



СКОРОХОД

Валерій Володимирович — академік НАН України, голова наукової ради цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях»

ВОДЕНЬ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ТА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 16 березня 2016 року

У доповіді підбито підсумки виконання у 2011–2015 рр. цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях». Підкреслено, що отримані наукові результати з одержання, зберігання, транспортування та використання водню, а також розроблення технологій для водневої енергетики сприяли реалізації пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки у галузі створення нових високоефективних процесів і матеріалів.

Шановний Борисе Євгеновичу!

Шановні члени Президії!

Дозвольте мені стисло доповісти про результати виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях». Програму, розраховану на п'ять років, було започатковано постановою Президії НАН України від 29.12.2010 № 356, обсяги її щорічного фінансування в середньому становили 2233,7 тис. грн. У 2011–2015 рр. за Програмою виконувалося 44 наукові проекти із залученням 17 установ, що входять до складу 7 відділень НАН України, а саме:

- Відділення хімії (Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського, Інститут хімії високомолекулярних сполук, Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського, Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії);

- Відділення фізико-технічних проблем енергетики (Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного, Інститут вугільних енерготехнологій, Інститут газу, Інститут відновлюваної енергетики);

- Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Ін-

ститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка);

- Відділення фізики і астрономії (Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова, Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна);

- Відділення ядерної фізики та енергетики (Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»);

- Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології (Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного);

- Відділення загальної біології (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного).

Хочу підкреслити, що мета і завдання Програми належать до загально визначених світових пріоритетів. У Європейському Союзі виконуються кілька великих програм з цього напрямку. Так, лише програма «Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking» (FCH JU) в рамках Horizon 2020 має бюджет понад 665 млн євро. Програма «Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative» (FCH JTI) є добрим прикладом державно-приватного партнерства зі спільним фінансуванням по 470 млн євро як з боку Євросоюзу, так і з боку бізнесу. Власні національні програми щодо використання водню мають Німеччина, Франція, Велика Британія, США, Японія, Канада та інші розвинені країни.

Дослідження в рамках програми «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях» виконувалися за трьома основними розділами: отримання водню (16 проектів), зберігання і транспортування водню (11 проектів), використання водню (15 проектів).

Отримання водню

За першим розділом Програми опрацьовувалися наукові основи нових технологій отримання водню з використанням електрохімічних, фотоелектрохімічних, плазмохімічних, мікробіологічних методів, енергоакуюлюючих речовин і каталізаторів. Вивчалися також можливості отримання водню з відходів та з використанням відновлюваних джерел енергії.

Отримання водню з використанням сонячного світла. Співробітники Інституту за-

ISSN 1027-3239. Вісн. НАН України, 2016, № 6

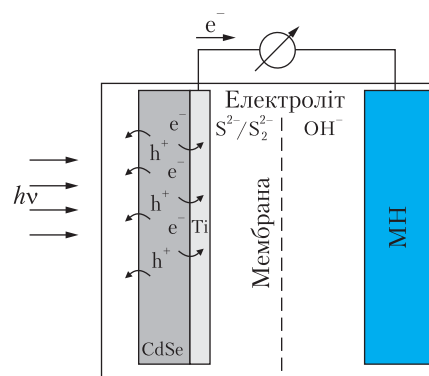


Рис. 1. Зовнішній вигляд і схема фотоелектрохімічних комірок для отримання і накопичення водню



Рис. 2. Піч СТУ-7 для отримання водню з використанням концентрованого сонячного випромінювання



Рис. 3. Вітроенергетична установка, інвертор, акумулятори та генератор водню



Рис. 4. Паливний брикет для отримання водню гетерогенно-каталітичною паровою конверсією. Брикет складається з відходів деревини, поліпропілену, гашеного вапна і нікелевого каталізатора

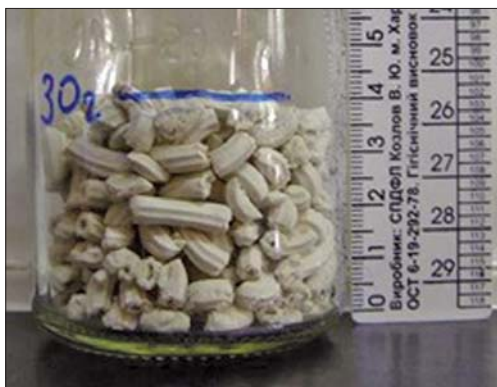


Рис. 5. Гранульований мікробний препарат для отримання біоводню при утилізації харчових відходів

гальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського та Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича розробили експериментальні зразки нового типу фотоелектрохімічних комірок для отримання і накопичення водню (рис. 1). При освітленні напівпровідникового фотоанода (CdSe , GaAs) водень акумулюється на катоді ($\text{LaNi}_{4,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Al}_{0,25}$) у вигляді металогідриду. Крім того, запропоновано отримання водню шляхом термохімічної водопарової обробки відходів металургійного виробництва (окалини) з використанням концентрованого сонячного випромінювання (рис. 2).

Отримання водню з використанням енергії вітру. На території Переяслав-Хмельницької дослідно-випробувальної бази Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича в урочищі «Бурлівщина» збудовано і введено в дію демонстраційну систему з виробництва водню з використанням електролізера високого тиску, який живиться електроенергією вітрового генератора потужністю 800 Вт (рис. 3). Це розробка Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного та Інституту відновлюваної енергетики, експлуатація якої довела ефективність застосування такого типу установок у цьому регіоні України.

Отримання водню гетерогенно-каталітичною паровою конверсією біомаси та відходів. Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського спільно з Інститутом вугільних енерготехнологій розробили одностадійну технологію отримання водню з брикетованих сумішей природних (бавовна, деревина) та синтетичних (поліестер, полістирол, поліпропілен) відходів методом гетерогенно-каталітичної парової конверсії з використанням нових наноструктурованих нікелевих та залізних каталізаторів (рис. 4). Вихід водню за цією технологією становить 82,1 об. %.

Отримання біоводню при утилізації харчових відходів. В Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного розроблено мікробну біотехнологію продукування водню в процесі утилізації органічних відходів. Про-

понований гранульований мікробний препарат (рис. 5) забезпечує прискорену (5–9 діб) деструкцію (ступінь деструкції – 85–95%) багатокомпонентних органічних відходів з утворенням молекулярного водню (до 70% H_2 у газовій суміші з CO_2). Продемонстровано перспективність промислового впровадження цієї біотехнології.

Отримання водню на основі плазменно-парової газифікації відходів. У результаті плазменно-парової газифікації бурого вугілля з Кіровоградської області, а також водомулової суміші та донного мулу з Бортницької станції аерації отримано синтез-газ, який можна конвертувати у водень зі ступенем чистоти від 93 до 95% (рис. 6). Це розробка Інституту газу.

Електрохімічне отримання водню на модифікованих електродах. В Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського вивчено процеси катодного виділення водню на різних модифікованих електродах. Показано, що модифікація електродів скловуглецем, графеном, терморозширеним графітом, вуглецевими нанотрубками може істотно підвищити ефективність виділення водню з водних розчинів.

Зберігання і транспортування водню

У межах другого розділу здійснювався пошук шляхів вирішення проблеми створення ефективних воденьякумулюючих матеріалів, таких як пористі координаційні полімери, металоорганічні каркасні сполуки, металогідридні сплави (на основі лантану (типу AB_5), магнійвмісні сполуки та композити, гетерофазні сплави на основі Ti та Zr), вуглецеві наноматеріали. Розроблено критерії міцності та роботоздатності конструкційних матеріалів при їх використанні у водневому середовищі.

Нанокompозити на основі магнію. Розроблено нові ефективні воденьякумулюючі композиційні матеріали на основі магнію ($Mg-5C$; $Mg-IMC$; $M-IMC-C$; $Mg-Al$, Ni, Ti та гідриди на їх основі), а також технології їх отримання методом реакційного механічного сплавлення у середовищі водню ($IMC-Ti_4Fe_2O_{0.5}$) (рис. 7). Ці матеріали характеризуються висо-



Рис. 6. Пароводяний плазмотрон для газифікації відходів (у тому числі небезпечних) з отриманням у результаті водню

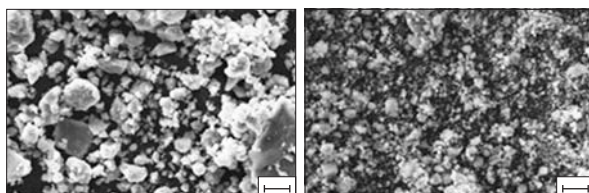


Рис. 7. Структура нанокompозитів до та після реакційного механічного сплавлення в середовищі H_2

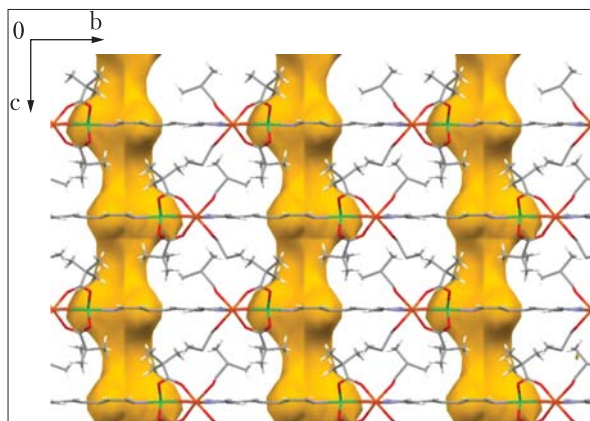


Рис. 8. Візуалізація ґратки металоорганічних каркасних матеріалів; можна бачити порожнини, доступні для сорбції молекул водню

кою водневою ємністю (здатні накопичувати 5,5–6,5 мас.% водню), зниженою термічною стабільністю та поліпшеною кінетикою розкладання, завдяки чому можуть використовуватися як ефективні акумулятори водню в



Рис. 9. Накопичувачі водню модифікації «Alsav» місткістю 3, 10, 15, 75 і 170 л



Рис. 10. Магнетоакустична вимірювальна система МАЕ-1Л

стаціонарних умовах. У цьому проекті брали участь співробітники Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича та Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка.

Високопористі металоорганічні каркасні матеріали. Металоорганічні каркасні матеріали — це пористі кристалічні речовини, в яких каркас утворюється внаслідок зв'язування неорганічних компонентів органічними молекулами завдяки утворенню координаційних зв'язків (рис. 8). В Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського методами рентгеноструктурного аналізу схарактеризовано кристалічну будову понад 20 розроблених металоорганічних каркасів. Ці матеріали є дуже перспективними для зберігання водню, зокрема, їх можна використовувати в резервуарах високого тиску для істотного підвищення водневої ємності з одночасним зниженням робочого тиску.

Металогідридні накопичувачі водню. В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича розроблено і виготовлено кілька модифікацій металогідридних накопичувачів водню (рис. 9). Більшість із них створено зі спеціально розроблених сплавів типу AB_5 на основі лантану, як гідридоутворюючого елемента, з різними домішками. Накопичувачі було розроблено для широкого кола призначень, починаючи від лабораторних потреб і завершуючи комплексним використанням з паливними комірками. Крім того, створено портативні (30 л H_2) водневі пальники, призначені для виконання спеціальних робіт.

Критерії міцності та роботоздатності сталей у водневому середовищі. З метою розроблення принципів оцінювання роботоздатності конструкційних матеріалів при їх експлуатації у водневому середовищі фахівці Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка виконали фундаментальні дослідження та запропонували методи мінімізації шкідливого впливу водню на зварні з'єднання. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю росту тріщини і локальною концентрацією водню в її вершині за різних об'ємних концентрацій водню у трубопровідній сталі. Розроблено методики застосування магнетопружної акустичної емісії для виявлення місць локального водневого пошкодження феромагнетиків методами неруйнівного контролю (рис. 10).

Використання водню

Дослідження, що виконувалися в межах третього розділу, були зосереджені на розробленні керамічних паливних комірок на основі стабілізованого оксиду цирконію, паливних комірок на основі протонпровідних полімерних мембран, вирішенні проблем використання водню в термохімічних технологіях інтенсифікації видобутку нафти та газу, створенні водневих турбоустановок з термохімічним стиском робочого тіла, розробленні водневих технологій обробки матеріалів.

Низькотемпературні воднево-кисневі паливні комірки з протонпровідною мембра-

ною. Розроблено метод синтезу катодних та анодних електрокаталізаторів, зокрема на основі вуглецевих нанотрубок. Виготовлено діючий макет низькотемпературної воднево-кисневої паливної комірки з використанням протонпровідних мембран Fumapen F950 і зазначених електрокаталізаторів та досліджено її енергетичні характеристики (рис. 11). Це розробка Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського.

Тришарові керамічні паливні комірки. Реалізовано оригінальну технологію виготовлення багатокомпонентних нанопорошків для твердооксидних паливних комірок, які складаються з трьох шарів: катода ($\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{MnO}_3$), анода ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-NiO}$) і електроліту ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O}_3$) між ними (рис. 12). Оптимізовано склад і технологію виготовлення моноблоків паливних комірок планарної форми, досліджено їх механічні та електрохімічні характеристики. Ці роботи виконувалися в Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О. Галкіна та Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича.

Термохімічні технології інтенсифікації видобутку нафти та газу. В Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного продемонстровано ефективність використання водню в термохімічних технологіях інтенсифікації видобутку нафти та газу. Уперше було показано, що водень є активатором процесу фільтрації хімічно активних речовин у пласт, завдяки чому газопроникність колекторів продуктивних пластів підвищується в 2–4,5 раза. Наприклад, добовий дебіт свердловини № 39 нафтового родовища Телеті в Грузії до інтенсифікації становив $2,9 \text{ м}^3$, а після обробки – $5,0\text{--}5,1 \text{ м}^3$.

Водневі турбоустановки з термохімічним стиском робочого тіла. Визначено переваги використання водню як робочого тіла в енергетичних установках порівняно з іншими енергоносіями. Розглянуто перспективи створення водневих турбоустановок з термохімічним стиском робочого тіла. Розроблено схеми енергетичних систем, базовим агрегатом яких є металогідридний термосорбційний компресор

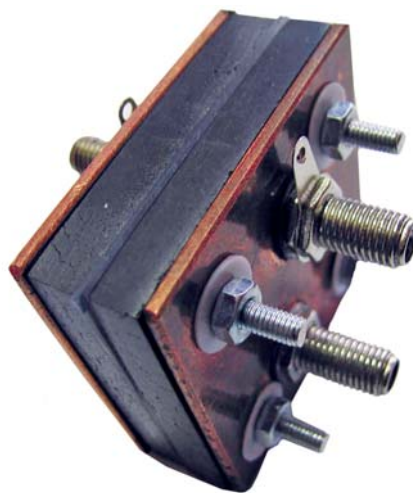


Рис. 11. Макет воднево-кисневої паливної комірки

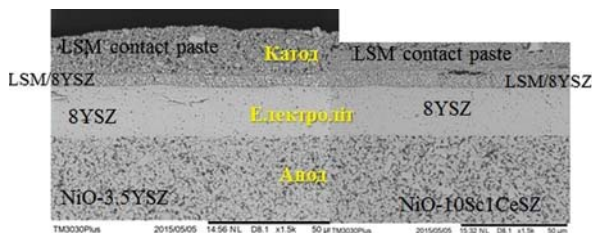


Рис. 12. Структура моноблока планарної твердооксидної паливної комірки



Рис. 13. Термосорбційний металогідридний компресор

(рис. 13). Наприклад, запропоновано схему теплоутилізаційного комплексу з виробленням електричної енергії та холоду з металогідридним термосорбційним компресором. Це також розробки Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного.

Водневотермічна обробка металів. В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича розроблено оригінальну технологію обробки інтерметалічних сполук, які у своєму складі мають гідридотвірний елемент. Під дією водню ці сполуки розкладаються з утворенням композитів. Процес циклічного водневотермічного оброблення зумовлює значні структурні зміни в матеріалі, зменшує дефектність і мікрODEформацію частинок інтерметалічних порошків, активує процес їх ущільнення і підвищує фізико-механічні властивості виробів з цих порошків. Перспективним видається застосування способу деструктивного гідрування – рекомбінації титанвмісних інтерметалідів для виготовлення жароміцних покриттів.

За браком часу я не можу перелічити всі отримані за цією Програмою результати. Додам лише, що створено інформаційний центр «Водень-інфо» та сайт* з докладним переліком усіх проектів, який повністю дублюється англійською мовою. Виконавці проектів отри-

мали цілу низку досить великих міжнародних грантів CRDF (США), CNRS (Франція), УНТЦ, Сьомої рамкової програми ЄС, є перспективи долучитися до вже діючих консорціумів спільного виконання проектів програми Horizon 2020. За результатами, отриманими при виконанні Програми в 2011–2015 рр., було опубліковано 350 статей, з яких понад 100 – у профільних зарубіжних виданнях, близько 10 монографій, підготовлено 34 патенти, у тому числі зарубіжні, зроблено 275 доповідей на вітчизняних і міжнародних конференціях, симпозіумах, семінарах. Сумарний індекс Хірша публікацій за результатами виконання проектів становить $h = 31$, що свідчить про високий міжнародний інтерес до них.

На завершення зазначу, що наукова рада цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях» вважає, що в найближчі три роки ми маємо всі шанси отримати ще більш вагомні результати за всіма трьома напрямками Програми.

Дякую за увагу.

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. МЕЛЕЖИК*

* <http://www.materials.kiev.ua/hydrogen>.