Al-Ga-Sn (90/8/2 мас. %). Попередні дослідження показали, що такі сплави проявляють активність по відношенню до води і здатні виділяти з неї водень вже при температурі 20 °С.

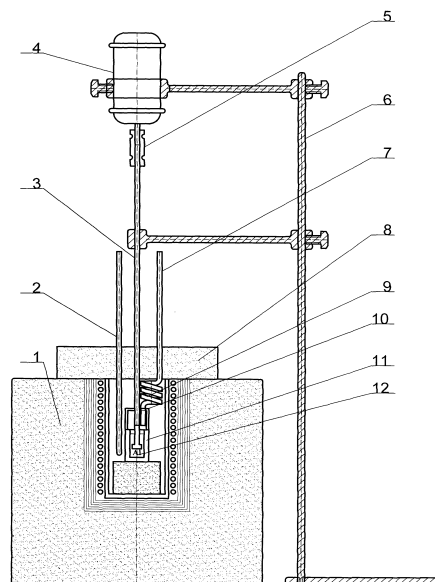


Рис. Установа для отримання сплавів на основі алюмінію: 1 – електропіч; 2 – термопара; 3 – лопастна мішалка; 4 – електродвигун; 5 – з'єднувальна муфта; 6 – штатив; 7 – трубка для подачі аргону; 8 – термоізоляційна кришка; 9 – робоча камера печі; 10 – захисний ковпак; 11 – тигель; 12 – сплав на основі алюмінію.

# РОЗРОБКА СВІТЛОЧУТЛИВОГО АНОДА ТА РЕВЕРСИВНОЇ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ІЗ ВОДИ

**Боргишевський В.А., Корж Р.В., Трепядько Д.О.**

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,  
Мурманська 1, Київ, 02094, Україна, [bort2001@ukr.net](mailto:bort2001@ukr.net)

Отримання водню із використанням світлочутливих каталізаторів із води розглядається як перспективний шлях зниження екологічних проблем, пов'язаних зі спалюванням викопних палив, та задоволення зростаючих потреб у водні як джерелі енергії та сировині хімічної промисловості. *Мета роботи за проектом* полягає у розробці способу отримання водню розщепленням води на фотосенситивному аноді реверсивної паливної комірки, яка дозволяє акумулювати отримуваний водень та використовувати його для генерації електричного струму. *Мета роботи за етапом* полягала у розробці фотосенситивного анода та реверсивної паливної комірки для отримання водню із води.

Для досліджень як гетерогенний каталізатор була обрана суміш оксидів заліза  $Fe^{2+}$  і  $Fe^{3+}$  у масовому відношенні 1:2, отримані методом осадження в присутності поверхнево-активних речовин за умов, які дозволяють контролювати і підтримувати нанорозмірні агломерати металу на підкладці. Як підкладки застосовували графен і субнітрид вуглецю. Окислений графен синтезували за способом Хаммерса з наступним відновленням його формаліном у лужному середовищі. Субнітрид вуглецю отримували піролізом роданіду амонію при 420–520 °С в атмосфері гелію. Наявність двошарової графітоподібної структури синтезованих підкладок підтверджено наявністю характерних піків на рентгенограмах. Фотокаталізатори готували шляхом змішування суміші нанорозмірних оксидів заліза (II) і (III) та отриманого порошку графену або субнітриду вуглецю у масовому відношенні 1:1. Отримані суміші наносили на вологу смужку фільтрувального паперу, забезпечену мідними струмовиводами, площею 0,82 см<sup>2</sup>.

Отримані композити розміщували в паливну комірку, обладнану скляним віконцем для освітлення, з протонопровідною мембраною Nafion. Як катод застосовували відновлений каталізатор Ni-MoO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, нанесений на мокрий фільтрувальний папір з мідним струмовиводом. Вільні кінці фільтрувального паперу були занурені в резервуар з дистильованою водою, яка виконувала роль сировини для її розкладу на аноді. Контроль розкладу води виконували за струмом при відкритому освітленому віконці.

Реверс роботи комірки здійснювали закриттям віконця і подачею водню в катодну камеру. На катодному каталізаторі відбувається реакція дисоціації водню за схемою  $H_2 \leftrightarrow 2H^+ + 2e^-$ . Утворені електрони через зовнішній ланцюг із струмовиводів, амперметра *A* та навантаження *R* надходять на фотоанод. Одночасно утворені протони через протонопровідну мембрану передаються до аноду, де відбувається їх взаємодія з киснем, отриманим раніше в результаті «світлового» розкладу води і збереженим в складі аноду:  $2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + E$ , де *E* – робота електричної енергії.

Дослідження виконували при освітленні комірки зі зразками прямим сонячним світлом інтенсивністю 6 000 – 18 000 люкс. Результати первинних досліджень підсумовані у табл. 1.

**Таблиця 1 Результати дослідження активності розроблених композитних фотоанодів**

Параметр	Фотоанод		
	Оксиди заліза (II) і (III) без підкладки	Оксиди заліза (II) і (III) з графеном	Оксиди заліза (II) і (III) з субнітридом вуглецю
Різниця потенціалів, мВ, розімкнена система	130–140	220–240	360–380
Струм під навантаженням, мкА	0,2–1,2	0,25–2,0	0,3–2,8
Кількість водню, мкмоль/(Г <sub>кат</sub> *год)	2,74	5,33	14,90

# АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В ГАЗИФІКАТОРІ З РУХОМИМ ЩІЛЬНИМ ШАРОМ.

**Дудник О.М., Соколовська І.С.**

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України,  
вул. Андріївська 19, м. Київ, 04070, [aldudnik@bigmir.net](mailto:aldudnik@bigmir.net)

На основі аналізу досліджень, виконаних в Інституті вугільних енерготехнологій НАНУ (ІВЕ НАНУ) та огляду закордонних результатів встановлено, що термохімічну конверсію твердих органічних відходів (ТОВ) необхідно проводити в дві стадії.

Розроблено методики розрахунків процесів карбонізації та газифікації різних за складом ТОВ та створено установку газифікації ТОВ у рухомому щільному (РЩ) шарі на повітряному та пароповітряному дутті [1]. Особливістю конструкції установки є модульність, компактність та можливість використання вузлів установки для розроблення та перевірки різних технологій газифікації ТОВ у РЩ та киплячому шарі для одержання збагаченого воднем газу та електричної енергії в паливних елементах [2, 3]. Для збільшення хімічного ККД установка футерувалась, а високотемпературний потік водяної пари та потік повітря надходили в середню частину реактора газифікації. Визначено фундаментальні характеристики газифікації твердих відходів деревини (ТВД), деревного вугілля (ДВ) та донного мулу станції аерації (ДМАС) м. Києва на повітряному та пароповітряному дутті. Використано новий підхід щодо введення каталізаторів та поглиначів CO<sub>2</sub> в газифікатор. Водний розчин гашеного вапна попередньо поглинався відходами пінополіуретану, одержана суміш після сушіння використовувалось як джерело водяної пари для парової конверсії ТВД, а оксид кальцію - для зв'язування CO<sub>2</sub> за технологією «водневий брикет» [4]. Встановлено вплив додавання водяної пари та вапна в газифікатор на збільшення концентрації водню в одержаному газі.

Використання футеровки дозволило знизити вміст вуглекислого газу в одержаному газі в разі використання ТВД, ДВ та ДМАС в режимах як повітряної, так і пароповітряної газифікації та зменшити мольне співвідношення реагуючих компонент кисень/вуглець з 0,7-0,8 до 0,4-0,5. В разі використання водяної пари мольне співвідношення реагуючих компонент водняна пара/вуглець становило 0,2-0,4. Продуктивність установки щодо виходу сухого паливного газу залежала від вихідної сировини та витрат окислювачів і становила від 0,9 до 2,5 нм<sup>3</sup>/год. Завдяки використанню водяної пари збільшено мольне співвідношення компонент Н<sub>2</sub>/СО в сухому одержаному газі в разі газифікації: ДВ з 0,2-0,3 до 0,6-0,8; ДМАС з 0,8-1,7 до 1,8-2,7. Завдяки використанню водяної пари в перерахунку на вміст органічних компонент у вихідній сировині збільшено вихід водню під час газифікації: ДВ з 0,1-0,3 до 0,6-0,9 нм<sup>3</sup>/кг, ДМАС з 0,3-0,5 до 0,6-0,8 нм<sup>3</sup>/кг.

На новій установці з ДМАС одержано збагачений воднем газ, який після очищення можна використати для одержання моторного палива та електричної енергії у високотемпературних паливних елементах без використання реактора водяного зсуву.

[1] Дудник О.М., Соколовська І.С., Якимович М.В. Повітряна та пароповітряна газифікація вугілля та донного мулу аераційної станції / Збірка наукових праць 12<sup>ої</sup> Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку», 21-24 вересня 2016 р., м. Київ. – 2016. – С. 74-76.

[2] Дудник О.М., Соколовська І.С. Технології паливних елементів. Сучасний стан, перспективи розвитку та стандартизація / Збірка наукових праць 12<sup>ої</sup> Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку», 21-24 вересня 2016 р., м. Київ. – 2016. – С. 119-121.

[3] Dudnyk O.M., Trypolskyi A.I., Sokolovska I.S. Hydrogen Energy Technologies and Clean Air/ Proceedings of Ukrainian-Polish Conference "The problems of air pollution and purification: control, monitoring, catalytic, photocatalytic and sorption methods of treatment, November 6-8, 2016, Kyiv: IPC of NASU. – 2016. – 2 p.

[4] Паливний брикет для отримання водню. Патент на корисну модель UA №106501 від 25.04.2016, Україна/ Є.Ю. Калішин, А.І. Трипольський, О.М. Дудник, І.Б. Бичко, І.С. Соколовська, П.Є. Стрижак – 2016. - 7 с.

# АКТИВНІСТЬ І СЕЛЕКТИВНІСТЬ СКЛАДНИХ ОКСИДІВ MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg) В ПРОЦЕСІ ПАРОВОГО РИФОРМІНГУ КИСЕНЬ-ВМІСНИХ СПОЛУК БІОСИРОВИНИ

Л.Ю.Долгих, І.Л.Столярчук, Ю.І. Пятницький, П.Є.Стрижак

Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України,  
Проспект Науки, 31, м. Київ, 03028, ldolgykh@inphyschem-nas.kiev.ua

Останнім часом процеси конверсії кисень-вмісних молекул, зокрема таких, що одержуються з відновлюваних природних ресурсів, набувають зростаючої важливості для одержання водню як альтернатива процесам з використанням викопних палив, зокрема метану [1]. Більшість досліджень парового риформінгу етанолу проведено на нанесених металічних каталізаторах. Лише в обмеженій кількості робіт застосовувались каталізатори інших типів, серед них - складні оксиди перехідних металів, в тому числі шпінелі та перовскити: NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; MAI<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Cu, Zn, Ni), La<sub>2</sub>NiO<sub>4</sub>, LaFe<sub>y</sub>Ni<sub>1-y</sub>O<sub>3</sub> і LaCo<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> [1,2].

В даній роботі з метою встановлення впливу хімічного складу метал-оксидних систем на їх каталітичні властивості та продуктивність по водню досліджено ряд складних оксидів в процесі парового риформінгу оксигенатів, що одержуються з біомаси. На відміну від раніше досліджених складних оксидів, каталізатори MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Mn, Fe, Cu, Zn, Mg) готували методом співсадження. Зразки MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Co, Ni) одержували методом сольвотермічного розкладання комплексів. Експерименти проводили в проточному кварцовому реакторі при 573-823 К з використанням модельної водно-спиртової суміші, яка містить 12 ваг.% етанолу. Методом РФА показано, що каталітично активною фазою складних оксидів MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Mg, Mn, Fe, Zn) є ферити відповідних металів зі структурою шпінелі. Зразки NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> в умовах каталізу частково або повністю відновлювались. Кристалізація феритів в умовах каталізу супроводжувалася зменшенням їх питомої поверхні.

Конверсія етанолу (X) на феритах FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> при 823 К близька до 100 %, в тих же умовах величина X для ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> не перевищувала 70 %. Основними продуктами каталітичного перетворення етанолу є H<sub>2</sub> та CO<sub>2</sub> на усіх досліджених феритах, що свідчить про переважний перебіг парового риформінгу за реакцією: C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + 3H<sub>2</sub>O = 2CO<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>. Серед інших продуктів ідентифіковано ацетальдегід, ацетон, метан і C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> вуглеводні. Важливо відмітити, що монооксид вуглецю CO – типовий продукт парового риформінгу етанолу на багатьох каталізаторах [1, 2] – в присутності феритів Fe, Mn, Mg і Zn не утворюється у помітних кількостях. Вихід цільового продукту реакції – водню – на FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> і MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> досягає достатньо високих показників і складає 70,2; 83,4 і 82,3%, відповідно. Вихід водню на ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> був значно нижчим (44,5%) за рахунок нижчих величин конверсії етанолу і селективності щодо водню. Встановлено, що CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> характеризується високою дегідруючою здатністю в паровому риформінгу водно-спиртових сумішей: селективність по ацетальдегіду досягає 97% при конверсії етанолу 90% (T = 300 °C). За показниками продуктивності по водню оксидні каталізатори можуть бути розташовані у такий ряд: FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> > MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ≈ MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> > ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

У складі досліджених феритів MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> присутні метали зі змінною (M = Fe, Mn) та постійною (M = Mg, Zn) валентністю. В той же час всі вони прискорюють реакцію парового риформінгу. При цьому ферит магнію незначно поступається за виходом водню фериту марганцю. Це вказує на те, що визначальний вплив на каталітичну дію феритів мають іони Fe<sup>3+</sup>, які здатні до редокс переходів в окисно-відновних парах Fe<sup>3+</sup> ↔ Fe<sup>2+</sup>[3].

Література:

1. D. Li, X. Li, J. Gong. // Chem. Rev. – 2016. – 116. – P.11529–11653.
2. Ю.І. Пятницький, Л.Ю. Долгих, І.Л. Столярчук, П.Є. Стрижак // Теорет. и эксперим. химия. – 2013. – 49, № 5. – С. 265-283.
3. Ramankutty C.G., Sugunan S., Thomas B. // J. Mol. Catal. A. – 2002. – 187. – P. 105–117.



## СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОБОРОТНОЇ СОНЯЧНОЇ КОМІРКИ З НАКОПИЧЕННЯМ ВОДНЮ ТА ЇЇ КОНСТРУКЦІЯ

Русецький І.А., Слободянюк І.О., Колбасов Г.Я., Данилов М.О.,  
Щербакова, Л.Г.<sup>(1)</sup>, Солонін Ю.М.<sup>(1)</sup>

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України,  
03680 Київ-142, пр. Палладіна 32/34, Україна, e-mail: [rusetkii@ionc.kiev.ua](mailto:rusetkii@ionc.kiev.ua)

<sup>(1)</sup>Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,  
03142 м. Київ, вул. Кржижановського 3, Україна, e-mail: [larisa\\_c@ukr.net](mailto:larisa_c@ukr.net)

Для забезпечення високої ефективності фотоелектрохімічної системи для акумулювання водню нами використана фотоелектрохімічна комірка (ФЕК) з анодним та катодним просторами, розділеними іонообмінною мембраною, в кожному з яких різний склад електроліту [1]. У цьому випадку в якості фотоанода можливо використовувати матеріали з невеликою шириною забороненої зони, які добре поглинають видиме світло, наприклад, напівпровідникові сполуки типу  $A^{II}B^{VI}$  (CdSe, ZnS,  $CdSe_xS_{1-x}$ ), а у якості катоду - воденьсорбуючі сплави.

З метою оптимізації процесу фотоперетворення виготовлялися полікристалічні фотоанооди з застосуванням наступних методик: електрохімічним методом; нанесенням суспензії чи пасти напівпровідникового матеріалу на провідну підкладку з наступним спіканням; хімічним осадженням напівпровідника на підкладку з водно-органічних розчинів. Для покращення властивостей фотоанодів використовувалися методи хімічного, електрохімічного та фотоелектрохімічного модифікування їх поверхні.

Воденьадсорбуючі сплави типу  $AB_5$  (на базі  $LaNi_5$ ) для катоду ФЕК одержували методом електродугової плавки в захисній атмосфері аргону, а також методами, які базуються на технологіях порошкової металургії: спікання, газове розпилення з рідкого стану, механічне сплавоутворення.

Досліджено фотоелектрохімічні властивості, процеси рекомбінації, структура поверхні нанокмпозитних плівок та гетероструктур на основі халькогенідів Cd та оксиду графену та відновленого оксиду графену, а також їх ефективність у фотоелектрохімічних системах для акумулювання водню. З досліджень спектрів КРС зроблено висновок про якість модифікованих полікристалічних плівок CdSe. Встановлено, що отримані гетероструктури на основі напівпровідникових плівок CdSe мають покращені навантажувальні характеристики у фотоелектрохімічній комірці, що призводить до збільшення фотопотенціалу електрода у точці максимальної віддачі потужності. Встановлено, що отримані фотоанооди забезпечують накопичення водню на катоді.

З фізико-хімічних досліджень зразків графенових матеріалів для електродів ФЕК, отриманих різними методами, найбільш ефективними виявилися матеріали, отримані окислюванням багат шарових вуглецевих нанотрубок перманганатом калію й відновленням за допомогою гіпофосфіту натрію. Встановлено, що отримані графенові матеріали і нанокмпозити на їх основі можуть також використовуватись в якості катоду для накопичення "сонячного водню".

Розроблено експериментальний зразок оборотної фотоелектрохімічної комірки, що використовує накопичений водень на МН електроді. Оборотність забезпечується введенням 3-го електрода, на який розряджається МН електрод. Величина напруги такого елемента  $U_{рл}$  за відсутності освітлення дорівнює різниці потенціалу редокс-системи в анодному просторі й потенціалом МН електрода (катодний простір). На експерименті було отримано значення  $U_{рл} = 0.33$  В та ток розряду  $\sim 24$  мА/см<sup>2</sup>.

1. Колбасов Г.Я., Щербакова Л.Г. Фундаментальні проблеми водневої енергетики / Ред. Походенко В.Д., Скороход В.В., Солонін Ю.М. – Київ: КІМ, 2010. – 495 с.



# ФОТОКАТАЛІТИЧНЕ ТА ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОДЕРЖАННЯ ВОДНЮ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОХІДНИХ ГІДРАЗИНУ ЗА УЧАСТЮ ШАРУВАТИХ НІОБАТІВ ТА ГЕТЕРОСТРУКТУР ОКСИДІВ ТИТАНУ І ЦИНКУ З МЕТАЛХАЛЬКОГЕНІДАМИ

**Кучмій С.Я., Коржак Г.В., Стрюк О.Л., Раєвська О.С., Андрюшина Н.С.,  
Гроздюк Г.Я., Швалагін В.В., Козицький А.В., Єрмохіна Н.П., Манорик П.А.,  
Корсунська Н.Є.<sup>(1)</sup>**

Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України,  
03028 просп. Науки, 31, [kuchmiy@inphyschem-nas.kiev.ua](mailto:kuchmiy@inphyschem-nas.kiev.ua)

<sup>(1)</sup>Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,  
03028 просп. Науки, 41, [kors@isp.kiev.ua](mailto:kors@isp.kiev.ua)

В доповіді представлені результати дослідження процесів фотокаталітичного одержання водню в системах на основі напівпровідникових структур, а також перетворення світлової енергії в фотоелектрохімічних сонячних комірках третього покоління.

Фотолізом зразків ZnS на повітрі одержано гетероструктури, які містять на поверхні градієнтний за складом легуючий шар  $ZnO_xS_{1-x}$  товщиною 50-80 нм з неперервним зменшенням вмісту сірки і збільшенням вмісту кисню з об'єму до поверхні кристалів. Завдяки можливості просторового розділення зарядів в межах гетероструктур ZnS/ZnS<sub>x</sub>O<sub>1-x</sub>, вони проявляють фотокаталітичну активність в утворенні водню із сумішей вода/етанол при освітленні ультрафіолетовим світлом ( $\lambda > 320$  нм) з квантовим виходом до 1,6% за відсутності будь-яких додаткових металевих співкаталізаторів. Виявлена екстремальна залежність швидкості утворення водню від тривалості фотолізу ZnS обумовлена дією двох чинників: а) збільшення ймовірності просторового розділення фотогенерованих зарядів між компонентами гетероструктури; б) зменшення ймовірності окислення етанолу дірками при збільшенні товщини шарів ZnS<sub>x</sub>O<sub>1-x</sub>.

Одержано ніобати KNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> та K<sub>3</sub>H<sub>3</sub>Nb<sub>10,8</sub>O<sub>30</sub> у формі шаруватих кристалів довжиною 10-20 мкм і шириною біля 200-500 нм, які проявляють фотокаталітичну активність в процесі виділення водню з водних розчинів електронодонорних сполук (метанол, етанол, ізо-пропанол, диметилгідрозин). Найвищу швидкість процесу виявлено в присутності метанолу. Це може бути обумовлено малим розміром молекул спирту, які проникають в міжшаровий простір фотокаталізатора, ефективно захоплюють фотогенеровані дірки і пригнічують небажаний процес електрон-діркової рекомбінації.

Встановлено, що мезопористі ієрархічні мікросфери TiO<sub>2</sub>, сформовані нещільною агрегацією кристалів анатазної модифікації розміром біля 10 нм, мають вищу активність в процесі фотокаталітичного одержання водню із спиртово-водних розчинів, а також вищу фотоелектрохімічну активність, порівняно з непористим нанокристалічним препаратом TiO<sub>2</sub> P25. Вища фотоактивність мезопористих мікросфер може бути обумовлена можливістю транспорту електронів по сітці контактуючих нанокристалів TiO<sub>2</sub>, що призводить до пригнічення небажаної електрон-діркової рекомбінації, а також ефективнішим поглинанням світла завдяки його багаторазовому відбиттю та заломленню в об'ємі мікросфер. Вища ж фотоелектрохімічна активність гетероструктур TiO<sub>2</sub>/CdS на основі мезопористих мікросфер діоксиду титану обумовлена вмістом в них сульфідів кадмію, який поглинає видиме світло і виконує роль сенсibilізатора.

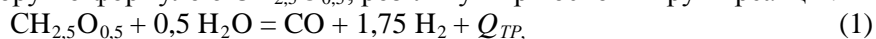
Фотокаталітичним методом одержано гетероструктури FTO/TiO<sub>2</sub>/Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, які фотоелектрохімічно активні у водних електролітах, що містять жертвний електронодонор – аскорбінову кислоту. Запропоновано шляхи підвищення активності цих гетероструктур: а) формування проміжного шару In<sub>x</sub>(OH)<sub>y</sub>S<sub>z</sub> між TiO<sub>2</sub> і Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> – для покращення просторового розділення фотогенерованих зарядів, та б) осадження на поверхню наночастинок Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> гідроксооксиду стибію SbO(OH) – для пригнічення небажаної рекомбінації фотогенерованих електронів з компонентами електроліту.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМО-ПАРОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ДОННИХ МУЛІВ СТАНЦІЙ АЕРАЦІЇ

**Жовтянський В.А., Якимович М.В.**

Інститут газу НАН України,  
03113, м. Київ-113, вул. Дегтярівська, 39, [zhovt@ukr.net](mailto:zhovt@ukr.net)

З метою оптимізації плазмо-парової газифікації донних мулів, склад яких може бути представлений брутто-формулою  $\text{CH}_{2,5}\text{O}_{0,5}$ , розглянуті три основні групи реакцій:



Перша з них відповідає технології плазмо-парової газифікації, яка вперше була реалізована в Україні майже десять років тому. Реакція (2), як і (1), є стехіометричною щодо отримання серед продуктів газифікації лише синтез-газу, проте вона має ширші функціональні можливості щодо оптимізації процесу, оскільки дозволяє варіювати склад газифікуючого агента.

Реакція (3) є нестехіометричною – в ній серед продуктів газифікації появляються продукти часткового спалювання донного мулу –  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . У принципі, можна скласти безліч варіантів цієї реакції з різними стехіометричними коефіцієнтами. Однак фактично реалізуються тільки такі з них, в яких задовольняється принцип максимуму ентропії. Цю обставину вирішувало використання програми термодинамічних розрахунків «TERRA».

У всіх реакціях (1) – (3)  $Q_{TP} = Q_R + \Delta Q$  – сумарна теплова енергія, одна зі складових  $Q_R$  якої виділяється в результаті хімічних реакцій в суміші заданої реакцією складу, а інша  $\Delta Q$  – вводиться в реактор газифікатора струменем плазмотрона з таким розрахунком, щоб реагуюча суміш досягла необхідної температури  $T_p$  отримання продуктів газифікації. Для останньої прийнято значення  $T_p = 1250 \text{ K}$ , оскільки при ній у стехіометричних режимах (1) і (2) присутні лише сліди  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CH}_4$  серед продуктів газифікації, загальна кількість яких не перевищує 1 – 2 %.

Енергетичну ефективність процесу конверсії характеризує показник

$$\eta = (P_{PL}^C + P_{O_2}) / W_{CG}, \quad (4)$$

де  $P_{PL}^C = \Delta Q / 0,8$  витрати електроенергії на виробництво плазмового струменя з ККД  $\sim 0,8$  і на виробництво кисню  $P_{O_2}$ ,  $W_{CG}$  – енергія синтез-газу, одержуваного з 1 кг сировини.

В стехіометричному режимі енергетичні витрати на здійснення процесу газифікації близькі до обсягу електричної енергії  $\eta_{EE} W_{CG}$ , що виробляється з синтез-газу дизельною електростанцією з КПД  $\eta_{EE} \sim 30\%$ . Це важливо для мобільних установок, тому що практично виключається необхідність залучення додаткових джерел енергії. У режимі додаткового введення в процес газифікації кисню витрати синтез-газу на власні потреби установки  $\eta_{EE} W_{CG} / k_{HC}$  складають близько 30%, де врахований коефіцієнт нестехіометрії виробництва синтез-газу  $k_{HC}$ . Надлишкова її частина може використовуватися для виробництва електричної енергії зовнішнім споживачам, що буде сприяти комерціалізації розробки. Таким чином, в запропонованому варіанті технологія переробки відповідає загальній ідеї численних публікацій у світовій літературі, відомій як Waste to Energy.

Подальшому підвищенню ефективності цієї технології може сприяти перехід до більш ефективних методів виробництва електроенергії з отриманого синтез-газу. Це зумовить збільшення значення  $\eta_{EE}$  і, відповідно, – подальше зменшення частки синтез-газу, що використовується для самозабезпечення роботи установки газифікації. Такі перспективи асоціюються, в першу чергу, з технологіями паливних елементів, що мають істотно більший ККД, ніж газодизельні електростанції.

Ці розрахункові дані стали основою проекту «Розроблення паро-плазмової технології переробки донних мулів станцій аерації», внесеного на конкурс МОН України; за його результатами він отримав статус державного замовлення відповідно до постанови Кабінету Міністрів від 27.07.2016 р. №476 «Про державне замовлення на науково-технічні (експериментальні) розробки і науково-технічну продукцію в 2016 році».

# УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРІВ ВОДНЮ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Соловей В.В., Шевченко А.А., Зіпунніков М.М.**

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,  
61046, м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10, [solovey@ipmach.kharkov.ua](mailto:solovey@ipmach.kharkov.ua),  
[shevchenko84@ukr.net](mailto:shevchenko84@ukr.net), [kolyazip@yandex.ru](mailto:kolyazip@yandex.ru),

Проектом передбачено удосконалення електролізних генераторів водню шляхом використання металів зі змінною валентністю для створення електродів, відпрацювання конструкції та технології виготовлення електродних систем, а також дослідження та оптимізація режимних параметрів процесу генерації водню з різними матеріалами електродів, що дозволить суттєво підвищити ефективність екологічно чистого виробництва водню, в тому числі із використанням відновлюваних джерел енергії.

На першому етапі проекту проведено теоретичні дослідження щодо вибору оптимального складу електродних матеріалів. Виконано оцінку енергетичних витрат на одержання водню з води, що визначаються термодинамічними характеристиками водолужних розчинів та енергетичним ККД процесу виробництва водню.

Проаналізовано процеси при електролізі води в генераторі водню, що працює за розробленою в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України технологією, яка забезпечує можливість роздільно у часі генерувати водень та кисень з використанням газопоглинаючого електрода в безмембранних конструкціях електролізних комірок, в яких здійснюється циклічний процес роботи електрохімічної системи, яка складається з періодів виділення водню і кисню, що реалізуються послідовно.

Виконано розрахунково-теоретичні дослідження теплового режиму генератора водню та аналіз тепломасообміну в електродних системах. Встановлено, що тепловий режим електролізера для електролізу води при значних щільностях струму з урахуванням компоновки пристрою вимагає охолодження електроліту для підтримки робочої температури на рівні 65 – 85 °С;

На основі теоретичних досліджень процесів у металах зі змінною валентністю визначено оптимальні комбінації електродів, застосування яких забезпечить мінімізацію енергетичних витрат на рівні 4,0 кВт/год, що є одним з найважливіших показників процесу генерації водню. Було вибрано три електродні пари в катодно-анодних системах: Сталь 3 - Fe<sub>n</sub> (залізо пористе), Ni - Fe<sub>n</sub>, Сталь 08X18H10T - Fe. Зазначені комбінації електродних пар не потребують використання коштовних металів платинової групи, що є додатковою перевагою технології, що пропонується.

Результати аналізу термодинамічних та фізико-хімічних властивостей процесу електролізу води з використанням визначених матеріалів електродів свідчать:

– технологія отримання водню і кисню дозволяє суттєво зменшити витрати електричної енергії на перехідний опір в міжелектродному проміжку у зв'язку з відсутністю розділових мембран;

– забезпечується зниження перенапруги на відповідних напівциклах за рахунок високої реакційної здатності виділення водню і кисню з використанням гальванічного Ni як пасивного електрода. Низька перенапруга виділення водню і кисню на пасивному електроді дозволить отримувати ці гази практично з моменту подання напруги на катодно-анодну систему при електрохімічному розкладанні води, що є важливим експлуатаційним показником.

В подальшому заплановано експериментально дослідити режимні та конструктивні характеристики з урахуванням особливості обраних електродних пар в катодно-анодних системах для визначення параметрів, які забезпечують найбільш ефективну роботу генератора водню в широкому діапазоні зміни продуктивності.

# ТЕОРЕТИЧНИЙ ПОШУК ОПТИМІЗОВАНИХ СТРУКТУР НАНОВУГЛЕЦЕВИХ СИСТЕМ, ЯКИМ ПРИТАМАННА ПІДВИЩЕНА АДСОРБЦІЙНА ЄМНІСТЬ ЩОДО МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДНЮ

**Лобанов В.В., Демяненко Е.Н., Карпенко О.С., Картель М.Т.**

Інститут хімії поверхні ім. О.О.Чуйка НАН України,  
вул. Генерала Наумова. 17, м.Київ, 03164, Україна, [lobanov@isc.gov.ua](mailto:lobanov@isc.gov.ua)

У зв'язку з виснаженням запасів енергетичних ресурсів все частіше в якості ідеального альтернативного палива розглядається водень. Одна з головних проблем, що виникає при цьому, полягає в розробці надійних методів зберігання водню в великих кількостях і дозованої його подачі двигуну. Крім чисто фізичних методів зберігання (компресія або стиснення), найбільш перспективним слід вважати процес його взаємодії з деякими матеріалами, які володіють розвиненою питомою поверхнею. За багатьма критеріями як адсорбент атомарного або молекулярного водню слід розглядати вуглецеві матеріали (нанотрубки, графен і структури на його основі). Для експериментальних досліджень адсорбції водню вуглецевими матеріалами потрібна складна і високоточна апаратура, проте їх результати не сприяють створенню цілісної картини призначеної для кращого розуміння даного питання. виправити цю ситуацію можна, приймаючи до розгляду результати теоретичних (квантово-хімічних) розробок, що розкривають фундаментальні аспекти і сприяють розумінню природи досліджуваних процесів, тобто розкриттю механізму.

У роботі наведено попередні результати квантово-хімічних розрахунків (метод функціонала густини, обмінно-кореляційні функціонали, які враховують дисперсійні взаємодії, базис 6-31 G) властивостей адсорбційних комплексів (АК) атомарного і молекулярного водню на ізольованих одностінних вуглецевих нанотрубках (ОВНТ) з зигзагоподібними краями, їх подвійних і потрійних агломератів, а також графенових нанокластерах, що містять спеціально створені системи вакансій.

До переліку властивостей, які були розглянуті, відносяться: рівноважна структура АК атомарного і молекулярного водню, енергія їх адсорбції, енергія агломерації, залежність вільної енергії Гіббса від температури, щільність остовних станів (C1s).

До основних результатів попередніх розрахунків слід віднести:

1. Адсорбція атомарного водню на зовнішній поверхні вуглецевої нанотрубки відбувається з вищою енергією зв'язування, ніж на внутрішній. Найбільш стійкими виявилися АК з локалізацією атома водню над центром шестикутників (енергія 2,16 еВ).
2. Розрахунки свідчать про можливість досягнення повного покриття зовнішньої поверхні ОВНТ атомарним воднем, що відповідає розміру водневої ємності близько 8 мас. %.
3. В результаті адсорбції відбувається зсув валентної зони «вгору», як для провідних, так і для напівпровідникових ОВНТ. Приєднання одного атома водню зменшує ширину забороненої зони напівпровідникових ОВНТ, дозволяючи регулювати зазор між валентною зоною і зоною провідності.

4. Зв'язування молекулярного водню відбувається на вуглецевих вакансії як ОВНТ, так і на графенових площин. При наявності належним чином розташованих вакансій в графенових нанокластерах можливий розпад молекули водню на атоми з подальшою їх адсорбцією на граничних атомах вуглецю.

5. Виходячи з температурної залежності вільної енергії Гіббса, показано, що можливість досягнення високоемного накопичення водню ОВНТ реалізуються тільки при криогенній температурі (~ 77 К).

6. На прикладі агломерату з двох ОВНТ встановлено, що максимальне значення ємності по водню досягається за умови малості впливу сусідніх нанотрубок. Коли адсорбцію водню можна розглядати як для випадку індивідуальної ізольованою ОВНТ.

# УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЄМНОСТІ ТА МЕТОДІВ ОДЕРЖАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ; ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ЗРАЗКІВ

**Вавриш А.С., Марчук Ю.В., Праженнік Ю.Г., Бондаренко Б.І.**

Інститут газу НАН України,

03113, Київ, вул. Дегтярівська 39. E-mail: [umarch@i.com.ua](mailto:umarch@i.com.ua), [prazh@i.com.ua](mailto:prazh@i.com.ua)

В Інституті газу НАНУ з продуктів конверсії природного газу та повітря були отримані зразки вуглецевих сорбентів при різних значеннях тиску, температури та складу газів. Для вивчення їх властивостей та оцінки чистоти провели дослідження по визначенню технічних характеристик, таких як вміст вуглецю, неорганічних домішок, наявність наноструктур та їх характеристики.

Для цього були застосовані наступні методи дослідження:

- 1) СЕМ – скануюча електронна мікроскопія. Дозволяє безпосередньо бачити нанооб'єкти.
- 2) ПЕМ – просвічуюча електронна мікроскопія. Дозволяє бачити внутрішню будову.

Рис.2

3) ТГА+ДСК – термогравіметрія з диференційно-скануючою калориметрією. Дозволяє одночасно фіксувати втрату ваги та теплові ефекти при спалюванні зразка у кисневмісному середовищі. Див. Рис.1

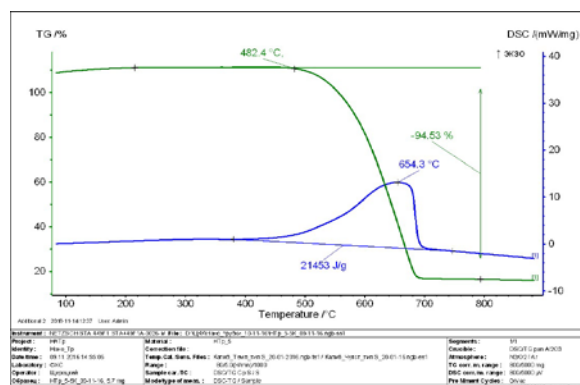
4) Розроблена та змонтована експериментальна установка для вивчення поведінки кривих сорбції та десорбції. Проведена серія дослідів. Таб.1

**Таб.1 Дані по сорбції водню**

Но-мер зразка	Вага зразка, що займає 40 см <sup>3</sup> , г	Питома густина, г/см <sup>3</sup>	Об'єм поглинутого Н <sub>2</sub> при 200°C, см <sup>3</sup>	Об'єм Н <sub>2</sub> на 1г, см <sup>3</sup> /г
1КП	4,516	0,1129	67	14,83
8К	13,572	0,3393	196	14,44
12КП	10,648	0,2662	62,5	5,87
20КП	13,535	0,3384	195	14,41
21КП	10,442	0,2611	105	10,05
27КП	10,533	0,2633	81	7,7
28КП	14,5	0,3625	60,2	4,15
51К	19,136	0,4784	22	1,15

Дослідження за допомогою скануючої та просвічуючої мікроскопії показують різне співвідношення ВНТ, аморфного вуглецю та заліза, що використовувалось як каталізатор, в залежності від умов проведення синтезу.

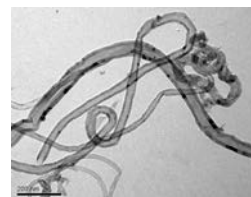
Вміст вуглецевих трубок варіюється від 50% до 95%. Трубки широкого діапазону довжин, товщин, з різноманітними зовнішніми та внутрішніми діаметрами. Спостерігається розподіл фракцій діаметрів на 10-50нм, 50-200 нм і у деяких зразках великий вміст трубок діаметра-



**Рис.1.** Термогравіметрична крива для одного із зразків, що підтвержує вміст багатостінних ВНТ та низький вміст неорганічних домішок.

ми 200-500 нм. Зустрічаються відкриті та закриті кінці трубок.

Встановлена кореляція вмісту ВНТ та розподілу фракцій з даними Таб.1.



**Рис.2.** ПЕМ зображення одного із зразків, що підтвержує наявність нанотрубок.

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ-СОРБЕНТУ ВОДНЮ, ВИПЛАВКА ТА АТЕСТАЦІЯ

Щур Д.В., Матысіна З.А., Золотаренко Ол.Д., Золотаренко Ан.Д.,  
Копілова Л.І., Золотаренко О.Д., Шапошнікова Т.І.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича  
03142, г. Київ-142, вул. Кржижановського, 3; [dmitry.schur@gmail.ua](mailto:dmitry.schur@gmail.ua)

Системи "метал - водень" цікаві як з наукової, так і з прикладної точки зору. Гранична простота електронної будови, мала маса і геометрична величина атомів водню роблять системи "метал - водень" виключно цікавими для вивчення широкого спектру проблем сучасної фізикохімії твердого тіла. Велика рухливість водню в металах робить ці системи унікальними при вивченні дифузії, явищ атомного переносу при фазових перетвореннях. Водень, впроваджений в метал, може радикально змінити властивості останнього. Крім водневої крихкості, що призводить до зниження міцності і деформації ґратки металів і сплавів, присутність водню може викликати різні фізичні ефекти, такі як надпровідність та ін. Іншим важливим прикладом є зміна магнітних властивостей. Інтерес до гідридів перехідних металів викликано також використанням їх як відносно простих модельних об'єктів для вивчення природи хімічного зв'язку, а в прикладному плані в якості накопичувачів водню та електродів електрохімічних систем.

Многокомпонентність гідридних систем забезпечує можливість створення накопичувачів з регульованим вмістом водню і роботу при заданих термодинамічних умовах. Планомірне вивчення гідридних систем розширює область їх використання.

Теоретичне дослідження процесу впорядкування водневих систем дозволяє визначити ступінь упорядкованості сплаву в залежності від його складу і температури, концентраційну залежність температури фазового переходу порядок-безладдя, а також можливий вплив складу і термообробки на різні практично важливі властивості сплавів.

Крім того моделювання, конструювання та виготовлення накопичувачів водню для паливних комірок є основним завданням сьогодення.

Перспективними в цьому напрямі є лантан-нікелеві системи типу AB<sub>5</sub> на основі сплаву LaNi<sub>5</sub>, в якому атоми лантану можуть бути частково замінені атомами рідкісноземельних металів: R = Nd, Pr, Sm, Er, Y, Gd, а атоми нікелю атомами металів Me = Al, Cu, Fe, Mn, Si. Такі добавки можуть сприяти підвищенню стабільності структури, збільшення воднеємності, зниженню вартості матеріалу і поліпшенню інших службових характеристик. Прикладами таких систем є гідриди **LaNi<sub>4</sub>AlH<sub>5</sub>**, **La<sub>2</sub>Ni<sub>9</sub>AlH<sub>10</sub>**, **LaNi<sub>4.5</sub>Co<sub>0.5</sub>H<sub>8.8</sub>**, **LaNi<sub>3</sub>Co<sub>2</sub>H<sub>5</sub>**, **La<sub>0.8</sub>Er<sub>0.2</sub>Ni<sub>5</sub>H<sub>6</sub>**, **La<sub>0.8</sub>Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>5</sub>H<sub>6</sub>** в яких концентрація водню порівнянна з концентрацією атомів металу, перевищує її.

На першому етапі виконання проекту був проведений вибір матеріалу – сорбенту водню, його виплавка та атестація. Результати досліджень були надруковані [1-4].

1. Schur D.V., Gabdullin M.T., Zaginaichenko S.Yu., Veziroglu T.N., Lototsky M.V., Bogolepov V.A., Savenko A.F., Experimental set-up for investigations of hydrogen-sorption characteristics of carbon nanomaterials, International Journal of Hydrogen Energy, 2016, Vol. 41, P. 401-406.

2. Schur D.V., Gabdullin M.T., Bogolepov V.A., Veziroglu A., Zaginaichenko S.Yu., Savenko A.F., Meleshevich K.A. Selection of the hydrogen-sorbing material for hydrogen accumulators International Journal of Hydrogen Energy, 2016, Vol. 41, № 3, P. 1811-1818.

3. Матысіна З.А., Загинайченко С.Ю., Щур Д.В., Габдуллин М.Т. Сорбционные свойства железо-магниевого и никель-магниевого гидридов Mg<sub>2</sub>FeH<sub>6</sub>, Mg<sub>2</sub>NiH<sub>4</sub>, Известия высших учебных заведений, Физика, 2016, Т. 59, № 2, С. 19-29.

4. Matysina Z.A., Zaginaichenko S.Yu., Schur D.V., Gabdullin M.T., Kamenetskaya E.A., Zirconium—nickel crystals—hydrogen accumulators: Dissolution and penetration of hydrogen atoms in alloys, The Physics of Metals and Metallography, 2016, Vol. 117, № 7, P. 673-683.



# УДОСКОНАЛЕННЯ МАСОГАБАРИТНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ

**Мацевитий Ю.М., Соловей В.В., Чорна Н.А.**

Інститут проблем машинобудування ім.А.М. Підгорного НАН України  
вул.Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046, Україна, [chernaya-nata@mail.ru](mailto:chernaya-nata@mail.ru)

Даний проект спрямований на розробку концептуальних основ створення металогідридних систем зберігання та подачі стислого водню споживачеві необхідної якості с заданими термодинамічними параметрами.

В рамках робіт, які заплановано для виконання в першому етапі проаналізовано та надано оцінку відповідності різних методів зберігання водню. Визначено, що вибираючи оптимальний метод зберігання водню, придатний до певних вимог, слід розглядати в комплексі вартісну, об'ємну та масову ефективність.

Показано, що акумулювання водню в металогідридах має певні переваги в порівнянні з іншими способами зберігання. До числа параметрів, по яких металогідридні акумулятори водню мають безсумнівні переваги в порівнянні із традиційними способами зберігання, ставляться насамперед компактність і форма контейнера, що може бути обрана відповідно до основного пристрою, що особливо важливо для транспортних установок. Визначено, що металогідридні системи мають підвищену надійність із точки зору пожежовибухонебезпеки, а при раціональній організації процесу зарядки металогідридних акумуляторів можна домогтися істотного скорочення енерговитрат на одержання водню в компактній формі.

Визначено показники придатності металогідридів для енерготехнологічної переробки водню, які дозволяють на стадії розробки конструкції водневої установки обирати тип металогідриду, який відповідає її функціональним потребам. Показано, що конструктивні особливості та технічні характеристики металогідридних систем, у першу чергу, визначаються вимогами їхніх споживачів. Таким чином, в кожному конкретному випадку необхідно шукати сукупність оптимальних технічних рішень, що включають вибір металогідриду, розробку конструкцій окремих вузлів і системи в цілому, визначення оптимальних режимів її роботи. Крім згаданих вимог споживача, зазначені рішення будуть визначатися комплексом фізико-хімічних, теплофізичних, газодинамічних і механічних параметрів, що характеризують процеси термосорбційної взаємодії гідридоутворюючого матеріалу з воднем.

Подальшого розвитку отримала розрахунково-теоретична методика дослідження складних теплофізичних та термодинамічних процесів, яка, у порівнянні з існуючими, дозволяє з більшою точністю провести розрахунки роботи металогідридних систем зберігання водню, здійснити оптимальний вибір гідридних матеріалів для використання в цих системах, визначити конструктивні параметри основних елементів та режимні параметри їх роботи. За допомогою математичної моделі процесів тепломасообміну, які протікають у шарі металогідрида, проведено чисельний аналіз впливу різних факторів, характерних для режимів експлуатації металогідридних акумуляторів, на динаміку виділення водню. Показано, що з ростом тиску водню, генеруемого системою зберігання, перевага металогідридного способу проявляється в більшій мірі.

Розроблено технологічні рекомендації щодо практичного призначення робочого металогідриду з необхідними термосорбційними характеристиками для металогідридних систем зберігання водню з метою підвищення їх енергоефективності та екологічної сумісності з оточуючим середовищем.

# МЕХАНОСИНТЕЗ ГІДРОУТВОРЮЮЧОГО СПЛАВУ Mg + 5 % ваг. Ti + 5 % ваг. Si + 2% ваг. Fe 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: [dobersh@ipms.kiev.ua](mailto:dobersh@ipms.kiev.ua)

Метою досліджень на данному етапі робіт за проектом було встановити ефект зниження температури та покращення кінетики десорбції водню з гідридної фази  $MgH_2$  механічного сплаву (МС), що отримано реактивним механічним помелом суміші Mg + 5 % ваг. Si + 5 % ваг. Ti + 2 % ваг. Fe, завдяки механічному легуванню магнію в процесі його помелу одночасно двома металами (титан та залізо) і кремнієм. З застосуванням термодесорбційної спектроскопії при тиску водню 0,1МПа досліджено воденьсорбційні характеристики, термічну стійкість та кінетику десорбції водню з гідридної фази  $MgH_2$  як зразу після синтезу, так і після перших циклів гідрування-дегідрування із газової фази. **Встановлено:** в результаті реактивного помелу суміші Mg +5 % ваг. Si + 5 % ваг. Ti +2 % ваг. Fe на протязі 20 год. досягнуто значення водневої ємності **5,7 % ваг.**, при гідруванні із газової фази - 5,3 та 5,5 % ваг. відповідно після 1-го і 4-го циклу гідрування-дегідрування. Температура початку десорбції водню з гідридної фази  $MgH_2$  МС виявилась однаковою в обох випадках її утворення (після РМС і прямого гідрування із газової фази) – 288 °С. Встановлено, що **додавання до магнію Si, Ti, Fe призводить до покращення кінетики процесу десорбції водню** з гідридної фази  $MgH_2$  МС у 2,5 рази. Це покращення кінетики відбувається головним чином завдяки легуючим елементам Fe і Ti, їх хорошим каталітичним властивостям та впливу на хімічний стан поверхні часток гідридної фази  $MgH_2$ ; внесок Si у вказане покращення кінетики незначний. Зниження рівноважної температури початку десорбції водню при його тиску в реакторі 1 бар, яке свідчило би про зниження саме термодинамічної стабільності  $MgH_2$  за рахунок вказаного механічного легування і утворення гідриду твердого розчину  $Mg(Si,Ti,Fe)H_2$ , не встановлено. Свідченням того, що в процесі синтезу МС вказаний гідрид твердого розчину практично не утворився, або утворився в дуже незначній кількості, може бути присутність у складі отриманого МС фаз  $TiH_2$ ,  $TiSi_2$ , Si, Fe (на утворення яких пішла значна кількість додаваних до магнію Si, Ti, Fe), незначне зменшення об'єму елементарної комірки  $V=61,616 \text{ \AA}^3$  гідридної фази  $MgH_2$  МС в порівнянні з таким  $MgH_2$  без легуючих елементів  $V=61,671 \text{ \AA}^3$ . Як показали наші попередні дослідження, утворення, наприклад, гідриду твердого розчину  $Mg(Al,Fe)H_2$  супроводжувалось суттєвим зменшенням V до значення  $61,278 \text{ \AA}^3$ .



# РОЗРОБКА СПОСОБІВ ОДЕРЖАННЯ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТИПУ $La_{1-x}Mg_x-Ni_3$ ( $AB_3$ ) ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТРУКТУРИ, ФАЗОВОГО СКЛАДУ І ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Щербакова Л.Г., Грайворонська К.А., Криницький А.В., Солонін Ю.М.**

Інститут проблем матеріалознавства НАН України,  
вул.Кржижанівського 3, м. Київ, 03142, Україна e-mail: larisa\_c@ukr.net

На першому етапі роботи було досліджено можливість використання в якості матеріалів водень сорбуючих катодів, виготовлених з інтерметалідів типу  $La_{1-x}Mg_xNi_3$  ( $AB_3$ ). Аналітичний огляд літератури по даному питанню показав, що найкращі зразки сплавів цього класу мають більш високу водневу ємність (2-2.2 мас%), ніж у сплавів типу  $AB_5$ , але низьку циклостійкість. В останні роки ці сплави почали досліджувати з метою їх застосування в Ni-MГ акумуляторах.

Створена установка для одержання сплавів методом спікання порошків в атмосфері інертного газу (Ar), який попередньо очищували від кисню (Zr гетер) та води (колона з  $P_2O_5$ ). Спікання зразків сплавів проводили у кварцовому реакторі, який заповнювався очищеним аргеном. Зразки для спікання у вигляді таблеток (d-10мм, вагою 1,0 г) було виготовлено холодним пресуванням (250 Кг) суміші порошків Mg та Ni та сплаву  $LaNi_3$ .

Для одержання сплаву типу  $La_{1-x}Mg_xNi_3$  проводили 2-х ступінчаті спікання зразків: з початку проводили нагрівання зразків при температурі 640 °С (близько 2-х годин) з метою введення у сплав магнію, а потім температуру підвищували до 850-1020 °С.

Результати дослідження структури і фазового складу зразків сплавів свідчать про їх залежність від температури спікання (таблиці). Практично всі спечені зразки містили дві фази:  $LaNi_5$  та  $LaNi_3$ , причому з підвищенням температури спікання вміст вихідної фази знижувався до домішкової. Після спікання зразків при 640 °С кількість  $LaNi_5$  – фази, яка утворюється, і вихідної  $LaNi_3$  - фази приблизно однакова, присутня також фаза  $LaMg_2Ni_9$  (спл.А). У зразках, спечених при 950-1020 °С  $LaNi_5$  фаза є основною, вміст фази  $LaMg_2Ni_9$  знижувався зі зростом температури спікання (спл.С,Д).

Також було досліджено електрохімічні характеристики: кінетику оборотного поглинання водню у лужному електроліті, розрядну ємність і циклостійкість одержаних спіканням магнієвмісних сплавів типу  $La_{1-x}Mg_xNi_3$ . Встановлено, що зі зростом температури спікання  $\geq 950$  °С, значення максимальної розрядної ємності ( $C_{max}$ ), а також циклостійкість зростають, і значно перевищують такі ж характеристики для вихідного  $LaNi_3$  (таблиця).

**Таблиця Фазовий склад и ємкостні характеристики спечених сплавів**

Параметр	Сплави					
	$LaNi_5$	$LaNi_3$	А	В	С	Д
Умови одержання	Індукц. плавка	Вакумн. плавка	Спікан. 650°С 2ч	Спікан. 650°С 2ч 850°С 4ч	Спікан. 650°С 2ч 950°С 4ч	Спікан. 650°С 2ч 1020°С 4ч
Фазовий склад	$LaNi_5$	$LaNi_3$	$LaNi_5$ основ. $LaNi_3$ основ. $LaMg_2Ni_9$	$LaNi_5$ основ. $LaNi_3$ доміш $LaMg_2Ni_9$	$LaNi_5$ осн. $LaMg_2Ni_9$	$LaNi_5$ осн.
$C_{max}$ , мАч/г	278	127.5	132.6	123.4	180	248
$C_{20}$ , мАч/г	212.4	110.0	120	109	176	245
$C_{20}/C_{max}$ , %	76.4	87.1	90.5	88.5	97.7	98.7

# СИНТЕЗ НОВИХ ІНТЕРМЕТАЛІЧНИХ СПОЛУК, СПЛАВІВ ТА КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АКУМУЛЮВАННЯ ВОДНЮ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАЗОВОГО ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА ВОДЕНЬСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ

**Завалій І.Ю., Березовець В.В., Штендер В.В., Рябов О.Б.**

Фізико-механічний інститут НАН України,  
79060, м. Львів вул. Наукова, 5 [zavaliy@ipm.lviv.ua](mailto:zavaliy@ipm.lviv.ua)

Аналіз та дослідження можливої імплементації водневого магній-вмісного акумулятора в систему водневий акумулятор – твердооксидна паливна комірка з метою використання спільного теплового контуру для проведення процесів сорбції-десорбції водню при температурах 250–300 °С описано в [1]. Ця робота демонструє можливість практичного застосування магній-вмісних акумуляторів водню в паливних комірках та підвищення їх ефективності. Попередні наші дослідження показали покращення сорбційних характеристик магнію та його композитів з додатками воденьсорбційних матеріалів, а зокрема, субоксидів на основі титану та цирконію [2]. В рамках цього проекту механохімічний помел у середовищі водню використовували як метод отримання гідридних нанокompозитів на основі магнію з добавками субоксидів  $(\text{Ti,Zr})_4\text{Fe}_2\text{O}_x$ , субнітридів  $(\text{Ti,Zr})_4(\text{Ni,Co})_2\text{N}_x$ , нітриду TiN та графіту. В роботі використовували магній різного виробництва, зокрема, китайського та українського. Показано, що деякі композити з субоксидами (субнітридами) можуть поглинати водень вже за кімнатної температури. При підвищенні температури гідрування до 200–250 °С зразки поглинали до 3 мас. % водню протягом перших 10 секунд процесу гідрування і повністю насичувалися на протязі 20 хв (5,5 мас. %). Добавки графіту до композиту магнію призводять до значного покращення циклічної стабільності і збільшення ступеня насичення матеріалу воднем при гідруванні. Дегідрування композитів проводили нагріванням у вакуумі із швидкістю 2 °С/хв. від кімнатної температури до 400 °С. Криві термодесорбційної спектроскопії вказують, як правило, на одностадійне виділення водню з піком десорбції між 200 та 300 °С. Після повторного гідрування композитів положення піку десорбції не змінювалося, а температурний інтервал навіть звужувався.

В ряді недавніх публікацій повідомлялося про існування інтерметалічних сполук з високим вмістом Mg в системах R–Mg–Ni. Воденьсорбційна ємність таких сполук складає ~3–5 мас. % [3–5]. Під час дослідження системи Y–Mg–Co ми виявили існування нової тернарної сполуки в області багатій на Mg. Сполука проіндексована в гексагональній сингонії з періодами елементарної комірки  $a = 10,159$ ;  $c = 22,514$  Å. Для гідрування був відібраний сплав  $\text{Y}_{22}\text{Mg}_{73}\text{Co}_5$  з максимальним вмістом нової інтерметалічної сполуки (50 мас. %). Такий сплав повільно поглинає водень при кімнатній температурі до максимальної ємності ~1,5 мас. %. Після нагріву зразка у водні (200 °С) кількість поглинутого водню збільшилася до ~3,5 мас. %. Рентгенофазовий аналіз продуктів гідрування показав наявність гідридів магнію та ітрію. При термодесорбційній спектроскопії зафіксовано один пік виділення водню при 364 °С. За результатами рентгенофазового аналізу на дифрактограмі ідентифіковано  $\text{YH}_2$ , Mg та  $\text{YCo}_3$ .

[1] B. Delhomme, A. Lanzini, G.A. Ortigoza-Villalba *et al.* Coupling and thermal integration of a solid oxide fuel cell with a magnesium hydride tank. *Int. J. Hydrogen Energy* 38 (2013) 4740–4747.

[2] Завалій І.Ю., Денис Р.В., Вербовицький Ю.В. *et al.* Розділ (С.158-166.) в монографії “Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях” Київ, “КІМ”, 2015 р. 294 с.

[3] S. Couillaud, E. Gaudin, F. Weill *et al.* Structure of a new ternary compound with high magnesium content, so-called  $\text{Gd}_{13}\text{Ni}_9\text{Mg}_{78}$ , *Acta Materialia* 60 (2012) 4144–4151.

[4] B. Ourane, E. Gaudin, R. Zouari *et al.*  $\text{NdNiMg}_5$  a New Magnesium-Rich Phase with an Unusual Structural Type, *Inorg. Chem.* 52(23) (2013) 13289–13291.

[5] Q. Luo, Q.-F. Gu, J.-Y. Zhang *et al.* Phase Equilibria, Crystal Structure and Hydriding/ Dehydriding Mechanism of  $\text{Nd}_4\text{Mg}_{80}\text{Ni}_8$  Compound, *Sci. Rep.* 5 (2015) 15385.

# ГЕТЕРОГЕННІ КОМПЗИТИ НА ОСНОВІ МАГНІЮ ТА ТИТАНУ З РІЗНИМ ФАЗОВО-СТРУКТУРНИМ СТАНОМ І ЇХ ВЗАЄМОДІЯ З ВОДНЕМ

**Рудь О.Д., Прядко Т.В., Саввакін Д.Г., Лахник А.М., Дехтяренко В.А.**

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України,  
Україна, 03680 ГСП, Київ, бульвар Академіка Вернадського, 36 [rud@imp.kiev.ua](mailto:rud@imp.kiev.ua)

Досліджено сорбційні властивості сплавів на основі титану при кімнатній температурі та тиску водню 0,23 МПа. Гетерофазні композити ( $Ti_{19,8}Zr_{34,8}Mn_{43,3}V_{2,1}$  та  $Ti_{32,1}Zr_{18,9}Mn_{42}V_{7,0}$ ) були виготовлені методом електродугової плавки. Склади композитів були обрані таким чином, щоб змінити співвідношення фаз та дисперсність фазових складових і, відповідно, площу міжфазної поверхні. Структура сплавів складається з великих зерен фази Лавеса, по межах яких розташовані вкраплення ОЦК-твердого розчину. Металографічні дослідження підтверджуються даними рентгенівського фазового аналізу (РФА). Інкубаційний період для сплаву  $Ti_{19,8}Zr_{34,8}Mn_{43,3}V_{2,1}$  склав 10 хв., для  $Ti_{32,1}Zr_{18,9}Mn_{42}V_{7,0}$  – ~6 хв. Процес поглинання в обох випадках тривав 10 хвилин, при цьому концентрація поглинутого водню склала 2,16 і 2,20 мас.%, відповідно. За даними РФА при наводненні вказаних сплавів утворюються гідриди тільки на основі вихідних фаз. Порівнюючи ці дані з відповідними для сплавів, що мають у структурі тільки фазу Лавеса, можна стверджувати, що присутність у складі зразка ОЦК-твердого розчину не погіршує кінетичні параметри процесу гідрування та веде до зростання водневої ємності. Подальша витримка впродовж 2 годин до збільшення кількості поглинутого водню не призвела. Передбачалась можливість збільшення сорбційної ємності даних сплавів за рахунок зміни температурно-баричних умов. Для цього тиск водню над отриманими гідридами підвищили до 2 МПа. Впродовж 24 годин процес гідрування не відновився. Наступним етапом став нагрів до температури 400°C (при цьому тиск у камері зріс до 3 МПа). У результаті годинної витримки воднева ємність сплавів  $Ti_{19,8}Zr_{34,8}Mn_{43,3}V_{2,1}$  та  $Ti_{32,1}Zr_{18,9}Mn_{42}V_{7,0}$  зросла до 2,29 і 2,33 мас.%, відповідно.

Відпрацьовано методику проведення механоактиваційного синтезу композитів у планетарному млині шляхом розмелювання вихідних порошків в наступному режимі: маса зразка ~15 г; кількість розмелювальних куль (діаметром 20 мм) – 15 шт.; відношення маси розмелювальних куль до маси зразка –  $m_{ш} : m_{п} = 30 : 1$ ; швидкість обертання розмелювального контейнера – 400 об./хв.; об'єм розмелювального контейнера – 250 мл. Тривалість механоактиваційної обробки була однаковою для всіх зразків і складала 10 годин. Досліджено вплив типу та відсоткового вмісту диспергувального агента на процеси фазоутворення та структуру композитів, отриманих шляхом механоактивації. Експерименти проведено на порошкових сумішах наступного складу: 80%Mg-20%MoS<sub>2</sub>; 90%Mg-10%MoS<sub>2</sub> і 80%Mg-10%MoS<sub>2</sub>-10%С. Із застосуванням повнопрофільного аналізу порошкових дифрактограм досліджено фазовий склад композитів та оцінено їх структурні параметри. Показано, що твєдофазні диспергенти суттєво підвищують ефективність процесу розмелювання, перешкоджаючи механічному сплавленню частинок магнію. За результатами РФА виявлено, що процес механоактивації супроводжується одночасно як інтенсивним розшаруванням твєдофазних диспергентів, так і різким зменшенням розмірів кристалітів магнію в порошкових сумішах. Досліджено взаємодію механоактивованих композитів різного складу з воднем в умовах неперервного нагрівання від кімнатної температури до температури 450° С. Визначені температурні інтервали поглинання/вивільнення водню. Механоактивовані композиції демонструють збільшення активності при взаємодії з воднем. Воднева ємність композитів складає ~5%. Під час насичення спостерігається утворення лише гідриду магнію.

Методами електронної мікроскопії досліджено мікроструктуру сплавів Ti-Zr-Mn-V із змінною концентрацією ванадію в межах 2-15 мас%, встановлено перерозподіл легувальних елементів між фазами в даних сплавах.

# АНАЛІЗ ТА ВИБІР ВІТЧИЗНЯНИХ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ВИСОКОМІЦНОГО КОМПОЗИТУ І РОЗРОБКА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

**Савицький М.М., Савицький О.М.**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України;  
03680, м. Київ-5, вул. Казимира Малевича, 11; [sam@paton.kiev.ua](mailto:sam@paton.kiev.ua)

В сучасних умовах водень вважається перспективним енергоносієм на майбутні десятиліття завдяки його екологічній чистоті та практично невичерпним ресурсам. Як паливо для автомобілів (понад 1млрд), які викидають в атмосферу до 70% всіх забруднень він може оздоровити навколишнє середовище. Але для зберігання і використання водню потрібні ємкі і легкі балони. Аналогічна ситуація з використанням водню в авіаційній і ракетній техніці.

Найменшим коефіцієнтом дифузії водню ( $D=2,3 \cdot 10^{-8} - 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$ ) характеризуються високолеговані сталі аустенітного класу. Вони мають високу пластичність і в'язкість, але порівняно низьку міцність (до 530МПа) [1]. Тому забезпечити працездатність ємностей високого тиску для водню можна за рахунок товщини стінки і, відповідного збільшення їх масу. Такі ємності придатні для стаціонарних умов, але не для автотранспорту, авіаційної і ракетної техніки. Слід урахувати і досить високу вартість аустенітних сталей.

Виходом є створення комбінованих ємностей, які складаються із тонкого герметичного і силового корпусів. Герметичний корпус - із аустенітної сталі, а силовий, який сприймає навантаження і забезпечує працездатність всієї ємності може бути зварним із високоміцних сталей, металокомпозитним і композиційним.

Високоміцні сталі ( $\sigma_b \leq 1950 \text{ МПа}$ ) за міцністю в 2-3 рази перевищують аустенітні. Це позитивно відображується на масі всієї ємності. Однак зварні з'єднання більшості вказаних сталей чутливі до дифузійного водню, що призводить до утворення в них тріщин і уповільненого та крихкого руйнування.

Основою металокомпозитного силового корпусу із волоконних матеріалів і епоксидних смол є високоміцні пружинні дроти. Їх міцність ( $\sigma_b=1700-3100 \text{ МПа}$ ) перевищує високоміцні сталі, і забезпечує відповідне зменшення маси ємності. Такий кокон не має зварних з'єднань.

Композиційний кокон на основі неметалевих волоконних матеріалів ( $\sigma_b = 1010-3530 \text{ МПа}$ ) і епоксидних смол найлегший.

Досвід, накопичений в області створення легких комбінованих балонів високого тиску (20МПа) з коефіцієнтом масової досконалості не більше 0,7кг/л [2, 3] свідчить про перспективність даного напрямку.

За результатами досліджень поточного року розроблено технологічний регламент на композитний матеріал для комбінованих високоміцних ємностей для акумулювання, зберігання і використання водню і технічне завдання на розробку конструкції балонів для накопичення, зберігання і використання водню. Підібрані матеріали для комбінованих силових корпусів та розроблена техніка їх формування.

## Перелік посилань.

1. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов/ - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
2. Патон Б.Е. Перспективы применения высокопрочных среднелегированных сталей в сварных баллонах высокого давления для автотранспорта./Патон Б.Е., Савицкий М.М., Кузьменко Г.В.// Автоматическая сварка. – 1994. - №3. – С. 4 - 7.
3. Комбинированные баллоны со сварным корпусом для природного газа/ Патон Б.Е., Савицкий М.М., Савицкий А.М., Притула С.И.//Научные основы внедрения новых технологий в эпоху нового возрождения. Материалы международной конференции. Ашгабад. 12-14 июля 2009. - С. 133-134.

## РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПОЛЕГШЕНОГО МЕТАЛЕВОГО НОСІЯ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ.

Бродніковський Д.М., Васильєв О.Д., Гадзира М.П., Галямін В.Б.,  
Бродніковський Є.М., Бричевський М.М., Бродніковська І.В., Полішко І.О.,  
Лисуненко Н.О., Василів Б.Д.<sup>(1)</sup>, Подгурська В.Я.<sup>(1)</sup>, Осташ О.П.<sup>(1)</sup>, Самелюк А.В.,  
Коваль О.Ю., Котко А.В., Даниленко М.І., Головкова М.Є.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,  
вул. Кржижанівського, 3, м. Київ, 03142, [vasilev@ipms.kiev.ua](mailto:vasilev@ipms.kiev.ua)

(1) Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, [ostash@ipm.lviv.ua](mailto:ostash@ipm.lviv.ua)

Керамічні паливні комірки (КПК) є однією з найперспективніших технологій альтернативної енергетики, яка дозволяє високоефективно виробляти електроенергію шляхом прямого перетворення хімічної енергії палива. Основними складовими КПК є анод, електроліт та катод та з'єднувач (інтерконект). В аноді відбувається основна електрохімічна реакція з окиснення палива. Ефективність проходження цієї реакції, яка також обумовлює електричні властивості всієї КПК, залежить не тільки від структури та складу аноду, але й певною мірою від з'єднувача.

З'єднувач є однією з найвідповідальніших складових КПК. Він забезпечує як електричний зв'язок між катодом індивідуальної комірки та анодом суміжної комірки у батареї КПК, так і фізичний бар'єр між відновною атмосферою на аноді та окислювальною на катоді. Критерії вибору матеріалів з'єднувача є жорсткішими у порівнянні з вимогами до матеріалів інших складових комірки через забезпечення електронної провідності, високої міцності, відповідності КТР, структурної і хімічної стійкості в обох газових середовищах – відновному і окисному при високій температурі.

На даному етапі роботи був виготовлений Ti-Si-C *in situ* композит і були досліджені його механічні та електричні властивості, які представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Властивості зразків порошкового матеріалу Ti-Si-C (випробування у повітрі при 20 °C).

Матеріал	Стан	Міцність на згин, МПа	Опір у вихідному стані, Ом·м	Опір після випробування, Ом·м
Ti-Si-C	Вихідний	55,8	$1,07 \cdot 10^{-6}$	-
Ti-Si-C	Після витримки у водні, 3 год., 600 °C	57	$1,20 \cdot 10^{-6}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$

Видно, що міцність та електричний опір Ti-Si-C після трьох годинної витримки у водні при температурі 600 °C залишився на рівні не гіршому, ніж у вихідному стані. Ці дані свідчать про перспективність титанового Ti-Si-C композиту для застосування його у КПК. Подальше дослідження властивостей Ti-Si-C *in situ* композит є доцільним та важливим.

# РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ СИСТЕМИ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ПОРИСТОЇ ТОВСТОЇ ПЛІВКИ АНОДНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ЩІЛЬНОЇ ПЛІВКИ ЕЛЕКТРОЛІТУ

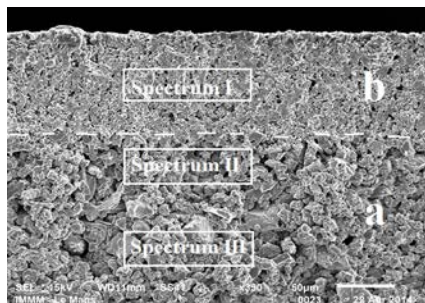
**Коваленко Л.Л., Бродніковський<sup>(1)</sup> Є. М., Білоус А.Г., В'юнов О.І., Янчевський О.З.**

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

<sup>(1)</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України  
03680, Київ, вул. Кржижановського 3, [bregor@ukr.net](mailto:bregor@ukr.net)

Перспективність створення керамічних оксидних паливних комірок на основі багатошарових систем обумовлена високою ефективністю, компактністю та екологічністю. Зниження товщини шару електроліту та перехід до плівкової конструкції зменшує омичні втрати, що дозволяє суттєво збільшити питому потужність оксидних паливних комірок. В якості твердого електроліту перспективно використовувати цирконієву матрицю  $ZrO_2$ , стабілізовану складними оксидами скандію (III) і церію (IV), яка характеризується високою провідністю по кисню.

Багатошарову систему, яка складається з плівок полікристалічного пористого аноду та твердого електроліту, отримували методом лиття (tape casting) суспензії, що включала органічну (ацетилацетон, ізопропанол, поліметилметакрилат, дибутилфталат, дібутилфосфат, галлотаннін, поліетиленгліколь) та неорганічну складову - слабоагломеровані нанопорошки  $(ZrO_2)_{0.90}(Y_2O_3)_{0.10}-NiO$  (анод) та  $(ZrO_2)_{0.80}(Sc_2O_3)_{0.14}(Ce_2O_3)_{0.06}$  (електроліт). Щоб зробити плівки в одержаній багатошаровій системі максимально вакуумнощільними, перед термоударом ( $500\text{ }^\circ\text{C}/\text{хвл}$ ) застосовували процес ламінування. Термообробку багатошарової системи проводили при  $1100 - 1300\text{ }^\circ\text{C}$ .



Дані EDX-аналізу системи анод-електроліт

Spectrum I		Spectrum II		Spectrum III	
Element	at. %	Element	at. %	Element	at. %
O	66.26	O	56.86	O	46.86
Sc	4.44	Ni	29.43	Ni	33.01
Zr	27.18	Y	3.23	Y	3.46
Ce	2.12	Zr	18.53	Zr	16.68
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>

Рисунок. Мікрофотографії сколу спеченої багатошарової системи анод (а) – електроліт (b) та ділянки елементного EDX –аналізу

Як видно з рисунку, середня товщина плівки електроліту складає близько 100 мкм, без чіткого розділу фаз електроліт-анод. Однак, як показали дані EDX-аналізу, в багатошаровій системі  $(ZrO_2)_{0.8}(Sc_2O_3)_{0.07}(CeO_2)_{0.06} - [(ZrO_2)_{0.90}(Y_2O_3)_{0.10}-NiO]$  при температурах термообробки  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  не відбувається дифузія іонів полікристалічного анодного матеріалу в граничний прошарок товстої плівки електроліту.

Таким чином, проведено синтез та дослідження структурних особливостей багатошарової системи, яка складається з плівок полікристалічного пористого анодного матеріалу  $(ZrO_2)_{0.90}(Y_2O_3)_{0.10}-NiO$  та твердого електроліту  $(ZrO_2)_{0.80}(Sc_2O_3)_{0.07}(CeO_2)_{0.06}$  методом лиття (tape casting). Встановлено, що при застосуванні органічної добавки таніну, термоудару та оптимальній температурі термообробки вдається уникнути процесів дифузії катіонів в граничний прошарок плівки аноду та зміни хімічного складу плівки електроліту. Встановлено, що дані багатошарові системи можуть бути використані при виготовленні низькотемпературної ( $600\text{ }^\circ\text{C}$ ) паливної комірки.



# СИНТЕЗ СКЛАДНИХ ОКСИДНИХ ТА МЕТАЛО-ОКСИДНИХ ВОДЕНЬ ПРОНИКНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК

Скороход В. В., Морозов І. А., Бездорожєв О. В., Гетьман О. І.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України,  
вул. Кржижанівського, 3, м. Київ-142, 03680, [imorozov@i.ua](mailto:imorozov@i.ua)

Протон-провідна твердооксидна паливна комірка (П-ТОПК) являє собою електрохімічний пристрій, який перетворює хімічну енергію реакції водню з киснем безпосередньо у електричну при температурах 400–800 °С. Основними перевагами П-ТОПК над звичайними електрогенеруючими системами є висока ефективність, модульність конструкції, безшумність роботи та можливість працювати при нижчих температурах у порівнянні з ТОПК з іонною провідністю завдяки нижчій енергії активації протонної провідності. П-ТОПК складається з щільного керамічного електроліту, пористого метало-керамічного аноду та керамічного катоду.

Відповідно до проведеного літературного пошуку встановлено, що в якості електроліту та керамічної складової аноду, зазвичай, використовують матеріали на основі цирконатів ( $\text{BaZrO}_3$ ) або цератів ( $\text{BaCeO}_3$ ) барію, які мають орторомбічну кристалічну структуру типу перовськіту ( $\text{ABO}_3$ ). Оскільки ці сполуки є тугоплавкими, то для покращення їх ущільнюваності до них додають 1-5 мол.% оксидів In, Zn, Sn, Bi, Ni або Cu, що дозволяє знизити температуру спікання з 1500-1600 °С до 1200-1300 °С. Тоді як добавки оксидів Zr, Nb, Ti, Ta, Y забезпечують хімічну стабільність перовськітів на основі  $\text{BaCeO}_3$  в середовищі  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Встановлено, що провідність перовськітів  $\text{BaZrO}_3$  і  $\text{BaCeO}_3$  не достатньо висока, що вимагає часткового заміщення атомів Zr або Ce іншими елементами для збільшення кількості кисневих вакансій. На основі аналізу літературних даних встановлено, що найвища провідність спостерігається для перовськітів з добавкою 10-20 мол.% оксидів таких елементів як Ce, Y, Yb, Gd, Sm, Lu, Nd, Sc, Co. При цьому часто спостерігається збільшення провідності кераміки з радіусом іону добавки, що, імовірно, пов'язано зі збільшенням концентрації кисневих вакансій.

Серед таких поширених методів синтезу перовськітів, як золь-гель процес, метод Печині, твердофазний метод, метод горіння, найбільшого поширення здобув метод твердофазного синтезу. Суть даного методу полягає у змішуванні вихідних оксидів металів з карбонатом барію та наступним твердофазним синтезом при 800-1200 °С. Основними перевагами даного методу є простота технічного оформлення, низька вартість вихідних речовин та велика продуктивність. Даний метод також зазвичай використовують для синтезу керметів для П-ТОПК. При цьому металічною фазою кермету є Ni (до 50 об.%), який отримують відновленням NiO у керамічному каркасі перовськіту. Нікель виконує роль електронного провідника та каталізатору при відсутності взаємодії з керамічною складовою аноду ТОПК.

Таким чином, на основі результатів літературного пошуку, в роботі буде проведено відпрацювання режимів твердофазного синтезу багатокомпонентних оксидних і метало-оксидних систем з метою одержати якомога активніші порошки на основі перовськітів  $\text{BaZrO}_3$  і  $\text{BaCeO}_3$  з добавками рідкоземельних та перехідних металів. Буде проведено відпрацювання параметрів спікання порошків, а одержані щільні зразки будуть досліджені, зокрема, на проникність водню.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ $\text{CeO}_2$ ТА ПРОМОТОРІВ (Pd, Pt) В СКЛАДІ АНОДНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ НІКЕЛЮ ТА СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ (12YSZ, 10Sc1CeSZ) НА ЇХ КАТАЛІТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ В ПРОЦЕСАХ ПАРОВОГО ТА ТРИ-РИФОРМІНГУ МЕТАНУ

**Канцєрова М.Р., Чєдрик В.І., Орлик С.М.,**

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України,  
Проспєкт Науки, 31Київ-28 Україна 03028, [mkantserova@ukr.net](mailto:mkantserova@ukr.net)

Електрохімічне окислення природного газу в керамічних паливних комірках (КПК) є екологічно чистим та перспективним способом отримання електроенергії. Ключовою проблемою використання КПК є створення анодних матеріалів із заданими механічними характеристиками (міцність, пористість), каталітичною активністю і ресурсними можливостями (стабільність роботи, стійкість до завуглецювання та дії сірковмісних сполук) в гетерогенно-каталітичних процесах парового, паро-кисневого та три-риформінгу (окси-вуглекислотно-паровій конверсії) компонентів природного газу, які моделюють його електрохімічне окислення в анодному просторі паливної комірки [1, 2].

В даній роботі з використанням методів газової хроматографії, РФА, ПЕМ досліджено вплив складу Ni-вмісних композитів на основі стабілізованого діоксиду цирконію (12YSZ, 8ScSZ, 10Sc1CeSZ), як прототипів анодних матеріалів КПК, на їх каталітичну активність в процесах окислювального риформінгу компонентів природного газу: парового (ПРМ) та три-риформінгу метану (ТРМ), парового (ПРБ) та паро-кисневого (ПКРБ) риформінгу бутану при робочих температурах КПК 600–800°C.

За активністю в процесі ПРМ каталізатори з різним вмістом нікелю (% мас.), нанесені на 10Sc1CeSZ, розташовуються в наступній послідовності (в дужках наведені температури досягнення 10, 50 і 100 % конверсії метану, °C): 20Ni (360, 498, 746)  $\approx$  40Ni (374, 510, 677) > 10Ni (410, 550, 801). Ведення Pd (0,1 % мас.) в склад каталізатора 20Ni-10Sc1CeSZ підвищує його активність: температури досягнення 50-90 % конверсії  $\text{CH}_4$  знижуються на 20 - 45°C. Використання 12YSZ як носія нікель-вмісного каталізатора сприяє зниженню температур досягнення 10-95% конверсії метану на 20-25°C, 100% конверсії метану на 70°C (від 800 до 730 °C) в порівнянні з 8ScSZ та 10Sc1CeSZ.

Показано, що модифікування біметалевого 10Ni-10Cu каталізатора діоксидом церію (10% мас.) знижує температуру досягнення 100% конверсії бутану від 750 до 680°C та збільшує стійкість композиту до завуглецювання в процесі ПРБ. Згідно даних РФА, діоксид церію у складі каталізатора запобігає утворенню Ni-Cu сплаву, підвищує дисперсність нанесених металів та, як наслідок, збільшує кількість центрів активації бутану (Ni, Cu), водяної пари та кисню ( $\text{CeO}_2$ ), що забезпечує ефективність каталізатора в процесах ПРБ і ПКРБ при температурах 600-800°C.

Доповані платиною та паладієм (0,1% мас.) каталізатори проявили більшу активність в процесах ПРБ, ПКРБ та ТРМ в порівнянні з нікель-мідним зразком. Композити Ni-Pt та Ni-Cu- $\text{CeO}_2$  на основі 10Sc1CeSZ продемонстрували стабільну активність в процесах ПРБ та ПКРБ протягом 8 год. роботи при температурах 600 і 800 °C, в процесі ТРМ - протягом повторних циклів роботи (сумарно 32,5 год) при температурі 800 °C.

Розроблені композити на основі 10Sc1CeSZ, які характеризуються високою активністю та стабільністю роботи в процесах парового та три-риформінгу метану, парового та паро-кисневого риформінгу бутану в температурному інтервалі 600 - 800 °C, перспективні як анодні матеріали КПК прямого перетворення вуглеводневого палива.

1. Atkinson A., Barnett S., Gorte R. J. et al. // Nature mater. -2004, -3. -P.17–27.
2. N. Laosiripojana, S. Assabumrungrat // Journal of Power Sources -2007, -163, -P. 943–951.



# ПРИГОТУВАННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КАТОДНИХ І АНОДНИХ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ВОДНЕВО-ПОВІТРЯНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Пірський Ю.К., Омельчук А.О., Стезерянський Е.А., Панчишин Т.М., Тупчієнко О.С., Крупеннікова О.С.**

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України  
проспект Академіка Палладіна, 32/34, Київ, 03680, Україна, [pirsky@ionc.kiev.ua](mailto:pirsky@ionc.kiev.ua)

Розвиток і широке впровадження нових, екологічно безпечних джерел енергії багато в чому визначається станом розробок в області низькотемпературних паливних елементів (ПЕ), що працюють на водні. Основні досягнення в області розробок таких пристроїв пов'язані із застосуванням вуглецевих матеріалів з нанесеними нанокластерами платинових або паладієвих сплавів і полімерних протон-обмінних мембран типу Nafion®. Широке застосування ПЕ стримується їх високою ціною, сильною залежністю характеристик від умов середовища і високими вимогами до чистоти повітря та водню.

Численні розробки добре обладнаних дослідницьких і конструкторських груп в останні роки не дали помітного результату у вирішенні цих проблем. Це означає, що треба провести пошук нових матеріалів або шляхів модифікації наявних для більш детального вивчення процесів в паливних елементах з метою зменшення ціни, підвищення надійності та ефективності пристроїв.

Метою цієї роботи було синтезувати експериментальні зразки електрокатализаторів окислення водню та електровідновлення кисню з високими характеристиками на основі платиновмісних вуглецевих наноструктур з малим вмістом платини для мембранно-каталітичних систем. Дослідити електрокаталітичні властивості катализаторів в паливних воднево-кисневих та воднево-повітряних ПЕ.

Розроблено спосіб приготування наноструктурних катодних і анодних електрокатализаторів Pt/XC72 з різним вмістом платини. Показано, що склад рідкої фази та методи синтезу впливають на кінцеві характеристики отримуваних наноструктурних Pt/XC72 електрокатализаторів для воднево-кисневих ПЕ. Імовірно, що при різних умовах синтезу утворюються наночастинки різного розміру, що впливають на каталітичну активність електрокатализаторів. Електрокатализатори отримані поліол-методом мають найкращі каталітичні характеристики в реакції електровідновлення кисню.

Встановлено, що при недостатньому очищенні наноструктурних електрокатализаторів їхні характеристики погіршуються внаслідок блокування активних центрів на поверхні сажі або агломерації дрібних наночастинок, що призводить до зменшення ефективної площі поверхні.

Розроблено аерографічний метод нанесення каталітичного чорнила на протонпровідну мембрану або на газодифузійні шари. Метод сприяє рівномірному формуванню каталітичного шару в мембрано-електродному блоці (МЕБ) паливного елемента і ефективно впливає на його електрохімічні характеристики, що дозволяє створювати МЕБ необхідної потужності. Досліджено залежність характеристик МЕБ від таких параметрів як кількість гідрофобізатору (тефлону) в каталітичному чорнилі, температури обробки МЕБ та від процентного вмісту платини в електрокатализаторі. Визначено оптимальні параметри для отримання високоактивних МЕБ. Ресурсні випробування МЕБ з катодами на основі синтезованих катализаторів проводили протягом 200 год. При постійному навантаженні з напругою 0,6 В та густині струму не менше 50 мА/см<sup>2</sup> МЕБ показують стабільні характеристики при їх зниженні не більше 10 %.

Одержані електрохімічні дані показали перспективність продовження робіт з воднево-кисневими низькотемпературними ПЕ для покращення їх енергетичних характеристик та розробки на їх основі діючих зразків батарей паливних елементів.

# ОДЕРЖАННЯ НОВИХ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ Me-N-C ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ВІДНОВЛЕННЯ КИСНЮ ДЛЯ ПАЛИВНИХ КОМІРОК

**Курись Я.І., Уставицька 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](mailto:kurys@inphyschem-nas.kiev.ua)

Шляхом сумісного піролізу (800-900°C) N-вмісних органічних супряжених полімерів з високим вмістом азоту (полі-*m*-фенілендіаміну – ПМФДА, полі-5-аміноіндолу – ПАІн та ін.), солей d-металів (Co або Fe) та нанорозмірних вуглецевих матеріалів (ацетиленової сажі, оксиду графену, вуглецевих нанотрубок, багат шарового графену) одержані гібридні Co-N-C та Fe-N-C-електрокаталізатори реакції відновлення кисню (РВК) для низькотемпературних паливних комірок. З'ясовано вплив ряду чинників (умов одержання, типу використаних полімерів, d-металу та вуглецевого матеріалу тощо), на склад та будову синтезованих наноструктурованих Me-N-C електрокаталізаторів, а також на ефективність прояву ними активності в РВК у кислому електроліті.

За допомогою методу скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) встановлено, що Co-N-C та Fe-N-C-електрокаталізатори мають схожу морфологію. Зокрема, для гібридних електрокаталізаторів на основі ацетиленової сажі на мікрофотографіях СЕМ в режимі вторинних електронів спостерігаються лише достатньо агреговані наночастинки вуглецевого матеріалу, а в режимі реєстрації відбитих електронів – додатково проявляються частинки світлого контрасту, які свідчать про наявність Me-вмісної фази у складі композиту. При цьому, для Fe-вмісного композиту розмір таких частинок менший, а їхній розподіл на вуглецевому компоненті більш рівномірний, порівняно з Co-вмісним аналогом. Вміст металу в Co-N-C та Fe-N-C-електрокаталізаторах складає до 0,6 мас. %, а азоту біля 2 мас. %. В дифрактограмах піролізованих нанокompозитів на основі Co наявні лише широкі піки, характеристичні для вуглецевого компоненту, а у випадку Fe-вмісних нанокompозитів додатково присутні малоінтенсивні рефлекси від залізовмісної фази.

В результаті проведення електрохімічних досліджень виявлено, що одержані гібридні електрокаталізатори визначаються достатньо високою стабільністю в процесі функціонування і характеризуються значеннями потенціалів появи каталітичного струму ( $E_{\text{onset}}$ ) – до  $\sim 820$  мВ (відн. RHE) та його максимуму ( $E_{\text{max}}$ ) – до  $\sim 740$  мВ (відн. RHE). Варто відзначити, що застосування в якості джерела азоту при формуванні композитів замість полімеру суміші відповідного мономеру з окисником не знижує активності таких електрокаталізаторів у РВК, а навіть призводить до деякого покращення їх функціональних властивостей, що дає змогу уникнути зайвої стадії при одержанні такого типу матеріалів, принаймні, не погіршуючи їхніх електрокаталітичних характеристик.

Збільшення кількості кобальту у вихідній реакційній суміші у два рази призводить до погіршення електрокаталітичної активності відповідних композитів у РВК, заміна кобальта на залізо – до зміщення  $E_{\text{onset}}$  та  $E_{\text{max}}$  в область більш позитивних потенціалів, а заміна ацетиленової сажі на оксид графену – до збільшення каталітичних струмів, що, ймовірно, може бути наслідком збільшення електрохімічно активної площі поверхні в такому композиті.

Встановлено, що використання ПАІн замість ПМФДА при одержанні гібридних електрокаталізаторів забезпечує більшу активність останніх у РВК (зменшення перенапруги на 40-50 мВ), що може бути обумовлено різною природою каталітично активних центрів в таких матеріалах внаслідок різного оточення атомів азоту у відповідних макромолекулах.

# ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ТА ЖАРОМІЦНОСТІ, ВОДНЕВОТРИВКОСТІ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ КПК НА ОСНОВІ ТИТАНОВИХ КОМПОЗИТІВ ЗА ДІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО І ОКИСНЮВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩ

Осташ О.П.<sup>(1)</sup>, Пріхна Т.О.<sup>(2)</sup>, Івасишин А.Д.<sup>(1)</sup>, Подгурська В.Я.<sup>(1)</sup>,  
Свердун В.Б.<sup>(2)</sup>, Василів Б.Д.<sup>(1)</sup>

(1)Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
79060, м. Львів, вул. Наукова, 5, [ostash@ipm.lviv.ua](mailto:ostash@ipm.lviv.ua)

(2)Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2, [prikhna@mail.ru](mailto:prikhna@mail.ru)

Керамічна паливна комірка (КПК), робота якої полягає у прямому перетворенні енергії хімічної реакції в електричну, є високоефективним і екологічно чистим джерелом енергії. Сучасні комірки працюють при температурах 600...800°C. Це накладає суттєві обмеження при виборі функціональних матеріалів КПК та призводить до підвищення їх вартості. КПК складаються з набору елементарних паливних комірок (пластин із шарами анода, твердого електроліту і катода), з'єднаних між собою інтерконектами.

Інтерконект має багатфункціональне призначення. Як каркас, в якому вмонтовано елементарну паливну комірку, його використовують для подачі високотемпературного відновлювального газового середовища до анода і окиснювального до катода, а також для відведення струму.

В роботі запропоновано використовувати в якості матеріалу для інтерконектів КПК композит на основі МАХ-фази  $Ti_3AlC_2$ , якому властиві високі електро- та теплопровідність, співмірний до електроліту коефіцієнт теплового розширення, висока жаростійкість та низька питома вага, що особливо важливо для аерокосмічного та автомобілебудівного призначення.

Композит на основі фази  $Ti_3AlC_2$ , отриманий спіканням суміші порошоків  $TiC$ ,  $TiN_2$  і  $Al$  у вакуумі. Він має порувату будову (22 %), в якій переважають зерна фази  $Ti_3AlC_2$ . Після гарячого пресування спеченого матеріалу на основі фази  $Ti_3AlC_2$  зерна істотно подрібнилися і зменшилися розміри пор. Поруватість знизилась до 1 %, а фазовий склад став таким: 89 мас.%  $Ti_3AlC_2$ , 6 мас.%  $TiC$ , 5 мас.%  $Al_2O_3$ . Додаткове легування ніобієм (3,5 мас.%) сприяє ще значнішому подрібненню структурних елементів і зменшенню розмірів пор. Локальний спектральний аналіз засвідчив, що ніобій рівномірно розподілений в об'ємі матеріалу і присутній у всіх фазах матеріалу.

Встановлено, що композит на основі МАХ-фази  $Ti_3AlC_2$  має високу міцність і мало чутливий до впливу температури і середовища. При 20°C у повітрі значення  $\sigma_{bend}$  становить 535 МПа, а з підвищенням температури до 600°C воно знижується незначно і становить 490 і 500 МПа у повітрі і водні відповідно. Інша закономірність виявлена для композита легованого ніобієм: при 20°C у повітрі  $\sigma_{bend} = 480$  МПа, що нижче порівняно з міцністю композита без ніобію. Проте в цьому матеріалі з підвищенням температури до 600°C міцність зростає як у повітрі (на 9%), так і водні (на 13%).

Встановлено, що композит на основі МАХ-фази  $Ti_3AlC_2$ , додатково легований ніобієм, має вищу у 1,2 рази при 20°C і 1,5 – 2,0 рази при 600°C міцність і мало чутливий до впливу високої (600°C) температури і водню, на порядок нижчий приріст маси після витримання при 600°C упродовж 1000 год, в 1,7 рази меншу густину і співмірну електропровідність, ніж традиційно використовуваний сплав Crofer JDA, що дає підстави рекомендувати його для виготовлення інтерконектів керамічної паливної комірки.

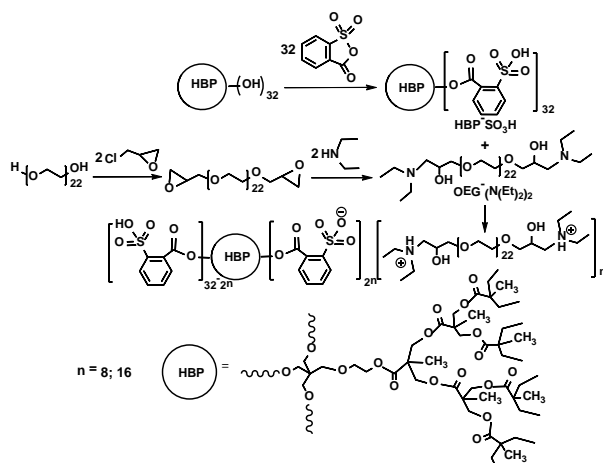
# РОЗРОБКА ЙОНООБМІННИХ КОМПОЗИТНИХ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ПОЛІМЕРЕЛЕКТРОЛІТНИХ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК

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

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України  
02160, Київ, Харківське шосе, 48, e-mail: [valshevchenko@yandex.ru](mailto:valshevchenko@yandex.ru)

Паливні комірки є перспективними альтернативними джерелами електричної енергії, що характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та екологічною безпечністю. Основною складовою таких електрохімічних генераторів є мембрано-електродний блок, роль ключового елементу в якому виконує протонобмінна полімерна мембрана (ПОМ). Подальше підвищення ефективності експлуатації полімерелектролітних паливних комірок пов'язано з підвищенням температури функціонування ПОМ до так званих проміжних температурах (100-200°C).

Для вирішення даної проблеми нами розвивається напрямок створення органо-неорганічних наноструктурованих ПОМ золь-гель методом з використанням олігомерних та полімерних протонодонорних прекурсорів і допантів, що містять здатну до йонної провідності в безводних умовах складову. В складі ПОМ такі сполуки виконують роль протонодонорів та неводного протонопровідного середовища тим самим надаючи їм можливість функціонувати при температурах вище 100°C за відсутності зволоження. В рамках цього підходу нами ведуться розробки по синтезу перспективних в цьому аспекті полімерів кислотного-основного типу. На даному етапі було розроблено методи синтезу кислотно-основних полімерів гіперрозгалуженої будови, що містять здатні до йонної провідності амоній сульфонатні йонні центри та олігооксиетиленові фрагменти в своєму складі, отримання на їх основі ПОМ різного хімічного складу та вивчення їх властивостей.



Отримані кислотно-основні полімери використано як допанти в золь-гель синтезі ПОМ в суміші з  $\alpha,\omega$ -діалкоксисилільним олігооксиетиленуретансечовинним прекурсором та фенілтриетоксисиланом при різних співвідношеннях в умовах кислотного каталізу.

ПОМ на основі промислових пористих поліетилентерефталатних мембран (розмір пор 0,1  $\mu\text{m}$ ) отримували шляхом їх просочування розчинами розроблених кислотно-основних гіперрозгалужених полімерів в етиловому спирті різної концентрації.

Будову отриманих кислотно-основних полімерів та ПОМ на їх основі доведено методами  $^{13}\text{C}$ - $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопії та функційного аналізу. Сформовані органо-неорганічні ПОМ характеризуються термічною стабільністю до 300°C та величинами протонної провідності  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  См/см при 100°C в безводних умовах. Синтезовані ПОМ перспективні для використання як тверді поліелектроліти в водневих паливних комірках при температурах вище 100°C в безводних умовах.

# **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТІВ ПРОГРАМИ «ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЮВАНО-ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ І ПАЛИВНО- КОМІРЧАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ УЧАСТІ В КОНКУРСАХ ПРОГРАМИ ГОРИЗОНТ 2020 І СПІЛЬНОЇ ІНІЦІАТИВИ «ПАЛИВНІ КОМІРКИ І ВОДЕНЬ»**

**Білан І.І., Левіна Д.А., Чернишев Л.І., Гудименко Т.В.**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України  
03142, вул.Кржижанівського 3, Київ, e-mail: [belanira@materials.kiev.ua](mailto:belanira@materials.kiev.ua)

З метою можливості представлення результатів виконання проектів програми в мережі Інтернет та найбільш широкого їх розповсюдження була розроблена структура та здійснена практична реалізація сайту програми «Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій» на домені [ipms.kiev.ua](http://ipms.kiev.ua). Головна сторінка сайту містить посилання не тільки на матеріали результатів виконання проектів програми, але й на робочі програми відповідних тематичних пріоритетів програми "Горизонт 2020" та спільної ініціативи «Паливні комірки та водень», на сторінки відповідних поточних міжнародних профінансованих проектів. Проведено збір матеріалів за результатами виконання проектів програми за трьома розділами та проведено їх розміщення на сайті програми.

Проведено поповнення повнотекстової частини електронної бібліотеки програми. Відбір журналів було здійснено на основі наукометричного аналізу реферативно-бібліографічних даних з використанням системи Scopus. Продовжено поповнення повнотекстової частини традиційно популярних журналів (International journal of Hydrogen energy, Journal of Alloys and compounds and etc.). Додані нові тематичні журнали (Fuel Cells Bulletin, Journal of Power Sources and etc.) з відносно високим індексом цитування.

Проведені наукометричні дослідження результатів виконання проектів програми, проведено аналіз найбільш цитованих публікацій за трьома розділами програми, розрахований сумарний індекс Хірша програми за результатами публікацій керівників та відповідальних виконавців проектів за останні 10 років, досліджено розподіл публікацій за основними розділами програми та виданнями з відносно високими значеннями імпаکت-фактору.

Проведено аналіз основних аспектів програми «Горизонт 2020» які стосуються відновлювано-водневої енергетики та паливних комірок за пріоритетними напрямками «Безпечна, чиста і ефективна енергетика», «Нанотехнології, передові матеріали і сучасні технології їх виробництва та обробки», «Смарт, зелений і інтегрований транспорт», «Кліматичні зміни, ефективність використання ресурсів і сировини» (робочі програми, відкриті та майбутні конкурси та інш.). Проведено аналіз спільної ініціативи «Паливні комірки та водень» та правил участі у відповідних конкурсах. Створено бібліотеку різноманітних (координаційних, науково-дослідних, інноваційних) профінансованих проектів 7 Рамкової програми, проектів програми «Горизонт 2020» та спільної ініціативи «Паливні комірки та водень» які стосуються відновлювано-водневої енергетики та паливних комірок. Проведено аналіз основних проектних завдань, тематичних профілів учасників та кінцевих користувачів.

Організовано звітну наукову сесію за результатами виконання проектів програми, проведено верстання та друкування тез.

# Авторський показчик

Васильєв О.Д.	30	Золотаренко О.Д.	23
Дехтяренко В.А.	28	Золотаренко Ол.Д.	23
Козицький А.В.	18	Івасишин А.Д.	36
Левіна Д.А.	38	Канцєрова М.Р.	33
Рябов О.Б.	27	Карпенко О.С.	21
Чедрик В.І.	33	Картель М.Т.	21
Штендер В.В.,	27	Клепко В.В.	37
Андрюшина Н.С.	18	Клименко Н.С.	37
Бездорожев О. В.	32	Коваленко Л.Л.	31
Бєрезовець В.В.	27	Коваль О.Ю.	30
Білан І.І.	38	Козін Л.Х.	13
Білоус А.Г.	31	Колбасов Г.Я.	17
Бондаренко Б.І.	22	Копілова Л.І.	23
Бортишевський В.А.	14	Корж Р.В.	14
Бричевський М.М.	30	Коржак Г.В.	18
Бродніковська І.В.	30	Корсунська Н.Є.	18
Бродніковський Д.М.	30	Котко А.В.	30
Бродніковський Є. М.,	31	Кошечко В.Г.	35
Бродніковський Є.М.	30	Криницький А.В.	26
В'юнов О.І.	31	Крупеннікова О.С.	34
Вавриш А.С.	22	Кудря С.О.	11
Василів Б.Д.	30	Кузнєцов М.П.	11
Василів Б.Д.	36	Куриць Я.І.	35
Гадзира М.П.	30	Кучмій С.Я.	18
Галямін В.Б.	30	Лахник А.М.,	28
Гетьман О. І.	32	Лисуненко Н.О.	30
Говоруха В.М.	12	Лобанов В.В.	21
Головкова М.Є.	30	Мазур Д.О.	35
Грайворонська К.А.	26	Манілевич Ф.Д.	13
Гроздюк Г.Я.	18	Манорик П.А.	18
Гудименко Т.В.	38	Марчук Ю.В.	22
Гуменна М.Я.	37	Матисина З.А.	23
Даниленко М.І.	30	Мацевитий Ю.М.	24
Данилов М.О.	17	Морозов І. А.	32
Данильцев Б.І.	13	Морозов Ю.П.	11
Демяненко Е.Н.	21	Омельчук А.О.	34
Долгіх Л.Ю.	16	Орлик С.М.	33
Дудник О.М.	15	Осташ О.П.	30
Єрмохіна Н.П.	18	Осташ О.П.	36
Єршова О.Г.	25	Панчишин Т.М.	34
Жовтянський В.А.	19	Пірський Ю.К.	13
Завалій І.Ю.	27	Пірський Ю.К.	34
Зіпунніков М.М.	20	Подгурська В.Я.	30
Золотаренко Ан.Д.	23	Подгурська В.Я.	36

Полішко І.О.	30	Солонін Ю.М.	26
Походенко В.Д.	35	Стезерянський Е.А.	34
Праженнік Ю.Г.	22	Столярчук І.Л.	16
Пріхна Т.О.	36	Стрижак П.Є.	16
Прядко Т.В.	28	Стрюк О.Л.	18
Пятницький Ю.І.	16	Стрюцький О.В.	37
Раєвська О.Є.	18	Таширев О.Б.	12
Рудь О.Д.	28	Трепядько Д.О.	14
Русецький І.А.	17	Тупчієнко О.С.	34
Саввакін Д.Г.	28	Уставицька О.О.	35
Савицький М.М.	29	Чернишев Л.І.	38
Савицький О.М.	29	Чорна Н.А.	24
Самелюк А.В.	30	Шапошнікова Т.І.	23
Свердун В.Б.	36	Швалагін В.В.	18
Святогор А.В.	13	Шевченко А.А.	20
Скороход В. В.	32	Шевченко В.В.	37
Слободянюк І.О.	17	Щербакова Л.Г.	26
Соколовська І.С.	15	Щербакова, Л.Г.	17
Соловей В.В.	20	Щур Д.В.	23
Соловей В.В.	24	Якимович М.В.	19
Солонін Ю.М.	17	Янчевський О.З.	31
Солонін Ю.М.	25		

# ЗМІСТ

ПРОГРАМА

3-8

## Тези за проектами

### I. Отримання водню

<b>ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ ВОДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ І СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ТА ВАРІАНТНІ РОЗРАХУНКИ ЗА РІЗНИХ УМОВ РОЗМІЩЕННЯ ТАКИХ СИСТЕМ</b>	<b>11</b>
<b>Кудря С.О., Морозов Ю.П., Кузнєцов М.П.</b> Інститут відновлюваної енергетики НАН України	
<b>РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ МАСООБМІНУ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ФЕРМЕНТЕРУ</b>	<b>12</b>
<b>Таширев О.Б., Говоруха В.М.<sup>(1)</sup></b> Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, <sup>(1)</sup> Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України	
<b>РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОАКУМУЛЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ З ДОДАВАННЯМ МЕТАЛІВ-АКТИВАТОРІВ ТА НАПРАЦЮВАННЯ ЗРАЗКІВ АКТИВОВАНИХ АЛЮМІНІЮ ТА МАГНІЮ</b>	<b>13</b>
<b>Козін Л.Х., Манілевич Ф.Д., Святогор А.В., Данильцев Б.І., Пірський Ю.К.</b> Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України	
<b>РОЗРОБКА СВІТЛОЧУТЛИВОГО АНОДА ТА РЕВЕРСИВНОЇ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ІЗ ВОДИ</b>	<b>14</b>
<b>Бортишевський В.А., Корж Р.В., Трепьяко Д.О.</b> Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України	
<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В ГАЗИФІКАТОРІ З РУХОМИМ ЩІЛЬНИМ ШАРОМ.</b>	<b>15</b>
<b>Дудник О.М., Соколовська І.С.</b> Інститут вугільних енерготехнологій НАН України	
<b>АКТИВНІСТЬ І СЕЛЕКТИВНІСТЬ СКЛАДНИХ ОКСИДІВ <math>MFe_2O_4</math> (M = MN, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg) В ПРОЦЕСІ ПАРОВОГО РИФОРМІНГУ КИСЕНЬ-ВМІСНИХ СПОЛУК БІОСІРОВИНИ</b>	<b>16</b>
<b>Долгіх Л.Ю., Столярчук І.Л., Пятницький Ю.І., Стрижак П.Є.</b> Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України	
<b>СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОБОРОТНОЇ СОНЯЧНОЇ КОМІРКИ З НАКОПИЧЕННЯМ ВОДНЮ ТА ЇЇ КОНСТРУКЦІЯ</b>	<b>17</b>
<b>Русецький І.А., Слободянюк І.О., Колбасов Г.Я., Данилов М.О., Щербакова, Л.Г.<sup>(1)</sup>, Солонін Ю.М.<sup>(1)</sup></b> Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, <sup>(1)</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України	



<b>ФОТОКАТАЛІТИЧНЕ ТА ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОДЕРЖАННЯ ВОДНЮ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОХІДНИХ ГІДРАЗИНУ ЗА УЧАСТЮ ШАРУВАТИХ НІОБАТІВ ТА ГЕТЕРОСТРУКТУР ОКСИДІВ ТИТАНУ І ЦИНКУ З МЕТАЛХАЛЬКОГЕНІДАМИ</b>	<b>18</b>
<b><u>Кучмій С.Я.</u>, Коржак Г.В., Строук О.Л., Раєвська О.Є., Андрушина Н.С., Гроздук Г.Я., Швалагін В.В., Козицький А.В., Єрмохіна Н.П., Манорик П.А., Корсунська Н.Є.<sup>(1)</sup></b> Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України, <sup>(1)</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України	

<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМО-ПАРОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ДОННИХ МУЛІВ СТАНЦІЙ АЕРАЦІЇ</b>	<b>19</b>
<b><u>Жовтянський В.А.</u>, <u>Якимович М.В.</u></b> Інститут газу НАН України	

<b>УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРІВ ВОДНЮ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ</b>	<b>20</b>
<b><u>Соловей В.В.</u>, <u>Шевченко А.А.</u>, <u>Зіпунніков М.М.</u></b> Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України	

## **II. Зберігання водню**

<b>ТЕОРЕТИЧНИЙ ПОШУК ОПТИМІЗОВАНИХ СТРУКТУР НАНОВУГЛЕЦЕВИХ СИСТЕМ, ЯКИМ ПРИТАМАННА ПІДВИЩЕНА АДСОРБЦІЙНА ЄМНІСТЬ ЩОДО МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДНЮ</b>	<b>21</b>
<b><u>Лобанов В.В.</u>, <u>Демяненко Е.Н.</u>, <u>Карпенко О.С.</u>, <u>Картель М.Т.</u></b> Інститут хімії поверхні ім. О.О.Чуйка НАН України	

<b>УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЄМНОСТІ ТА МЕТОДІВ ОДЕРЖАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ; ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ЗРАЗКІВ</b>	<b>22</b>
<b><u>Вавриш А.С.</u>, <u>Марчук Ю.В.</u>, <u>Праженнік Ю.Г.</u>, <u>Бондаренко Б.І.</u><sup>(1)</sup></b> <sup>(1)</sup> Інститут газу НАН України,	

<b>ВИБІР МАТЕРІАЛУ-СОРБЕНТУ ВОДНЮ, ВИПЛАВКА ТА АТЕСТАЦІЯ</b>	<b>23</b>
<b><u>Щур Д.В.</u>, <u>Матусина З.А.</u>, <u>Золотаренко Ол.Д.</u>, <u>Золотаренко Ан.Д.</u>, <u>Копілова Л.І.</u>, <u>Золотаренко О.Д.</u>, <u>Шапошнікова Т.І.</u></b> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича	

<b>УДОСКОНАЛЕННЯ МАСОГАБАРИТНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ</b>	<b>24</b>
<b><u>Мацевитий Ю.М.</u>, <u>Соловей В.В.</u>, <u>Чорна Н.А.</u></b> Інститут проблем машинобудування ім.А.М. Підгорного НАН України	

<b>МЕХАНОСИНТЕЗ ГІДРОУТВОРЮЮЧОГО СПЛАВУ Mg + 5 % ваг. Ti + 5 % ваг. Si + 2% ваг. Fe ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВОДЕНЬСОРБУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ТЕМПЕРАТУРИ І КІНЕТИКИ РОЗКЛАДУ</b>	<b>25</b>
<b><u>Єршова О.Г.</u>, <u>Солонін Ю.М.</u></b> Інститут проблем матеріалознавства НАН України	

<b>РОЗРОБКА СПОСОБІВ ОДЕРЖАННЯ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТИПУ La<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>-Ni<sub>3</sub> (AB<sub>3</sub>) ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТРУКТУРИ, ФАЗОВОГО СКЛАДУ І ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК</b>	<b>26</b>
<b><u>Щербакова Л.Г.</u>, <u>Грайворонська К.А.</u>, <u>Криницький А.В.</u>, <u>Солонін Ю.М.</u></b> Інститут проблем матеріалознавства НАН України	

<b>СИНТЕЗ НОВИХ ІНТЕРМЕТАЛІЧНИХ СПОЛУК, СПЛАВІВ ТА КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АКУМУЛЮВАННЯ ВОДНЮ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАЗОВОГО ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА ВОДЕНЬСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ</b>	<b>27</b>
<b>Завалій І.Ю., Березовець В.В., Штендер В.В., Рябов О.Б.</b> Фізико-механічний інститут НАН України	
<b>ГЕТЕРОГЕННІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ МАГНІЮ ТА ТИТАНУ З РІЗНИМ ФАЗОВО-СТРУКТУРНИМ СТАНОМ І ЇХ ВЗАЄМОДІЯ З ВОДНЕМ</b>	<b>28</b>
<b>Рудь О.Д., Прядко Т.В., Саввакін Д.Г., Лахник А.М., Дехтяренко В.А.</b> Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України	
<b>АНАЛІЗ ТА ВИБІР ВІТЧИЗНЯНИХ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ВИСОКОМІЦНОГО КОМПОЗИТУ І РОЗРОБКА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ</b>	<b>29</b>
<b>Савицький М.М., Савицький О.М.</b> Інститут електрострумування ім. Є.О. Патона НАН України;	

## III. Палівні комірки

<b>РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПОЛЕГШЕНОГО МЕТАЛЕВОГО НОСІЯ ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ.</b>	<b>30</b>
<b>Бродніковський Д.М., Васильєв О.Д., Гадзира М.П., Галямін В.Б., Бродніковський Є.М., Бричевський М.М., Бродніковська І.В., Полішко І.О., Лисуненко Н.О., Васи́лів Б.Д.<sup>(1)</sup>, Подгурська В.Я.<sup>(1)</sup>, Осташ О.П.<sup>(1)</sup>, Самелюк А.В., Коваль О.Ю., Котко А.В., Даниленко М.І., Головкова М.Є.</b> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України	
<b>РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ СИСТЕМИ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ПОРИСТОЇ ТОВСТОЇ ПЛІВКИ АНОДНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ЩІЛЬНОЇ ПЛІВКИ ЕЛЕКТРОЛІТУ</b>	<b>31</b>
<b>Коваленко Л.Л., Бродніковський<sup>(1)</sup> Є. М., Білоус А.Г., В'юнов О.І., Янчевський О.З.</b> Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України <sup>(1)</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України	
<b>СИНТЕЗ СКЛАДНИХ ОКСИДНИХ ТА МЕТАЛО-ОКСИДНИХ ВОДЕНЬ ПРОНИКНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК</b>	<b>32</b>
<b>Скороход В. В., Морозов І. А., Бездорожев О. В., Гетьман О. І.</b> Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ CeO<sub>2</sub> ТА ПРОМОТОРІВ (Pd, Pt) В СКЛАДІ АНОДНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ НІКЕЛЮ ТА СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ (12YSZ, 10Sc1CeSZ) НА ЇХ КАТАЛІТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ В ПРОЦЕСАХ ПАРОВОГО ТА ТРИФОРМІНГУ МЕТАНУ</b>	<b>33</b>
<b>Канцерова М.Р., Чедрик В.І., Орлик С.М.</b> Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України	
<b>ПРИГОТУВАННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КАТОДНИХ І АНОДНИХ ЕЛЕКТРО-КАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ВОДНЕВО-ПОВІТРЯНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>34</b>
<b>Пірський Ю.К., Омельчук А.О., Стезерянський Е.А., Панчишин Т.М., Тупчієнко О.С., Круппеннікова О.С.</b> Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України	

<b>ОДЕРЖАННЯ НОВИХ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ Me-N-C ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ВІДНОВЛЕННЯ КИСНЮ ДЛЯ ПАЛИВНИХ КОМІРОК</b> <b><u>Курись Я.І.</u>, Уставицька О.О., Мазур Д.О., Кошечко В.Г., Походенко В.Д.</b> Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України	<b>35</b>
<b>ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ТА ЖАРОМІЦНОСТІ, ВОДНЕВОТРИВКОСТІ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ КПК НА ОСНОВІ ТИТАНОВИХ КОМПОЗИТІВ ЗА ДІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО І КИСНЮВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩ</b> <b><u>Осташ О.П.</u><sup>(1)</sup>, Пріхна Т.О.<sup>(2)</sup>, Івасишин А.Д.<sup>(1)</sup>, Подгурська В.Я.<sup>(1)</sup>, Свєрдун В.Б.<sup>(2)</sup>, Васи́лів Б.Д.<sup>(1)</sup></b> (1)Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, (2)Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України	<b>36</b>
<b>РОЗРОБКА ЙОНООБМІННИХ КОМПОЗИТНИХ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ПОЛІМЕРЕЛЕКТРОЛІТНИХ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК</b> <b><u>Шевченко В.В.</u>, Клименко Н.С., Стрюцький О.В., Гуменна М.Я., Клепко В.В.</b> Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України	<b>37</b>
<b>ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТІВ ПРОГРАМИ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ УЧАСТІ В КОНКУРСАХ ПРОГРАМИ ГОРИЗОНТ 2020 І СПІЛЬНОЇ ІНІЦІАТИВИ «ПАЛИВНІ КОМІРКИ І ВОДЕНЬ»</b> <b><u>Білан І.І.</u>, Левіна Д.А., Чернишев Л.І., Гудименко Т.В.</b> Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України	<b>38</b>
<b>Авторський показчик</b>	<b>39-40</b>
<b>Зміст</b>	<b>41-44</b>

**ЦІЛЬОВА КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА (ЦКП)  
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ**

***«Фундаментальні аспекти відновлювано-  
водневої енергетики і паливно-комірчаних  
технологій»***

**НАУКОВА ЗВІТНА СЕСІЯ**

**Тези доповідей, регламент та програма сесії**

Редактор О.Г.Єршова  
Коректор Л.О.Ковальова  
Комп'ютерне верстання Т.В.Гудименко

Підп. до друку 25.11.2015. Формат 70x108/16.  
Пап. офс. Друк офс.  
Учб.-вид.л.13. Тираж. 40. Замовлення 58

---

Інститут проблем матеріалознавства  
ім. І.М.Францевича НАН України  
03680, Київ-142, вул. Кржижановського, 3

Дільниця оперативної поліграфії  
ім. І.М.Францевича НАН України  
03680, Київ-142, вул. Кржижановського, 3