



Сухий
Костянтин Михайлович —
член-кореспондент НАН
України, ректор Українського
державного університету
науки і технологій

ФУНКЦІОНАЛЬНІ РЕЧОВИНИ І МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 4 вересня 2024 року

У доповіді наведено інформацію про Український державний університет науки і технологій. Особливу увагу приділено розробленню нової технології одержання електролітичного водню зі зменшеними енерговитратами та одночасним отриманням алюмінату натрію, який можна використовувати як коагулянт для потреб підприємств з водопідготовки та водоочищення.

Шановний пане президенте!

Шановні члени Президії!

Шановні колеги!

Моя доповідь має на меті ознайомити вас з деякими напрямками діяльності Українського державного університету науки і технологій, розташованого в м. Дніпро.

Ще в 2014 р., з початком збройної агресії РФ проти України, перед нами постало завдання з розроблення технології виготовлення зігрівальних пластин для тіла та устілок з підігрівом для потреб наших військовослужбовців, з чим ми свого часу успішно впоралися.

Під час роботи над створенням зазначених вище безполумєневих нагрівачів, принцип дії яких ґрунтується на процесах корозії металів, ми звернули увагу на те, що генерація тепла цими термохімічними грілками супроводжується виділенням досить великої кількості водню. Так, у разі використання алюмінію виділяється 1,5 моль H_2 на 1 моль металу, а у випадку заліза — 1 моль H_2 на 1 моль металу. Тому нас зацікавило питання: чи можна розробити економічно виправдану технологію електролітичного отримання водню на основі процесу корозії металів.

Сьогодні у світі є великий інтерес до використання водню як палива. Це зумовлено, з одного боку, високою теплоотою згоряння водню (приблизно 120–140 МДж/кг), а з іншого — еколо-

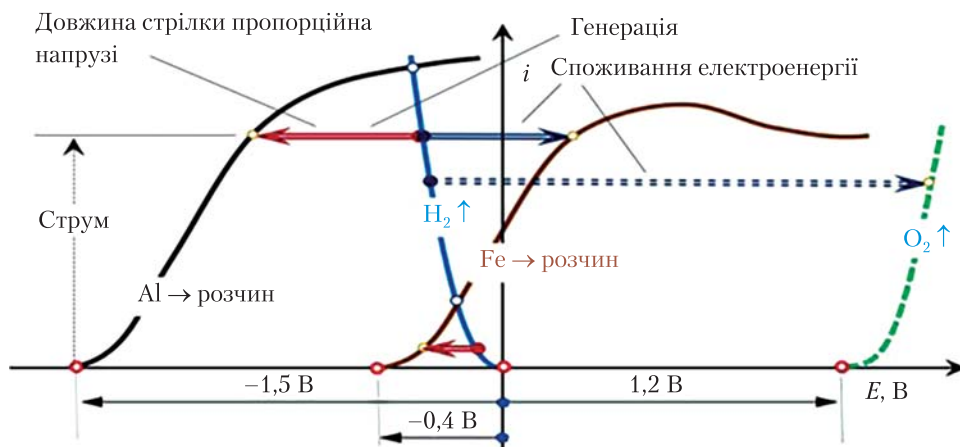


Рис. 1. Процес одержання водню, оснований на розчиненні заліза: рівноважні електрохімічні потенціали алюмінію, заліза та виділення кисню відносно потенціалу виділення водню, а також відповідні вольтамперні характеристики

гічною безпекою водневої енергетики, оскільки продуктом згоряння є вода: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$.

Наразі понад 75 % світового виробництва водню здійснюється методом конверсії метану з водяною парою ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$) або методом пропускання водяної пари над розпеченим коксом ($\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$). Однак обидва ці процеси потребують високих температур (~1000 °С) і супроводжуються утворенням отруйного чадного газу (СО).

Важливе місце серед способів отримання водню посідає метод електрохімічного розкладання води в сольових, кислих чи лужних розчинах ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$). Порівняно з усіма іншими методами промислового одержання H_2 отримання водню електролітичним способом є екологічно найчистішим, але при цьому на виробництво 1 кг H_2 витрачається приблизно 260 МДж енергії, а його вартість перевищує \$3–5 за 1 кг, що майже вдвічі дорожче за собівартість водню, отриманого конверсією природного газу (\$1,5–3 за 1 кг).

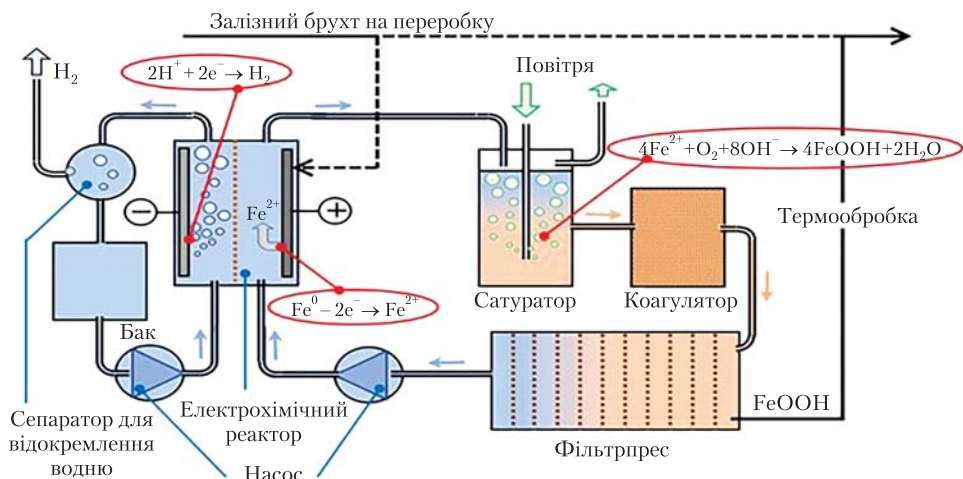
Загалом, з точки зору екології, залежно від способу одержання водень як кінцевий продукт умовно поділяють за «кольорами». Якщо водень вироблено з кам'яного вугілля і парникові гази як побічні продукти викидаються в атмосферу, — це бурий, або коричневий, водень. Якщо його вироблено з природного газу конверсією метану, але парникові гази викидаються в атмосферу, — це сірий водень. Якщо водень отримано з викопного палива, але в

процесі виробництва використано технології вловлювання та зберігання вуглецю, — це блакитний водень. Якщо ж водень одержано електролізом, а електроенергію, необхідну для цього процесу, вироблено з відновлюваних джерел (тобто парникові гази не утворюються), — це зелений водень. І саме цей зелений водень відповідає Європейському зеленому курсу, спрямованому на декарбонізацію економіки. Україна, узгоджуючи свою політику з ЄС, взяла на себе зобов'язання досягти кліматичної нейтральності до 2060 р.

Отже, з огляду на зазначені фактори ми запропонували й реалізували новий електрохімічний підхід до одержання водню, оснований на процесі розчинення заліза. Він дає змогу не лише зменшити витрати електроенергії, а ще й генерувати її паралельно з отриманням водню. Основні принципи запропонованого нами підходу проілюстровано на рис. 1, на якому наведено рівноважні електрохімічні потенціали алюмінію, заліза та виділення кисню відносно потенціалу виділення водню, а також відповідні вольтамперні характеристики.

Будь-яка електрохімічна реакція характеризується потенціалом рівноваги, який вимірюється відносно потенціалу виділення водню у воді за значення струму, що прямує до нуля ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$), в кислому розчині з рН = 0. При цьому рівноважний потенціал реакції виділення водню ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$) дорівнює +1,23 В. Однак для отримання газів з води

Рис. 2. Схема отримання водню в електрохімічному реакторі із залізним анодом



необхідна більш висока напруга, яка зростає зі збільшенням струму (на рис. 1 її приблизну величину позначено горизонтальними стрілками). Наприклад, за густини струму $\sim 200 \text{ mA/cm}^2$ напруга має бути близько 1,8–2,0 В.

Наша ідея полягає в тому, щоб замінити реакції виділення кисню на аноді іншими реакціями, рівноважні потенціали яких мають від'ємне значення відносно водневого електрода. Серед таких процесів ми обрали реакції розчинення заліза $\text{Fe} + 2e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (рівноважний потенціал = $-0,44 \text{ V}$) та алюмінію $\text{Al} + 3e^- \rightarrow \text{Al}^{3+}$ (рівноважний потенціал = $-1,55 \text{ V}$).

За невеликих струмів (а для алюмінію навіть за досить значних) такі реакції можуть відбуватися спонтанно. Якщо з'єднати через резистор електрод з такого металу з іншим електродом з низькою перенапругою виділення водню, наприклад з нікелевим електродом, то водень починає виділятися переважно на нікелі, а між електродами виникає різниця потенціалів (на рис. 1 позначено стрілками). На алюмінії за густини струму $\sim 200 \text{ mA/cm}^2$ ця різниця потенціалів сягає $\sim 0,5 \text{ V}$, а для заліза, щоб досягти такого струму виділення водню, навпаки, необхідно прикласти приблизно таку саму напругу.

На рис. 2 наведено схему отримання водню в електрохімічному реакторі із залізним анодом, на якій показано основні елементи обладнання та реакції, що відбуваються в системі. У про-

точному електролізері анодний та катодний простір розділено мембраною. Як електроліт використано підкислений розчин NaCl ($\text{pH} < 3$). Мембрана запобігає потраплянню в анодний простір лугу, що утворюється на катоді при виділенні водню. Якби її не було, NaOH взаємодівав би з іонами Fe^{2+} з утворенням нерозчинного гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$, що випадає в осад. У нашій системі утворення твердої фази відбувається на наступних етапах процесу – в сатураторі і коагуляторі – завдяки взаємодії іонів заліза з киснем. При цьому залежно від температури та швидкості подавання кисню можуть утворюватися різні оксиди і гідроксиди заліза, зокрема FeOOH , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , які після фільтрації можна або повертати в металургійне виробництво, або використовувати як коагулянти, флокулянти чи активний матеріал у хімічних джерелах струму.

В разі використання алюмінієвого анода в описаному процесі отримання водню утворюються досить великі кількості гідроксидів алюмінію та алюмінату натрію. Усі ці продукти є цільовими – їх широко застосовують як коагулянти в процесі водопідготовки, у виробництві картону, в технологіях полімерних композиційних матеріалів та в будівельній галузі.

Усі процеси, що відбуваються в цій технологічній схемі, було ретельно досліджено й відпрацьовано спочатку на лабораторних установках, а потім створено вже напівпромисло-

ві установки. За цією тематикою ми плідно співпрацюємо з установами НАН України, опублікували 9 статей у провідних міжнародних журналах, що входять до наукометричної бази Scopus, отримали кілька патентів України. В подальшому сподіваємося вийти на промислові масштаби одержання електролітичного водню зі зниженими енерговитратами і одночасним отриманням функціоналізованих дрібнодисперсних матеріалів для потреб різних галузей промисловості.

Як я вже сказав, отримання водню за запропонованою нами технологією в електролізерах із жертвними анодами на основі відходів заліза і алюмінію супроводжується утворенням алюмінату натрію та гідроксидів заліза і алюмінію. Ці матеріали як коагулянти вже впроваджені на підприємствах з водопідготовки та водоочищення. Слід зазначити, що в Україні щороку використовують сотні тонн таких коагулянтів. Їх переважно закупають або виготовляють розчиненням товарного алюмінію в лугах. Тому наша технологія, яка дозволяє одночасно одержувати зелений водень та алюмінат натрію, є дуже перспективною.

На завершення хотів би сказати кілька слів про наш заклад — Український державний університет науки і технологій. Він об'єднав колективи п'яти університетів у м. Дніпро. Якщо в 30-х роках минулого століття домінувала концепція створення вузькопрофільних галузевих закладів вищої освіти, то сьогодні, враховуючи специфіку освіти і загальний потенціал окремих установ, Кабінет Міністрів України прийняв рішення про об'єднання п'яти університетів: Національної металургійної академії України, Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Українського державного хіміко-технологічного університету, Придніпровської державної академії будівництва та архітектури та Придніпровської державної академії фізичної культури і спорту. До речі, відома українська спортсменка-легкоатлетка, багаторазова призерка світових змагань, яка

цього року виборола для України золоту медаль на Олімпійських іграх, Ярослава Магучих — студентка нашого університету. Тобто ми готуємо майбутнє для нашої країни не лише в галузі науки і технологій, а й у сфері спорту.

Свого часу я п'ять років був ректором Українського державного хіміко-технологічного університету і хочу сказати, що специфіка цього закладу полягала в тому, що наші кафедри і лабораторії представляли майже всі напрями хімічної науки та хімічних технологій, а тому співробітникам і аспірантам дуже легко було за потреби отримати консультацію з практично будь-якого питання. Тому, на мою думку, об'єднання наукових груп з різних галузевих закладів вищої освіти відкриває ширші можливості для налагодження більш ефективної роботи.

Сьогодні до складу нашого університету входять 25 факультетів, на яких навчаються понад 17 тис. студентів, і наукова діяльність є одним з основних напрямів нашої роботи. Нещодавно ми в конкурсах вибороли фінансування Національного фонду досліджень України для чотирьох наших проєктів, а крім того, виконуємо шість проєктів за програмою «Горизонт Європа». Загалом за рівнем фінансування наукової діяльності наш університет посідає шосте місце в Україні. Завдяки тісній співпраці з Національною академією наук України та іншими закладами вищої освіти України ми плануємо й надалі спрямовувати наші зусилля на створення конкурентоспроможної освітньої та наукової бази в нашій країні.

Ми щиро пишаємося нашою молодіжною зміною — щороку молоді науковці Українського державного університету науки і технологій здобувають найвищі нагороди Президента України, Верховної Ради України, стають лауреатами премій Національної академії наук України.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Kostyantyn M. Sukhyy

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4585-8268>

FUNCTIONAL SUBSTANCES AND MATERIALS FOR HYDROGEN ENERGY AND SPECIAL EQUIPMENT

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, September 4, 2024

The report provides information about the Ukrainian State University of Science and Technologies. Particular attention is paid to the development of a new technology for the production of electrolytic hydrogen with reduced energy consumption and simultaneous production of sodium aluminate, which can be used as a coagulant for the needs of water treatment and water purification enterprises.

Cite this article: Sukhyy K.M. Functional substances and materials for hydrogen energy and special equipment. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (10): 39–43. <https://doi.org/10.15407/visn2024.10.039>